Алексей Поляков

bhv

Методы и алгоритмы КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ в примерах на Visual C++

- Математические основы компьютерной графики
- Векторная и растровая графика
- Цифровая обработка изображений
- Готовые решения

```
auxWireTorus()
glPixelTransferf(GL_ALPHA_SCALE, 1);
CPolygon::Show()
CMatrixFilter::TransformPix()
V = xi + yj + zk
CFilter
```

+ CD-ROM

МАСТЕР

Алексей Поляков

Методы и алгоритмы КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ *в примерах на Visual C++*

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2002

УДК 681.3.06 + 800.92Си
ББК 32.973.26-018
П54А

Поляков А. Ю.

П54А Методы и алгоритмы компьютерной графики в примерах на Visual C++. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 416 с.: ил.

ISBN 5-94157-136-4

В книге представлен курс компьютерной графики. Основное внимание уделяется вопросам прикладного программирования с использованием языка Visual C++ и библиотеки MFC. Рассмотрены математические основы компьютерной графики: преобразования на плоскости и в трехмерном пространстве, методы построения кривых и поверхностей, которые могут быть использованы для визуализации результатов научных расчетов. Значительный раздел книги посвящен работе с растровой графикой. Описывается формат BMP, функции сохранения и загрузки растровых изображений. Обсуждается создание и применение графических фильтров для обработки изображений. Отдельно рассматривается назначение библиотек OpenGL и DirectX, приводится пример использования OpenGL для визуализации трехмерной сцены. Весь изложенный материал иллюстрируется программами, написанными с использованием объектно-ориентированного стиля.

Для программистов

УДК 681.3.06 + 800.92Си
ББК 32.973.26-018

Группа подготовки издания:

Главный редактор	*Екатерина Кондукова*
Зам. главного редактора	*Анатолий Адаменко*
Зав. редакцией	*Анна Кузьмина*
Редактор	*Леонид Кочин*
Компьютерная верстка	*Натальи Караваевой*
Корректор	*Татьяна Звертановская*
Дизайн обложки	*Игоря Цырульникова*
Зав. производством	*Николай Тверских*

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 23.05.02.
Формат 70×100 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 33,54.
Тираж 3000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 198005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Гигиеническое заключение на продукцию, товар № 77.99.02.953.Д.001537.03.02
от 13.03.2002 г. выдано Департаментом ГСЭН Минздрава России.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в Академической типографии "Наука" РАН
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12.

ISBN 5-94157-136-4

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 1

На кого рассчитана эта книга 2
Структура книги 2
Обратная связь 3
Благодарности 4

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ 5

Глава 1. Основные понятия машинной графики 7

1.1. Цели и задачи машинной графики 7
1.2. Основные понятия и определения 9
1.2.1. Графический формат 9
1.2.2. Элементы графического файла 11
1.2.3. Преобразование форматов 12
1.2.4. Сжатие данных 12
1.2.5. Пикселы и цвет 13
1.2.6. Палитры цветов 14
1.2.7. Цвет. Цветовые модели 15
1.3. Заключение 16

Глава 2. Особенности программирования "под Windows" 17

2.1. Типы данных в Windows 20
2.2. Структура Windows-приложения 20
2.3. Создание приложения в MS Visual C++ 25
2.4. Основные понятия и принципы объектно-ориентированного программирования 27
2.5. Библиотека Microsoft Foundation Class Library 29
2.6. Обработка сообщений 31
2.7. Заключение 34

Глава 3. Создаем первое "графическое" приложение 35

3.1. Генератор приложений AppWizard. Создание приложения "Painter" 35
3.2. Добавление функций рисования 45
3.3. Использование генератора классов ClassWizard 48

3.4. Сохранение рисунков в файл ... 51
3.5. Создание нового рисунка ... 52
3.6. Вывод рисунков на печать и предварительный просмотр ... 53
3.7. Заключение ... 55

ЧАСТЬ II. РАБОТА С ВЕКТОРНОЙ ГРАФИКОЙ ... 57

Глава 4. Архитектура приложений Document-View ... 59

4.1. Архитектура приложений Document-View ... 59
4.2. Контекст устройства, графические методы класса *CDC* ... 63
4.3. Модификация программы Painter ... 65
4.3.1. Решение проблемы вывода на принтер ... 65
4.3.2. Установка режима отображения ... 66
4.3.3. Установка размеров листа ... 75
4.3.4. Реализация функций рисования примитивов ... 83
Создание базового класса иерархии фигур ... 83
Создание производных классов иерархии фигур ... 91
Модификация класса документа *CPainterDoc* ... 93
Включение в меню команд добавления фигур ... 94
4.3.5. Сохранение рисунков ... 99
4.3.6. Очистка памяти ... 103
4.4. Заключение ... 104

Глава 5. Математический аппарат алгоритмов компьютерной графики ... 105

5.1. Векторы ... 105
5.1.1. Свойства векторов ... 106
5.1.2. Скалярное произведение векторов ... 107
5.1.3. Векторное произведение векторов ... 108
5.2. Детерминанты ... 109
5.2.1. Свойства детерминантов ... 110
5.3. Однородные координаты ... 111
5.4. Использование однородных координат ... 112
5.5. Преобразования на плоскости ... 113
5.6. Матричная форма записи двумерных преобразований ... 115
5.7. Заключение ... 116

Глава 6. Реализация функций редактирования рисунков ... 117

6.1. Выбор фигуры ... 117
6.2. Маркировка активной фигуры ... 120
6.3. Рисование полигональных фигур ... 122
6.4. Рисование фигур произвольных размеров ... 126
6.5. Рисование инверсным цветом ... 130
6.6. Реализация преобразований на плоскости ... 133
6.7. Определение реакций на нажатие клавиш ... 135

6.8. Изменение порядка наложения фигур ... 139
6.9. Удаление фигур ... 144
6.10. Преобразование формата ... 145
6.11. Листинг программы ... 147
6.11.1. Файл PainterDoc.h ... 147
6.11.2. Файл PainterDoc.cpp ... 149
6.11.3. Файл PainterView.h ... 156
6.11.4. Файл PainterView.cpp ... 159
6.11.5. Файл Shapes.h ... 172
6.11.6. Файл Shapes.cpp ... 175
6.11.7. Файл Global.h ... 182
6.11.8. Файл Global.cpp ... 182
6.12. Заключение ... 183

Глава 7. Преобразования в трехмерном пространстве ... 185

7.1. Перенос и поворот в трехмерном пространстве ... 185
7.2. Параллельная проекция ... 187
7.2.1. Видовое преобразование ... 188
7.2.2. Перспективные преобразования ... 191
7.3. Два основных подхода к удалению невидимых линий и поверхностей ... 191
7.3.1. Алгоритм отсечения нелицевых граней ... 192
7.3.2. Алгоритм Робертса ... 192
7.3.3. Алгоритм z-буфера ... 193
7.3.4. Алгоритм Варнака ... 194
7.3.5. Алгоритм построчного сканирования ... 195
7.4. Программная реализация преобразований в трехмерном пространстве ... 195
7.5. Рисуем трехмерную поверхность ... 205
7.5.1. Построение линий уровня на поверхности ... 210
7.6. Заключение ... 219

Глава 8. Построение кривых ... 221

8.1. Определения ... 221
8.2. Параметрическое задание кривых ... 224
8.3. Сплайновые кривые ... 225
8.3.1. Интерполяционная кривая Catmull-Rom ... 226
8.3.2. Элементарная Бета-сплайновая кривая ... 226
8.3.3. Сплайновая кривая Безье ... 227
8.4. Построение сплайновой кривой Безье с помощью средств MFC ... 229
8.5. Программная реализация построения сплайновых кривых ... 229
8.6. Заключение ... 239

ЧАСТЬ III. РАБОТА С РАСТРОВОЙ ГРАФИКОЙ 241

Глава 9. Работа с растровыми ресурсами 243

9.1. Ресурсы 243
9.2. Пиктограммы приложения 244
9.3. Изображение панели инструментов 248
9.4. Курсор 248
9.5. Растровое изображение Bitmap 255
9.6. Универсальная функция загрузки графических ресурсов 264
9.7. Заключение 267

Глава 10. Экспорт изображений в BMP-файл 269

10.1. Общее описание формата BMP 269
10.2. Структура файла 270
10.3. Экспорт рисунков в растровый файл формата BMP 274
10.4. Заключение 281

Глава 11. Просмотр и редактирование растровых изображений 284

11.1. Создание многодокументного приложения 284
11.2. Класс *CRaster* для работы с растровыми изображениями 285
11.3. Модификация класса документа для обеспечения работы с изображениями 295
11.4. Использование виртуального экрана 297
11.5. Модификация класса облика 299
11.6. Редактирование изображений 301
11.6.1. Гистограмма яркости изображения 303
11.6.2. Программная схема выполнения преобразований. Графические фильтры 310
11.6.3. Таблица преобразования 313
11.6.4. Класс "Фильтр" 314
11.6.5. Использование гистограммы яркости для повышения контрастности изображения. Фильтр "Гистограмма" 319
11.6.6. Фильтр "Яркость/Контраст" 325
11.6.7. Фильтр "Инверсия цветов" 332
11.6.8. Фильтр "Рельеф" 333
11.6.9. Фильтр "Размытие" 335
11.6.10. Фильтр "Контур" 337
11.6.11. Фильтр "Четкость" 338
11.6.12. Применение фильтров 340
11.7. Вывод изображений на печать 341
11.8. Листинг программы 344
11.9. Заключение 365

ЧАСТЬ IV. НАЗНАЧЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК 367

Глава 12. Библиотеки OpenGL и DirectX 369

12.1. Библиотека OpenGL 369
12.2. Библиотека DirectX 372
12.3. Пример использования библиотеки OpenGL 373
12.3.1. Модификация класса облика 375
12.3.2. Модификация класса документа 383
12.3.3. Модификация класса приложения 383
12.4. Заключение 384

Заключение 385

ЧАСТЬ V. ПРИЛОЖЕНИЕ 387

Приложение. Описание содержимого компакт-диска 389

Список литературы 391

Интернет-ресурсы 393

Предметный указатель 395

Моему брату

Предисловие

Эта книга представляет собой курс основ компьютерной графики. Здесь изложены алгоритмы и методы решения многих задач, возникающих при работе с векторными и растровыми изображениями. Основное внимание уделено вопросам прикладного программирования с использованием языка Microsoft Visual C++ и MFC. Материал книги накоплен за несколько лет чтения курса лекций "Компьютерная графика" в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), а также в результате практической работы над несколькими научными и коммерческими проектами.

Основная цель книги — показать, как можно запрограммировать ту или иную задачу компьютерной графики: построить сплайновую кривую, нарисовать поверхность, отобразить на этой поверхности линии уровня, управлять несколькими объектами-фигурами в программе, сохранить изображение, считать растровое изображение с диска, обработать и записать обратно на диск, распечатать изображение на принтере.

Другая задача — продемонстрировать различные пути и способы достижения одинаковых результатов. Поэтому при изучении материала книги старайтесь всегда находить новые, более удачные варианты решения рассмотренных задач.

Весь теоретический материал книги иллюстрируется рабочими примерами программ. В качестве языка программирования выбран C++, поскольку он представляется наиболее подходящим для решения серьезных задач компьютерной графики. В примерах применяется объектно-ориентированный стиль программирования (ООП). Используя стиль ООП, легко представить программу в виде отдельных частей (модулей, деталей), взаимодействующих между собой, если же вы склонны к философствованию, то можно мыслить о программе, как о сообществе неких индивидуумов, которые могут рождаться, обретать какие-то свойства, общаться между собой и умирать.

Каждая программа, описанная в книге, представляет собой законченное приложение. Законченное в том смысле, что его можно откомпилировать, запустить, посмотреть, что оно делает, сохранить результаты работы. Для работы с примерами вам потребуется компьютер с операционной системой MS Windows 95 (или более поздней версией) и среда разработки MS Visual C++ 6.0.

Поскольку данная книга является учебником по компьютерной графике, а не справочным пособием по Windows API или GDI, то в ней, как правило, не приводится подробного описания параметров вызова API-функций или полного описания методов классов MFC. Эти сведения могут быть легко получены из электронной библиотеки Microsoft Developer Network (MSDN) Library или специальной литературы.

На кого рассчитана эта книга

Книга предназначена студентам и преподавателям, специализирующимся в области информатики и вычислительной техники. Предполагается, что читатель уже имеет определенный опыт программирования. Однако изложение в книге ведется "от простого к сложному", основные этапы создания программ описаны достаточно подробно. Для понимания теоретического материала требуются начальные знания из области линейной алгебры и тригонометрии. Необходимым условием для успешного усвоения практической части книги является знание языка программирования C++ и знакомство с основными идеями объектно-ориентированного программирования.

Структура книги

Книга состоит из 12 глав. Тематически ее можно разделить на четыре части. Первая часть — изучение основных понятий компьютерной графики и средств программирования (главы 1—3). Вторая часть — векторная графика (главы 4—8). Третья часть — растровая графика (главы 9—11). Четвертая часть — назначение графических библиотек (глава 12).

Глава 1 посвящена рассмотрению задач, решаемых с использованием компьютерной графики. В ней также приводятся основные понятия и определения.

В *главе 2* рассматриваются основные средства, которые будут использованы далее при программировании всех примеров книги. Среди них:

- особенности программирования "под Windows";
- основные понятия и принципы объектно-ориентированного программирования;
- назначение библиотеки MFC;
- процесс создания приложения в MS Visual C++.

В *главе 3* рассмотрен от начала и до конца пример создания "графического" приложения Painter, в котором пользователь сможет нарисовать свой первый рисунок, сохранить его в виде файла и вывести на печать.

В *главе 4* более детально рассматриваются используемые программные средства, развивается программа Painter, проектируется иерархия классов графических объектов.

Глава 5 посвящена рассмотрению математических основ преобразований на плоскости.

В *главе 6* материал пятой главы находит свое практическое применение, а также рассматривается реализация в программе Painter некоторых функций редактирования создаваемых изображений.

Глава 7 посвящена теории и практике преобразований в трехмерном пространстве. В программе Painter реализуется построение трехмерной поверхности $z = f(x, y)$ и линий уровня на поверхности.

В *главе 8* рассматриваются математические основы и программная реализация построения сплайновых кривых.

Глава 9 посвящена использованию растровых ресурсов (пиктограмм, курсоров, растровых картинок) в приложениях.

В *главе 10* рассматривается растровый формат BMP, в программе Painter реализуется экспорт изображений в BMP-файл.

Глава 11 целиком посвящена работе с растровыми изображениями. В ней рассматривается создание и применение графических фильтров для обработки изображений. Разрабатывается программа, позволяющая загрузить, обработать и сохранить растровые изображения. Эту программу вы сможете использовать на практике для улучшения качества своего электронного фотоархива, а, расширив ее возможности, добиться неповторимых эффектов.

В *главе 12* рассматривается назначение библиотек OpenGL и DirectX, приводится пример использования OpenGL для визуализации трехмерной сцены и вывода на экран растрового изображения.

Обратная связь

Легко предположить, что у вас могут возникнуть вопросы, замечания, пожелания, критика и предложения. Пожалуйста, направляйте их в "книгу жалоб и предложений" по адресу **graphics@elecard.net.ru**. Я, конечно, не беру на себя обязательство откликаться на все письма, но если мне найдется, что сказать, то непременно постараюсь ответить. Ответы на часто задаваемые вопросы будут публиковаться по адресу **http://www.elecard.com/graphics**.

Благодарности

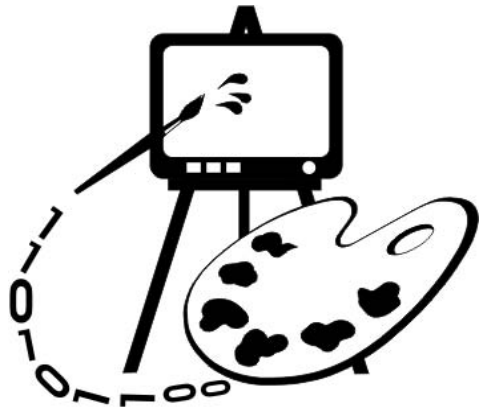
Я благодарен преподавателям и студентам кафедры компьютерных систем управления и проектирования ТУСУР за участие в обсуждении многих рассмотренных в книге тем. Хочу выразить отдельную признательность моему научному руководителю кандидату технических наук Леониду Ивановичу Бабаку. Спасибо студентам Елене Завадской и Сергею Цибенко за участие в деле построения поверхностей и линий уровня.

Я очень признателен руководству компании Элекард **http://www.elecard.com** за предоставленное в мое распоряжение необходимое оборудование, а своим коллегам по фирме Moonlight Russia за ценное общение.

Выражаю глубокую благодарность за поддержку своим родителям Анне Афанасьевне и Юрию Антониновичу.

Особое спасибо жене Марине за терпение, заботу и вдохновение.

Алексей Поляков



Часть I

ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

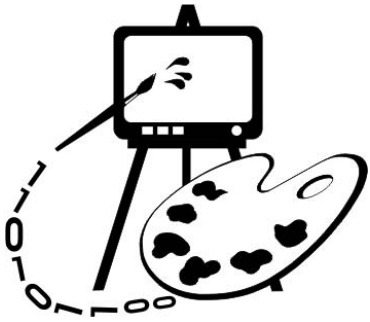
Глава 1. Основные понятия машинной графики

Глава 2. Особенности программирования "под Windows"

Глава 3. Создаем первое "графическое" приложение

Глава 1

Основные понятия машинной графики



В данной главе рассматриваются:

- цели и задачи машинной графики;
- основные понятия и определения.

1.1. Цели и задачи машинной графики

Понятие "компьютерная графика" объединяет довольно широкий круг операций по обработке графической информации с помощью компьютера. Причем наблюдается явная тенденция "компьютеризации" изображений циркулирующих в обществе. Стали обыденностью термины "цифровое фото" и "видео". Западные кинорежиссеры давно уже пытаются испугать нас ужасами будущего, захваченного компьютерными монстрами, подсовывающими людям виртуальный суррогат вместо прекрасной реальности. В виртуальных буднях грядущего компьютерной графике отводится огромная роль. Это связано с тем, что, по мнению ученых, исследующих проблемы мозга, зрительная система в иерархии мозговых структур человека занимает особое место. С восприятием и обработкой визуальной информации непосредственно связано примерно 20% мозга человека. Благодаря зрению мы получаем по разным оценкам от 70 до 90% сведений об окружающем мире. Следовательно, образный мир компьютерной графики является одним из глубинных проявлений человеческой природы.

В компьютерной графике можно выделить несколько основных направлений.

- Визуализация научных (расчетных или экспериментальных) данных. Большинство современных математических программных пакетов (например, Maple, MatLab, MathCAD) имеют средства для отображения графиков, поверхностей и трехмерных тел, построенных на основе каких-либо расчетов. Кроме того, графическая информация может активно

использоваться в самом процессе вычислений. Например, в системе Image, разработанной на кафедре компьютерных систем управления и проектирования Томского университета систем управления и радиоэлектроники, визуальные образы, выводимые на экран, являются основой для решения математических и проектных задач. Визуализация позволяет представить большой объем данных в удобной для анализа форме и широко используется при обработке результатов различных измерений и вычислений.

- Геометрическое проектирование и моделирование. Это направление компьютерной графики связано с решением задач начертательной геометрии — построением чертежей, эскизов, объемных изображений с помощью программных систем, получивших название CAD-системы (от английского Computer-Aided Design), например, AutoCAD.

  Существует большое количество специализированных CAD-систем в машиностроении, архитектуре и т. д.

- Распознавание образов. Способность человека распознавать абстрактные образы считают одним из важнейших факторов, определившим развитие его мыслительных способностей и выделившим его из животного мира[1]. Решение задачи распознавания и классификации графической информации является одной из ключевых и при создании искусственного интеллекта. Уже в наши дни компьютеры распознают образы повсеместно: системы идентификации футбольных хулиганов у входа на стадион; анализ аэро- и космических фотоснимков; системы сортировки, наведения и т. д. Возможно, самый известный пример распознавания образов — сканирование и перевод "фотографии" текста в набор отдельных символов, формирующих слова. Программное обеспечение многих современных сканеров позволяет выполнить такую операцию. Кроме того, существуют специализированные программы распознавания текста, например, FineReader.

- Изобразительное искусство. К этому направлению можно отнести разнообразную графическую рекламу от текстовых транспарантов и фирменных знаков до компьютерных видеофильмов, обработку фотографий, создание рисунков, мультипликацию и т. д. В качестве примера популярных

[1] "Символические изображения, будь то животные, нарисованные на стенах пещер, или лунные календари, вырезанные на кости животных, ассоциируются исключительно с нашим видом. Возможно, в результате произошедшего небольшого щелчка в устройстве нашего мозга вкупе с некоторым "переключением проводов" наши предки обрели тот тип мышления, который был недоступен неандертальцам, — а именно, способность к распознаванию абстрактных символов. И как только этот скрытый интеллектуальный потенциал начинал использоваться вследствие изобретения способов символьной коммуникации — произошедшего, скажем, 35 000 лет назад, его обладатели должны были быстро выйти на совершенно новый уровень технологий". — Майкл Л. Ротсчайльд. Биономика.

программ из этой области компьютерной графики можно назвать Adobe Photoshop (обработка растровых изображений), CorelDRAW (создание векторной графики), 3ds max (трехмерное моделирование).

- Виртуальная реальность. Реальность, даже виртуальная, подразумевает воздействия на всю совокупность органов чувств человека, но в первую очередь на его зрение. К компьютерной графике можно отнести задачи моделирования внешнего мира в различных приложениях: от компьютерных игр до тренажеров. Кроме того, не стоит забывать о компьютерах-злодеях, которые используют виртуальную реальность для захвата мира. Поэтому надо изучать компьютерную графику, чтобы не дать себя провести.
- Цифровое видео. Все более широкое распространение получают анимированные изображения, записанные в цифровом формате. Это прежде всего фильмы, передаваемые через компьютерные сети, а также видеодиски Digital Video Disk (DVD), цифровое кабельное и спутниковое телевидение.

Приведенная классификация сфер применения компьютерной графики является во многом условной. Возможно, найдутся задачи, которые нельзя отнести ни к одному из обозначенных направлений.

1.2. Основные понятия и определения

1.2.1. Графический формат

Графическим форматом называют порядок (структуру), согласно которому данные, описывающие изображение, записаны в файле.

Графические данные обычно разделяются на два класса: *векторные* и *растровые*. Изображения, в зависимости от типа описывающих их данных, называются векторными или растровыми.

Векторные данные используются для представления прямых, многоугольников, кривых и т. д. с помощью определенных в числовом виде *базовых* (опорных, контрольных, ключевых) точек. Программа, обрабатывающая векторные данные, воспроизводит линии посредством соединения базовых точек. Вместе с информацией о базовых точках хранятся атрибуты (цвет, толщина и другие параметры линий) и набор правил (соглашений) вывода (рисования). Пример векторного изображения приведен на рис. 1.1.

Растровые данные представляют собой набор числовых значений, определяющих яркость и цвет отдельных *пикселов*. Пикселами (или пикселями — от английского pixel) называются минимальные элементы (цветные точки), из которых формируется растровое изображение. Термин "растр" в компьютерной графике и полиграфии имеет несколько отличающихся значений.

Далее под растром будем понимать массив пикселов (массив числовых значений). Для обозначения массива пикселов часто используется термин *bitmap* (битовая карта). В *bitmap* каждому пикселу отводится определенное число битов (одинаковое для всех пикселов изображения). Это число называется *битовой глубиной* пиксела или *цветовой глубиной* изображения, т. к. от количества бит, отводимых на один пиксел, зависит количество цветов изображения. Наиболее часто используется пикселная глубина 1, 2, 4, 8, 15, 16, 24 и 32 бита.

Рис. 1.1. Векторный рисунок

Источниками растровых данных могут быть программы, формирующие изображение на растровом экране и различного рода устройства для ввода изображений (сканеры, цифровые камеры и др.).

Пример растрового изображения приведен на рис. 1.2.

Рис. 1.2. Растровый рисунок

Типы форматов графических файлов определяются способом хранения и типом графических данных. Наиболее широко используются растровый, векторный и метафайловый форматы.

Векторный формат наиболее удобен для хранения изображений, которые можно разложить на простые геометрические фигуры (например, чертежи или текст). Векторные файлы содержат математические описания элементов изображения. Наиболее распространенные векторные форматы: AutoCAD DXF и Microsoft SYLK.

Растровый формат используется для хранения растровых данных. Файлы такого типа особенно хорошо подходят для хранения реальных изображений, например, фотографий. Растровые файлы содержат пикселную карту изображения и ее спецификацию. Наиболее распространенные растровые форматы: BMP, TIFF, GIF, PCX, JPEG.

Метафайловый формат позволяет хранить в одном файле и векторные, и растровые данные. Примером такого формата являются файлы CorelDRAW — CDR.

Кроме того, существуют файловые форматы для хранения мультипликации (видеоинформации), мультимедиа-форматы (одновременно хранят звуковую, видео и графическую информацию), гипертекстовые (позволяют хранить не только текст, но и связи-переходы внутри него) и гипермедиа (гипертекст плюс графическая и видеоинформация) форматы, форматы трехмерных сцен, форматы шрифтов и т. д.

1.2.2. Элементы графического файла

Графические файлы состоят из последовательности данных или структур данных, называемых *файловыми элементами* или *элементами данных*. Эти элементы подразделяются на три категории: поля, теги и потоки.

- *Поле* — это структура данных в графическом файле, имеющая фиксированный размер. Для определения положения поля в файле обычно задают либо абсолютное смещение от начала или конца файла, либо смещение относительно другого поля.
- *Тег* — это структура данных, размер и позиция которой изменяются от файла к файлу. Позиция тега может задаваться абсолютно, либо относительно от другого файлового элемента. Теги могут содержать в себе другие теги или наборы связанных полей.
- *Поток* — набор данных, предназначенный для последовательного чтения. В отличие от полей и тегов поток не обеспечивает быстрого доступа к нужным данным, т. к. их положение в файле определяется в процессе чтения.

Как правило, в графических файлах применяются комбинации этих элементов данных.

1.2.3. Преобразование форматов

Часто возникает проблема преобразования формата данных, связанная с необходимостью обмена изображениями между различными программами. Для преобразования данных существуют специализированные программы, кроме того, распространенные графические редакторы позволяют читать и сохранять изображения в различных форматах. Поэтому преобразование растровых данных в одном формате в растровые данные в другом формате обычно не представляет сложности. Другое дело — преобразование векторных изображений в растровые. При таком преобразовании неизбежно теряется часть информации, т. к. происходит переход от "идеального" математического описания рисунка к его дискретному (растровому) представлению. Обратное же преобразование из растрового формата в векторный вообще является нетривиальной задачей, связанной с распознаванием образов.

1.2.4. Сжатие данных

Сжатие — процесс уменьшения физического размера блока данных. Так как изображения, как правило, описываются большим количеством данных, файлы изображений имеют большой размер. Поэтому графические данные часто подвергаются сжатию. Обычно каждый формат графического файла поддерживает какой-либо из методов (алгоритмов) сжатия. В большинстве случаев сжатие заключается в замене избыточной информации на ее более компактную форму. Сжатие бывает физическое и логическое. Различие между физическим и логическим сжатием заключается в методе получения более компактной формы данных. Физическое сжатие данных выполняется без учета содержащейся в них информации. Логическое же сжатие — напротив основано на логическом анализе информации. Примером логического сжатия может служить преобразование строки "Союз Советских Социалистических Республик" в аббревиатуру "СССР". Для графических данных логическое сжатие не применяется.

Методы сжатия бывают *с потерями* и *без потерь*. Когда данные сжимаются, а после восстанавливаются (распаковываются) и полученные данные полностью соответствуют исходной информации, то говорят, что имело место сжатие без потерь. Иначе говоря, при методе сжатия без потерь не должно происходить какого-либо изменения данных.

Методы сжатия с потерями предусматривают отбрасывание некоторой части данных изображения для достижения большей степени сжатия.

Некоторые наиболее распространенные методы сжатия.

- Упаковка пикселов. Метод заключается в компактной записи пикселов с глубиной 1, 2 и 4 бита компактно в 8-битовые байты соответственно по 8, 4 и 2 штуки.

- Групповое кодирование (Run-Length Encoding, RLE) — является общим алгоритмом кодирования и применяется в таких растровых форматах, как BMP, TIFF, PCX.
- Алгоритм Lempel-Ziv-Welch (LZW) применяется в форматах GIF, TIFF.
- Алгоритм JPEG, разработанный объединенной экспертной группой по фотографии, включает в себя целый набор методов сжатия. Базовая реализация JPEG применяет схему преобразования изображения по алгоритму дискретных косинус-преобразований с последующим кодированием методом Хаффмана.
- Фрактальное сжатие — математический процесс, используемый для кодирования растровых изображений в совокупность математических данных, которые описывают фрактальные (похожие, повторяющиеся) свойства изображения.

Сжатие в основном применяется к данным растровых изображений. В растровых файлах сжимаются только данные изображения, другие же данные (заголовок файла, таблица цветов и т. п.) остаются всегда несжатыми.

Векторные файлы сжимаются редко. Это связано с тем, что векторные форматы сами по себе хранят данные в очень компактной форме и сжатие не даст ощутимого эффекта.

Важно уяснить, что алгоритмы сжатия не задают какой-либо файловый формат, а определяют только способ кодирования данных.

1.2.5. Пикселы и цвет

Различают физические и логические пикселы.

Физические пикселы — реальные точки, отображаемые на устройстве вывода — наименьшие элементы на поверхности отображения, которыми можно манипулировать. При выводе на экран или принтер один физический пиксел обычно формируется из нескольких более мелких цветовых точек. Например, один цветной пиксел на мониторе формируется из трех более мелких точек красного, зеленого и синего цветов, яркость которых и определяет цвет пиксела.

Логические пикселы подобны чертям на кончике иглы[1] — они имеют местоположение и цвет, но не занимают физического пространства (то есть нельзя вычислить высоту и ширину такого пиксела). По сути логический пиксел — это всего лишь некоторое число, которое задает его цвет. Положение же логического пиксела (его координаты) определяется его местом в карте изображения и количеством пикселов на единицу измерения (разрешением).

[1] "Сколько чертей уместится на кончике иглы" — известный схоластический спор.

При отображении логических пикселов на физическом экране происходит преобразование численных данных, характеризующих яркость и цвет логических пикселов, в интенсивность свечения физических пикселов. При этом никак не обойтись без учета размера и расположения физических пикселов.

Количество цветов пиксела напрямую связано с отводимым для него количеством битов и равно 2^n, где n — количество битов. Изображения, каждому пикселу которого отводится один бит, называют монохромными — двухцветными. Такие изображения вполне подходят для чертежей и текста. Изображения с глубиной цвета 24 бита и более называют *truecolor* (истинные цвета). Каждый пиксел такого изображения может принимать более 16 миллионов цветов. Считается, что этого вполне достаточно, чтобы правильно отобразить окружающую нас действительность.

При отображении цветов, заданных для логических пикселов на устройстве визуализации, может возникнуть проблема согласования цветов. Например, если устройство вывода способно отобразить до 16 млн. цветов, а изображение имеет глубину цвета 8 бит (256 цветов), то проблем с его отображением не будет. Если же все наоборот, то программе визуализации придется потрудиться, выполняя преобразование цветов изображения к возможностям устройства вывода. В последнем случае неизбежна потеря части данных, и, как следствие, снижение качества изображения. Кроме того, возможно возникновение всякого рода побочных эффектов (муар, вторичные контуры — артефакты одним словом).

1.2.6. Палитры цветов

Палитра цветов, называемая также *картой* или *таблицей цветов*, представляет собой одномерный массив цветовых величин. С помощью палитры цвета задаются косвенно, посредством указания их позиции в массиве. При использовании палитры цветов, сведения о цветах пикселов записаны в файле в виде последовательности индексов. Использование палитр во многих случаях позволяет значительно сократить объем растровых данных.

Наиболее часто используются палитры из 16 и 256 цветов, соответственно глубина цвета 4 и 8 битов, но могут быть палитры и других размеров.

Например, каждый пиксел изображения с глубиной цвета в 4 бита может иметь 16 цветов (2^4). Эти 16 цветов определены в палитре, которая обычно включается в один файл с растровыми данными. Каждое пикселное значение рассматривается как индекс в этой палитре и содержит одно из значений от 0 до 15. Значения цветов в палитре задаются с максимально возможной точностью. Обычно элемент палитры занимает 24 бита (3 байта). Таким образом, элемент палитры может задавать один из 16 777 216 цветов (2^{24}). Программа, осуществляющая визуализацию изображения, читает из файла растровые данные — индексы в таблице цветов и использует соответствующие им цвета для окрашивания пикселов экрана (рис. 1.3). Палитры разных изображений чаще всего различаются.

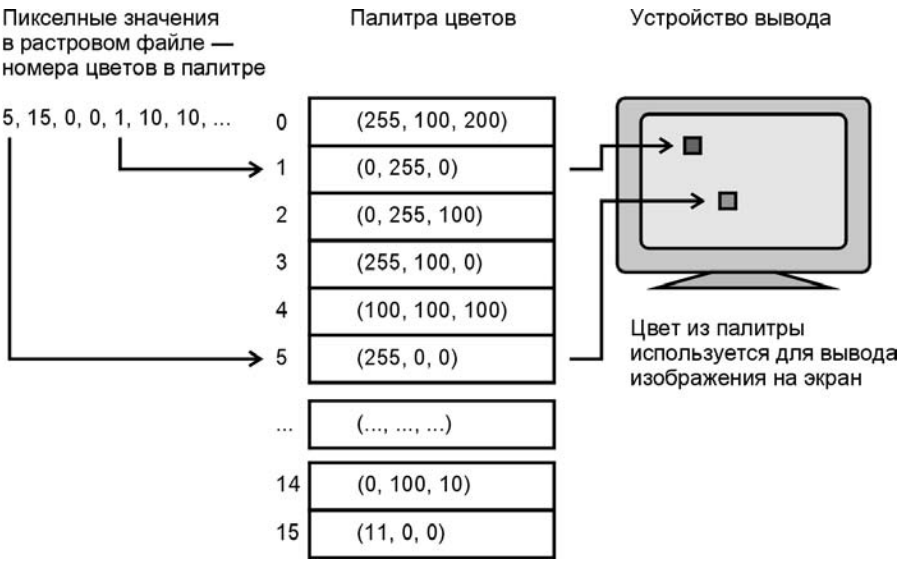


Рис. 1.3. Определение цвета с помощью палитры

1.2.7. Цвет. Цветовые модели

Для описания цветов применяют несколько различных математических систем (моделей). Ни одна из существующих систем представления цвета не является наилучшей. Для разных целей и задач служат различные системы.

В графических файлах обычно используют цветовые модели, основанные на трех основных цветах, которые не могут быть получены смешиванием других цветов. Все множество цветов, которые могут быть получены путем смешивания основных цветов, представляет собой *цветовое пространство*, или *цветовую гамму*.

Цветовые модели могут быть разделены на две категории: *аддитивные* и *субтрактивные*. В аддитивных моделях новые цвета получаются путем сложения основных цветов различной интенсивности с черным цветом. Чем больше интенсивность добавляемых цветов, тем ближе результирующий цвет к белому. Белый цвет получается при максимальных значениях интенсивности всех трех основных цветов, черный — при минимальных. Аддитивные модели формирования цвета применяются в самосветящихся устройствах (например, мониторах).

В субтрактивных моделях основные цвета вычитаются из белого. Чем больше интенсивность вычитаемых цветов, тем ближе результат к черному. Субтрактивные модели применяются при формировании цветных изображений на отражающих носителях, например, бумаге.

Наиболее распространенные цветовые модели.

- **Модель RGB** (Red-Green-Blue — красный-зеленый-синий) — модель наиболее широко используемая в графических форматах. RGB — аддитивная модель. Каждый пиксел представляется в виде трех числовых величин — трех интенсивностей красного, зеленого и синего цветов. Каждому цвету обычно отводится 8 битов, в которых может быть записано 256 уровней интенсивности. Таким образом, значение (0, 0, 0) представляет черный цвет, а (255, 255, 255) — белый.
- **Модель CMY** (Cyan-Magenta-Yellow — голубой-пурпурный-желтый) — субтрактивная модель, применяется для получения цветных изображений на белой поверхности. При освещении изображения, полученного с помощью модели CMY, каждый из основных цветов поглощает дополняющий его цвет: голубой поглощает красный; пурпурный — зеленый; желтый — синий. Теоретически наивысшая интенсивность всех трех основных цветов субтрактивной модели должна обеспечить черный цвет. На практике этого не происходит (так как реальные красители далеки от математических идеалов), поэтому в модель вводят четвертый компонент — черный цвет (Black), обозначаемый буквой "K". В результате получается модель CMYK, широко распространенная в полиграфии. При использовании субтрактивной модели изображение каждого пиксела (цветной точки) изображения состоит из четырех пятен основных цветов.

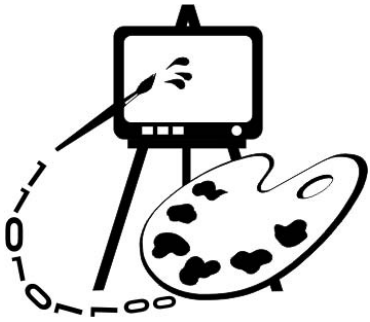
Существует и другие модели, не основанные на смешении цветов, например, HSV (Hue-Saturation-Value — оттенок-насыщенность-величина). Оттенок — это, по сути, цветовой тон, например, красный, оранжевый, синий и т. д. Насыщенность определяет количество белого в оттенке. Например, если в полностью насыщенном (100%) оттенке красного не содержится белого, такой оттенок считается чистым. Насыщенность 50% задает более светлый цвет, и в нашем примере, будет соответствовать розовому цвету. Величина (яркость) задает интенсивность свечения цвета.

1.3. Заключение

Итак, в этой главе мы коротко рассмотрели основные задачи, при решении которых используются средства компьютерной графики, и дали определения используемым терминам. В следующих главах на практике рассмотрим работу с векторной и растровой графикой. В качестве дополнительной литературы можно порекомендовать [6, 15].

Глава 2

Особенности программирования "под Windows"



В данной главе рассматриваются:

- особенности программирования "под Windows";
- основные понятия и принципы объектно-ориентированного программирования;
- создание приложения в MS Visual C++.

Сегодня, когда операционная система Win32 (имеются в виду все 32-разрядные разновидности Windows) получила широчайшее распространение, и о работе под DOS и Win16 уже стали забывать, программирование под Windows стало обыденностью. Однако не лишним будет подчеркнуть те концепции Windows, благодаря которым она стала столь популярной. Win32 предоставляет программисту такие возможности, о которых лет 10 назад можно было только мечтать. Пожалуй, основными отличиями операционных систем Win32 от их предшественниц является вытесняющая многозадачность и возможность прямой адресации до 4 Гбайт.

Вытесняющая многозадачность означает, что операционная система сама решает, какой из программ предоставить в распоряжение процессор. Каждая программа, отработав некоторое время, автоматически выгружается системой, и управление передается другой задаче. Возможно, кому-то не понравится такой "авторитарный" стиль управления. Зато такая организация позволяет, во-первых, создать иллюзию одновременного выполнения нескольких программ, а во-вторых, не допускает возможности полного захвата ресурсов компьютера какой-нибудь сбойной задачей и таким образом защищает систему от "зависания" (но мы-то знаем, что на практике это не всегда так). На мой взгляд, о вытесняющей многозадачности лучше всех сказал Омар Хайям:

Напрасно ты винишь в непостоянстве рок,
Что не в накладе ты, тебе и невдомек.
Когда б он в милостях своих был постоянен,
Ты б очереди ждать своей до смерти мог.

Вторая особенность Win32 — 32-разрядная адресация в полностью виртуальном адресном пространстве, т. е. любое приложение[1], независимо от того, сколько их одновременно выполняется, может распоряжаться 4 Гбайтами памяти. Причем, т. к. каждому приложению выделяется свое адресное пространство, они не могут случайно повредить данные друг друга. Получив в свое распоряжение столь большой ресурс памяти, программисты смогли наконец-то вздохнуть свободно. Интересно, далеко ли то время, когда 4 Гбайт не будет хватать для решения обычных задач.

Кроме перечисленных особенностей Win32, можно отметить также следующие:

- поддержка многозадачности на уровне процессов и потоков;
- возможность синхронизации потоков;
- существование файлов, проецируемых в память;
- наличие механизмов обмена данными между процессами.

В Win32 процессом называется каждая выполняющаяся программа. Каждый процесс имеет как минимум один поток выполнения. Термин "поток" (thread) можно определить как логическое направление выполнения программы. Если программу-процесс сравнить с рекой, то потоки можно сравнить с ее рукавами. Река может разделиться на несколько потоков-рукавов, которые будут течь параллельно друг другу. Например, когда программа должна выполнить какую-нибудь продолжительную операцию, ее целесообразно выделить в отдельный поток, основной же поток программы в это время может продолжать общаться с пользователем. Все потоки, принадлежащие одному процессу, выполняются в одном адресном пространстве и имеют общие с этим процессом код, ресурсы и глобальные переменные.

Для того чтобы несколько потоков слаженно решали поставленные задачи и не мешали друг другу при использовании каких-то общих ресурсов, применяется синхронизация потоков. Синхронизация может потребоваться, например, в случае, когда один из потоков должен дождаться завершения какой-то операции, выполняемой другим потоком, или, когда потоки работают с ресурсом, способным одновременно обслуживать лишь один из них. Поскольку потоки выполняются в условиях вытесняющей многозадачности, функции их синхронизации берет на себя операционная система. Для управления потоками в Windows используются специальные флаги, на которых основано действие нескольких механизмов синхронизации: *семафоры* (semaphores), *исключающие* (mutex) семафоры, *события* (event), *критические секции* (critical section).

Каждый процесс в Win32 имеет возможность прямой адресации до 4 Гбайт. Однако 4 Гбайт оперативной памяти пока не очень типичны для большинства персональных компьютеров. Поэтому программы работают с *виртуальными*

[1] Так называют свои программы настоящие Win32-программисты.

адресами, которые отличаются от физических адресов памяти. Для того чтобы предоставить в распоряжение программ такой большой объем памяти, Windows использует специальный механизм подкачки памяти с жесткого диска. Этот механизм называется страничной организацией памяти (paging). При такой организации логическое адресное пространство каждого процесса разбито на отдельные блоки, называемые *страницами*. Страницы могут располагаться как в оперативной памяти, так и на жестком диске. Операционная система оптимизирует выделение оперативной памяти таким образом, чтобы процессы могли получить быстрый доступ к часто используемым данным. Диспетчер виртуальной памяти отслеживает давно не используемые страницы памяти и отправляет их в страничный файл на диск.

Видимо, похожий механизм управления памятью используется при создании *файлов, проецируемых в память*, называемыми еще *отображаемыми файлами*. Проецируемый файл как бы отображает файл на диске в диапазон адресов в памяти. Это позволяет выполнять операции с файлом прямо в памяти. Операционная система же сама организует обмен данных между памятью и диском. Использование файлов, проецируемых в память, позволяет значительно упростить работу с файлами, а также дает возможность разделять данные между процессами. Разделение данных происходит следующим образом: два или более процессов создают в своей виртуальной памяти проекции одной и той же физической области памяти — объекта "проецируемый файл". Когда один процесс записывает данные в свою "проекцию" файла, изменения немедленно отражаются и в "проекциях", созданных в других процессах. Для организации такого взаимодействия все процессы должны использовать одинаковое имя для объекта "проецируемый файл".

В Win32 каждый процесс имеет свое адресное пространство, поэтому одновременно выполняемые приложения не могут случайно повредить данные друг друга. Однако часто возникают задачи обмена информацией между процессами. Для этой цели в Win32 предусмотрены специальные способы, позволяющие приложениям получать совместный доступ к каким-либо данным. Все способы основаны на механизме проецирования файлов, описанном выше.

Один из способов заключается в создании "Почтового ящика" (mailslot) — специальной структуры в памяти, имитирующей обычный файл на жестком диске. Приложения могут помещать данные в "ящик" и считывать их из "ящика". Когда все приложения, работающие с ящиком, завершаются, "почтовый" ящик и данные, находящиеся в нем, удаляются из памяти.

Другой способ заключается в организации коммуникационной магистрали — "канала" (pipe), соединяющего процессы. Приложение, имеющее доступ к каналу с одного его "конца", может связаться с приложением, имеющим доступ к каналу с другого его "конца" и передать ему данные. Канал может предоставлять приложениям односторонний или двусторонний доступ. При одностороннем доступе одно приложение может записывать данные

в канал, а другое считывать; при двустороннем — оба приложения могут выполнять операции чтения/записи. Существует возможность организовать канал, коммутирующий сразу несколько процессов.

Далее при реализации алгоритмов компьютерной графики мы постараемся использовать эти возможности, предоставляемые Windows.

2.1. Типы данных в Windows

В Windows-программах вместо стандартных для C и C++ типов данных (таких как `int` или `char*`) применяются типы данных, определенные в библиотечных файлах (например, в WINDOWS.H). Часто используются следующие типы:

- HANDLE — 32-разрядное целое в качестве дескриптора (числового идентификатора какого-либо ресурса);
- HWND — дескриптор окна (32- разрядное длинное целое);
- BYTE — 8-разрядное беззнаковое символьное значение;
- WORD — 16-разрядное беззнаковое короткое целое;
- DWORD, UINT — 32-разрядное беззнаковое длинное целое;
- LONG — 32-разрядное длинное целое со знаком;
- BOOL — целое, используется для обозначения истинности (1 — TRUE) или ложности (0 — FALSE);
- LPSTR — 32-разрядный указатель на строку символов.

Кроме перечисленных, существует еще много других типов, обозначающих дескрипторы различных ресурсов, указатели, структуры и т. д. Различия многих из них заключаются лишь в том, что они обозначают. В Windows-программах можно также использовать и все традиционные типы данных.

2.2. Структура Windows-приложения

Работа Windows-программ основана на обработке сообщений, которые поступают от пользователя, операционной системы и других программ. Структура приложений обязательно включает в себя главную функцию `WinMain`, одинаково устроенную для всех приложений. С этой процедуры начинается выполнение всех Windows-программ. `WinMain` должна выполнить следующие основные действия:

1. Определить и зарегистрировать класс окна в Windows.
2. Создать и отобразить окно, определяемое данным классом.
3. Запустить цикл обработки сообщений.

При определении класса окна указывается специальная *функция окна*, которая должна реагировать на поступающие окну сообщения. Каждое приложение имеет свою очередь сообщений — ее создает Windows и помещает туда все сообщения, адресованные окну приложения. После создания и отображения окна запускается основной цикл обработки сообщений, в котором сообщения проходят предварительную обработку, и возвращаются обратно Widows. Затем Windows вызывает функцию окна программы с очередным сообщением в качестве аргумента. Анализируя сообщение, функция окна инициирует соответствующие операции. Сообщения, обработка которых не предусмотрена функцией окна, передаются обратно Windows, которая выполняет обработку "по умолчанию". Ниже приведена минимальная программа для Windows (листинг 2.1).

Листинг 2.1. Минимальная программа для Windows

```
// Минимальное приложение для Win32
#include <windows.h>
// Прототип функции окна
LRESULT CALLBACK WinFunction (
HWND hwnd,        // Указатель на окно
UINT message,     // Идентификатор сообщения
WPARAM wparam,    // Параметры
LPARAM lparam);   // сообщения

// Имя класса окна
char szWindowName[]="MyClass";

// Функция WinMain
int WINAPI WinMain(
   HINSTANCE hThisInst,  // Дескриптор экземпляра приложения
   HINSTANCE hPrevInst,  // В Win32 всегда NULL
   LPSTR lpszArgs,       // Указатель на строку с аргументами
   int nWinWode)         // Способ визуализации окна при запуске
{
   // Будет содержать указатель главного окна программы
   HWND hwnd;
   // Структура-буфер для хранения сообщений
   MSG msg;
   // Структура для определения класса окна
   WNDCLASSEX wcl;
   wcl.hInstance=hThisInst;           // Дескриптор приложения
```

```
wcl.lpszClassName = szWindowName;  // Имя класса окна
wcl.lpfnWndProc = WinFunction;     // Функция окна
wcl.style=0;                       // Стиль по умолчанию
wcl.hIcon=LoadIcon(NULL, IDI_APPLICATION);   // Пиктограмма
wcl.hCursor=LoadCursor(NULL, IDC_ARROW);     // Курсор
wcl.lpszMenuName=NULL;             // Без меню
wcl.cbClsExtra=0;                  // Без доп. информации
wcl.cbWndExtra=0;   // Без доп. информации
wcl.hbrBackground=(HBRUSH)GetStockObject(WHITE_BRUSH);   // Фон

// Регистрация класса окна
if(!RegisterClassEx(&wcl)) return 0;

// Создание окна
hwnd=CreateWindow(
szWindowName,   // Имя класса окна
"Минимальная программа для Windows",   // Заголовок
WS_OVERLAPPEDWINDOW,   // Стиль
CW_USEDEFAULT,         // Координаты x и y
CW_USEDEFAULT,         // верхнего левого угла
CW_USEDEFAULT,         // Ширина
CW_USEDEFAULT,         // Высота окна
HWND_DESKTOP,          // Родительское окно
NULL,                  // Дескриптор меню
hThisInst,             // Дескриптор приложения
NULL);                 // Без дополн. информации

// Отображение окна
ShowWindow(hwnd, nWinWode);
// Перерисовка окна
UpdateWindow(hwnd);
// Цикл обработки сообщений
while(GetMessage(
           &msg,  // Буфер для сообщения
           NULL,  // Получать сообщения от всех окон приложения
           0, 0)) // Диапазон получаемых сообщений — все
{
    // Возвращает управление Windows
    DispatchMessage(&msg);
}
```

```
    return msg.wParam;     // Значение, возвращаемое программой
};
// Функция окна вызывается Windows для обработки сообщений
LRESULT CALLBACK WinFunction (
    HWND hwnd,         // Дескриптор окна
    UINT message,      // Идентификатор сообщения
    WPARAM wparam,     // Параметры
    LPARAM lparam)
{
    switch(message)
    {
        case WM_DESTROY:     // Завершение программы
               PostQuitMessage(0);
               break;
        default:             // Передает необработанные сообщения Windows
               return DefWindowProc(hwnd, message, wparam, lparam);
    }
    return 0;
};
```

Рассмотрим выполнение данной программы. Схематично процесс обработки сообщений показан на рис. 2.1.

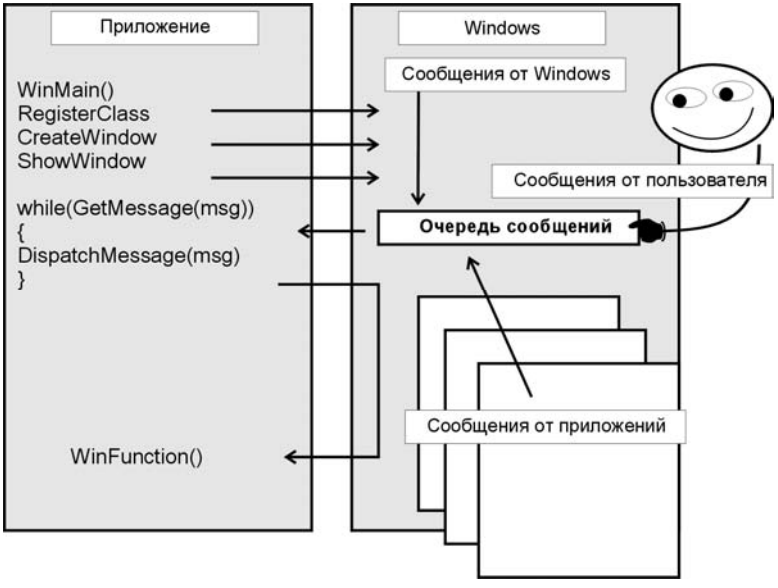


Рис. 2.1. Схема обработки сообщений приложением

Все программы, написанные для Windows, должны включать библиотечный файл WINDOWS.H. Этот файл содержит прототипы API-функций (о них будет рассказано дальше), а также определения различных типов данных, макросов и констант, используемых в Windows. Функция окна, используемая в программе, называется `WinFunction()`. Она объявлена как функция обратного вызова, т. к. вызывается Windows для обработки сообщений. Программа начинает выполнение с вызова функции `WinMain()`. Первое, что выполняет функция `WinMain()`, — определяет класс окна путем заполнения полей структуры `WINDCLASSEX`. С помощью данной структуры программа указывает Windows функцию и стиль окна. Регистрация класса окна выполняется с помощью API-функции `RegisterClassEx()`. После этого создается окно с помощью API-функции `CreateWindow()`, параметры которой определяют внешний вид окна. В конце функции `WinMain()` расположен цикл сообщений. Он является обязательной частью всех приложений Windows. Пока приложение выполняется оно непрерывно получает сообщения и извлекает их из очереди с помощью API-функции `GetMessage()`. Сообщения поступают через параметр функции типа структура `MSG`. Если очередь сообщений пуста, то вызов `GetMessage()` передает управление Windows. При завершении работы с программой функция `GetMessage()` возвращает ноль. После того как сообщение прочитано, оно передается назад в Windows API-функцией `DispatchMessage()`. Windows хранит сообщение до тех пор, пока не передаст его программе в качестве параметра функции окна. Когда цикл сообщений завершается, функция `WinMain()` также завершает свое выполнение, возвращая Windows значение кода возврата.

Возможно, такая схема работы приложения выглядит чрезмерно сложной. Возникает вопрос: зачем приложению извлекать сообщения из очереди сообщений, чтобы затем снова возвратить их Windows. Дело в том, что при такой организации обработки сообщений, операционная система может обеспечить параллельность выполнения нескольких процессов, а приложение получает возможность выполнить предварительную обработку сообщений. Приложение может:

- фильтровать получаемые сообщения, задавая нужные параметры функции `GetMessage()`;
- транслировать виртуальные коды клавиш в клавиатурные сообщения с помощью функции `TranslateMessage()`;
- транслировать коды нажатия "горячих" клавиш в сообщения команд меню функцией `TranslateAccelerator()`.

С использованием этих функций цикл обработки сообщений может выглядеть следующим образом (листинг 2.2).

Листинг 2.2. Пример стандартного цикла обработки сообщений

```
// Цикл обработки сообщений
while(GetMessage(&msg, NULL, 0, 0))
{
   // Транслировать горячие клавиши
   if(!TranslateAccelerator(hwnd, hAccel, &msg))
   {
      // Транслировать виртуальные клавиши
      TranslateMessage(&msg);
      // Возвращает управление Windows
      DispatchMessage(&msg);
   }
}
```

Любое приложение взаимодействует с Windows через Application Programming Interface (API). API содержит несколько сотен функций, которые реализуют все необходимые системные действия, такие как выделение памяти, создание окон, вывод на экран и т. д. Функции API содержатся в библиотеках динамической загрузки (Dynamic Link Libraries или DLL), которые загружаются в память только в тот момент, когда к ним происходит обращение.

Одним из подмножеств API является GDI (Graphic Device Interface — интерфейс графических устройств). Задача GDI — обеспечение аппаратно-независимой графики. Благодаря функциям GDI Windows-приложение может выполняться на самых различных компьютерах.

2.3. Создание приложения в MS Visual C++

Среда разработки программ Microsoft Visual C++ предназначена для создания приложений — программ, снабженных всем необходимым для их работы: файлами ресурсов, библиотеками и т. д. В Visual C++ в основном разрабатываются приложения на основе Microsoft Foundation Class Library (MFC) — библиотеки базовых классов объектов фирмы Microsoft. Такие приложения представляют собой совокупность объектов, которыми являются само приложение и все его компоненты: документы, облики документов, диалоги и т. д. Интерфейс Visual C++ версии 6.0 показан на рис. 2.2. Visual C++ включает удобные средства создания и редактирования всех типов ресурсов, имеет мощные инструменты для генерации каркасов приложений

(AppWizard), а также для создания и управления классами приложения (ClassWizard). Работу с этими инструментами рассмотрим далее на примере разработки конкретных приложений.

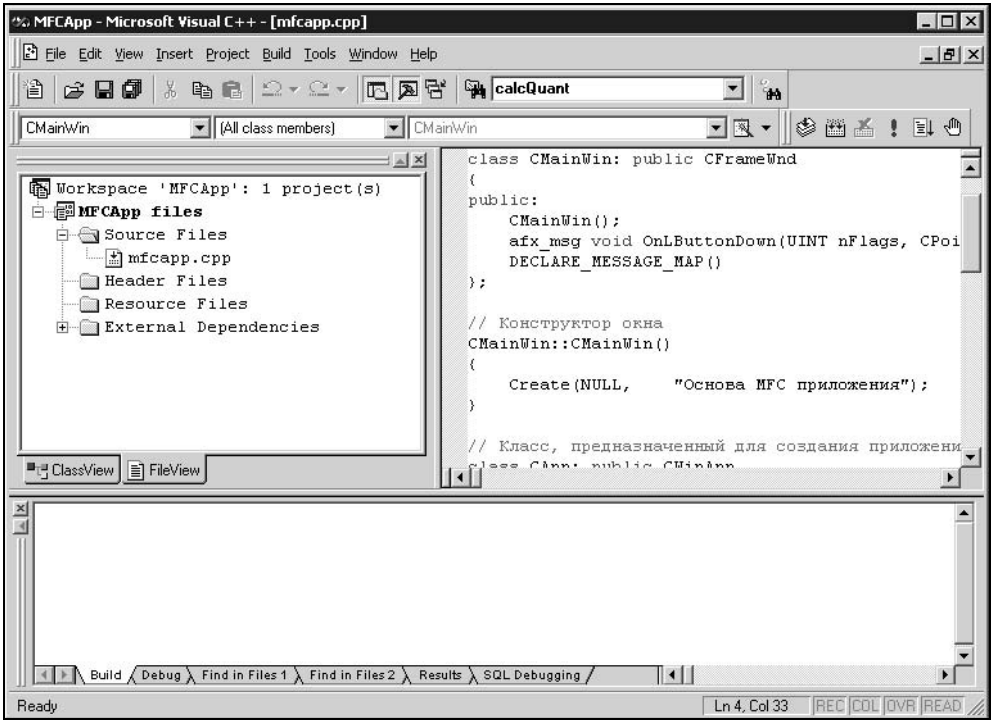


Рис. 2.2. Среда разработки программ Visual C++

Надо отметить, что профессионализм и успех современного программиста состоит не только (часто даже не столько) в умении разрабатывать и реализовывать хитроумные алгоритмы, но и в способности использовать труд огромной армии коллег по всему миру. Неоценимую помощь при разработке программ может оказать библиотека знаний Microsoft Developer Network (MSDN) — это более гигабайта ценной информации. В MSDN можно найти не только справочную информацию по функциям API или классам MFC, но и массу статей, технических описаний, примеров программ, в которых разработчики делятся опытом. В арсенале профессионального программиста эта библиотека просто необходима. Кроме того, очень много полезной информации и практических советов можно найти на Интернет-сайтах, посвященных программированию (адреса некоторых из них приведены в конце книги в перечне Интернет-ресурсов).

Прежде чем продолжить повествование, кратко повторим основные принципы объектно-ориентированного стиля программирования (ООП).

2.4. Основные понятия и принципы объектно-ориентированного программирования

Основные понятия и принципы объектно-ориентированного программирования (ООП): *объект*, *класс*, *инкапсуляция*, *наследование, полиморфизм*. Класс является обобщением понятия типа данных и задает свойства и поведение объектов класса, называемых также экземплярами класса. Каждый объект принадлежит некоторому классу. Класс можно представлять как объединение данных и процедур, предназначенных для их обработки. Данные класса называются также *переменными класса*, а процедуры — методами класса. В C++ переменная класса называется *данное-член* класса (data member), а метод — *функция-член* класса (member function). Переменные определяют свойства или состояние объекта. Методы определяют поведение объекта.

Пусть определен класс `A`, тогда можно определить новый класс `B`, наследующий свойства и поведение объектов класса `A`. Это означает, что в классе `B` будут определены переменные и методы класса `A`. Класс `B` в данном случае является производным (порожденным) от класса `A`. Класс `A` является родительским (базовым) по отношению к `B`. В производном классе можно задать новые свойства и поведение, определив новые переменные и методы. Можно также переопределить существующие методы базового класса. *Переопределение* (перегрузка — overloading) метода класса `A` — это определение в классе `B` метода с именем, уже являющимся именем какого-либо метода класса `A`. Метод базового класса можно объявить *виртуальным* (с атрибутом `virtual`). Тогда при переопределении метода в производном классе должно сохраняться число параметров метода и их типы. Виртуальность обеспечивает возможность написания полиморфных функций, аргумент которых может иметь разные типы (классы) при разных обращениях к функции, и при этом будут выполняться действия, специфичные для типа фактически переданного аргумента. Например, пусть в классе `A` определен виртуальный метод `VirtualMethod()`, который выдает сообщение: "Я метод класса `A`". Переопределим этот метод в классе `B` так, чтобы он выдавал сообщение: "Я функция-член класса `B`". Теперь рассмотрим такой фрагмент псевдокода (листинг 2.3).

Листинг 2.3. Пример переопределения метода класса

```
// Определяем класс A
class A
{
   public:
   // Виртуальный метод класса A
```

```
   virtual void VirtualMethod() {вывод сообщения: "Я метод класса A"};
}

//Определяем класс B, производный от класса A
class B: public A
{
   public:
   // Виртуальный метод класса B
    void VirtualMethod() {вывод сообщения: "Я метод класса B"};
}

// Полиморфная функция. Обратите внимание: в качестве аргумента
// она принимает указатель на класс A, базовый по отношению к
// классу B.
void ShowMessage(A* x)
{
   // Вызов метода VirtualMethod()объекта x
   x->VirtualMethod();
}

// Создаем объект ObjectA класса A
A ObjectA;
// Создаем объект ObjectA класса B
B ObjectB;

// Вызываем полиморфную функцию с аргументом — указателем
// на объект класса A
// Будет выдано сообщение "Я метод класса A"
ShowMessage(&ObjectA);

// Вызываем полиморфную функцию с аргументом — указателем
// на объект класса B
// Будет выдано сообщение "Я функция-член класса B"
ShowMessage(&ObjectB);
```

Класс B, производный от класса A, может быть базовым для класса C и т. д. Все порожденные классы называются наследниками, а классы, от которых они порождены — предками.

Надо отметить, что определения классов (называемые также интерфейсами классов) помещаются обычно в заголовочные файлы с расширением h, а реализация функций классов помещается в одноименные файлы с расши-

рением cpp. Такая организация структурирует исходный текст, облегчает управление файлами с исходными текстами и позволяет выполнять раздельную компиляцию модулей программы.

2.5. Библиотека Microsoft Foundation Class Library

Библиотека MFC — это базовый набор классов, написанных на языке C++ и предназначенных для упрощения и ускорения процесса программирования под Windows. Библиотека представляет собой многоуровневую иерархию классов (около 200 членов), которые обеспечивают возможность создавать Windows-приложения на основе объектно-ориентированного подхода. Достоинством MFC является то, что использование ее классов позволяет избежать большей части рутинной работы и примерно в три раза сокращает объем программ. Инкапсулируя функции API, классы MFC значительно облегчают работу с ними. Интерфейс, обеспечиваемый библиотекой, практически не зависит от деталей, его реализующих. Поэтому программы, написанные на основе MFC, могут быть легко адаптированы к новым версиям Windows.

MFC — каркас, на основе которого можно создавать программы под Windows. Как уже отмечалось, у всех Windows-приложений фиксированная структура, определяемая функцией `WinMain()`. Структура приложений, построенных на основе объектов классов библиотеки MFC, является также жестко заданной.

Имена классов библиотеки MFC начинаются с префикса "C", а имена переменных класса с "m_"; мы тоже далее будем придерживаться этого правила.

В простейшем случае программа, написанная с использованием MFC, содержит два класса, порождаемые от классов библиотеки: класс, предназначенный для создания приложения, и класс, предназначенный для создания окна. Первый порождается от класса `CWinApp` библиотеки MFC, второй — от `CFrameWnd`. Назовем их для определенности `CApp` и `CMainWin`, соответственно. Эти два класса обязательны для любой программы. Ядро MFC-приложения — глобальный объект `theApp` класса `CApp` — отвечает за создание всех остальных объектов и обработку очереди сообщений.

Для создания MFC-программы необходимо выполнить следующие действия:

1. От `CFrameWnd` породить класс, определяющий окно, — класс `CMainWin`.
2. От `CWinApp` породить класс, определяющий приложение — `CApp`.
3. Создать карту сообщений.
4. Переопределить функцию `InitInstance()` класса `CWinApp`.
5. Создать экземпляр класса, определяющего приложение, — объект `theApp`.

Ниже приведена минимальная программа, написанная на основе классов библиотеки MFC (листинг 2.4).

Листинг 2.4. Минимальная программа на основе классов библиотеки MFC

```
#include <afxwin.h>
// Определение основных классов
// Класс, предназначенный для создания главного окна
class CMainWin: public CFrameWnd
{
public:
   CMainWin();
   DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

// Конструктор окна
CMainWin::CMainWin()
{
   Create(NULL, "Основа MFC-приложения");
}

// Класс, предназначенный для создания приложения
class CApp: public CWinApp
{
public:
   BOOL InitInstance();
};

// Функция инициализации приложения
BOOL CApp:: InitInstance()
{
   // Создание объекта — главного окна
   m_pMainWnd=new CMainWin;
   // Отобразить окно
   m_pMainWnd->ShowWindow(m_nCmdShow);
   // Перерисовать окно
   m_pMainWnd->UpdateWindow();
   return TRUE;
}

// Карта сообщений приложения
```

```
BEGIN_MESSAGE_MAP(CMainWin, CFrameWnd)
END_MESSAGE_MAP()

//////////////////////////////////////////////////////
// Начало выполнения приложения
// Создание глобального объекта — приложения
CApp theApp;
//////////////////////////////////////////////////////
```

Результат выполнения программы показан на рис. 2.3. Прежде всего, в текст MFC-программы включается файл AFXWIN.H, который содержит описание классов библиотеки MFC и подключает большинство других библиотечных файлов, а также файл WINDOWS.H. Данное приложение начинает выполняться, когда создается экземпляр класса `CApp` — объект `theApp`. Порождаемый в примере класс `CMainWin` содержит два члена: конструктор `CMainWin()` и макрос `DECLARE_MESSAGE_MAP()`, в котором объявляется карта обработки сообщений для класса `CMainWin`. Пара команд `BEGIN_MESSAGE_MAP(CMainWin, CFrameWnd)` и `END_MESSAGE_MAP()` обрамляют карту сообщений главного окна; между ними должны помещаться вызовы функций обработки поступающих сообщений. В приведенном примере (листинг 2.4) никакие сообщения не обрабатываются.

Рис. 2.3. Окно, создаваемое минимальной MFC-программой

2.6. Обработка сообщений

Сообщение — это некоторое уникальное 32-битное целое значение. В файле WINDOWS.H для всех сообщений определены стандартные имена, например: `WM_CHAR`, `WM_PAINT`, `WM_MOVE`, `WM_CLOSE`, `WM_LBUTTONUP`, `WM_LBUTTONDOWN`, `WM_SIZE`. Часто сообщения сопровождаются параметрами, несущими дополнительную информацию (координаты курсора, код нажатой клавиши и др.).

Каждый раз, когда происходят события, касающиеся программы, Windows посылает ей соответствующее сообщение. Программисту вовсе не обязательно описывать в приложении реакции на все сообщения. Сообщения, для которых нет специального обработчика, в MFC-программе обрабатываются стандартным образом.

MFC содержит предопределенные функции-обработчики сообщений, которые можно использовать в программе. Для организации обработки сообщения необходимо выполнить следующие действия:

1. Включить макрокоманду сообщения в карту сообщений программы.
2. Включить в описание класса прототип функции-обработчика сообщения.
3. Включить в программу реализацию функции-обработчика.

Макрокоманды обеспечивают вызов функций-обработчиков стандартных сообщений Windows. Названия макрокоманд состоят из префикса `ON_`, названия сообщения и пары круглых скобок в конце, например, `ON_WM_LBUTTONDOWN()`, `ON_WM_LBUTTONUP`, `ON_WM_PAINT`. Предусмотрена также специальная макрокоманда `ON_COMMAND()`, предназначенная для сообщений, поступающих при вызове пунктов меню, и сообщений, определенных программистом. Эта макрокоманда имеет два аргумента: `ON_COMMAND(ID, METHODNAME)`, первый аргумент — идентификатор пункта меню или сообщения, определенного программистом; второй — имя функции-обработчика сообщения.

Макрокоманда сообщения помещается в карту сообщений окна. Карта сообщений — это специальный механизм MFC, который связывает идентификатор сообщения с соответствующим обработчиком. У одного приложения может быть несколько карт сообщений. К какому из окон относится карта, определяется в параметрах макроса `BEGIN_MESSAGE_MAP()`:

```
BEGIN_MESSAGE_MAP(класс окна-владельца сообщения, базовый класс)

   // макрокоманды сообщений

END_MESSAGE_MAP()
```

Имя функции-обработчика сообщения состоит из префикса `On` и названия сообщения (без `WM_`), например, `OnLButtonDown()`. Прототип функции-обработчика сообщения должен быть помещен в описание класса окна перед макросом `DECLARE_MESSAGE_MAP()`. При описании прототипа используется спецификатор типа `afx_msg`.

Рассмотрим практический пример — включим в предыдущую программу обработку сообщения `WM_LBUTTONDOWN`. После того, как пользователь нажмет левую клавишу мыши в пределах рабочей области окна приложения, ему будет послано сообщение `WM_LBUTTONDOWN`. При получении данного сообще-

ния программа будет выводить на экран сообщение о случившемся событии и координаты точки. Для этого выполним следующие действия:

1. Модифицируем карту обработки сообщений.

```
// Карта сообщений приложения
BEGIN_MESSAGE_MAP(CMainWin, CFrameWnd)
// макрокоманда сообщения "нажата левая клавиша мыши"
   ON_WM_LBUTTONDOWN()
END_MESSAGE_MAP()
```

2. Включаем в описание класса окна прототип функции-обработчика.

```
class CMainWin: public CFrameWnd
{
public:
   CMainWin();
   // прототип функции-обработчика сообщения
   // "нажата левая клавиша мыши"
   afx_msg void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point);
   DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

3. Включаем в программу реализацию функции-обработчика.

```
void CMainWin::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // CString — класс MFC, упрощающий работу со строками
   CString Str;
   Str.Format("Нажата левая клавиша мыши в точке x=%d, y=%d", point.x,
point.y);
   // MessageBox — метод кдасса CWnd
   // (базового для CFrameWnd и,соответственно, CMainWin)
   // инкапсулирует одноименную API-функцию вывода сообщений
   // Первый аргумент (Str) — текст сообщения,
   // второй — заголовок окна,
   // третий — флаги, определяющие стиль окна
   MessageBox(Str, "Пришло сообщение", MB_OK| MB_ICONINFORMATION);
   // стандартный обработчик
   CFrameWnd::OnLButtonDown(nFlags, point);
}
```

Работа программы показана на рис. 2.4.

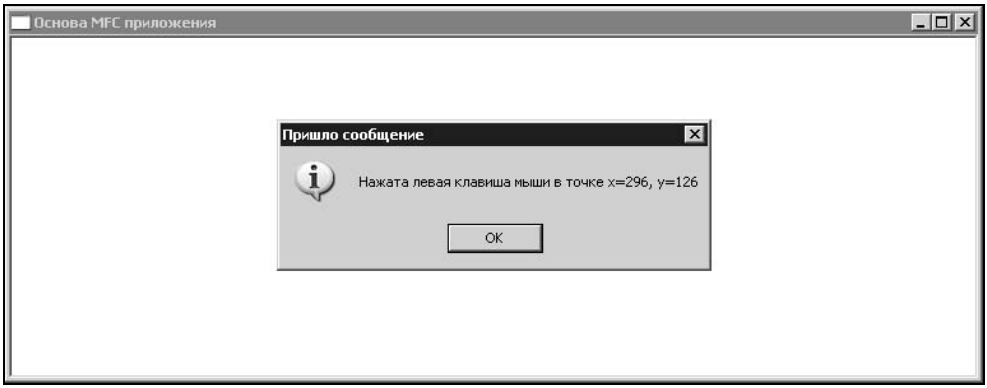


Рис. 2.4. Работа приложения с обработкой сообщения `WM_LBUTTONDOWN`

2.7. Заключение

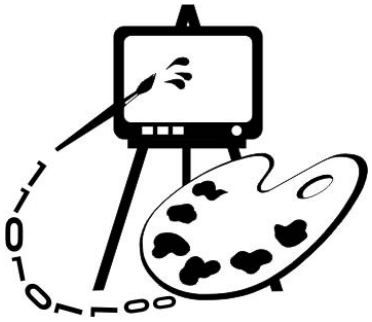
В данной главе кратко рассмотрены принципы работы приложения в операционной системе Windows. В следующей главе будет рассказано о том, как MS Visual C++ позволяет автоматизировать процесс создания приложений.

Текст "минимальной MFC-программы" приведен на прилагаемом компакт-диске в каталоге \Sources\MFCApp.

Для более подробного изучения возможностей ОС Windows можно рекомендовать книгу [9]. Использование MFC хорошо описано в [7, 12]. Процесс создания приложений в MS Visual C++ подробно рассмотрен в [4].

Глава 3

Создаем первое "графическое" приложение



В данной главе рассматриваются:

- создание приложения с помощью генератора AppWizard;
- программа Painter 1.

3.1. Генератор приложений AppWizard. Создание приложения "Painter"

Наконец-то мы приступаем к программированию компьютерной графики. Начнем с создания простого приложения, которое, однако, будет содержать полноценный Windows-интерфейс пользователя. Данное приложение будет создавать Windows-окно со стандартными элементами управления. Особенностью нашего приложения станет то, что в нем можно будет рисовать. Пользователю достаточно будет щелкнуть левой клавишей мыши в рабочей области окна, и на экране волшебным образом появится линия. Линия соединит точку, в которой произошел щелчок, с точкой предыдущего щелчка. Указывая таким образом последовательность точек, можно будет сотворить рисунок в стиле "не отрывая руки". К концу этой главы мы создадим простейший графический редактор для работы с векторными изображениями. В ряде следующих глав программа будет совершенствоваться и послужит основой для изучения многих алгоритмов компьютерной графики.

Нашу работу по созданию программы существенно облегчит генератор приложений AppWizard — инструментальное средство Visual C++, позволяющее значительно упростить процесс создания Windows-приложений на основе MFC. При работе с этим инструментом появляется последовательность диалоговых окон, в которых AppWizard задает программисту вопросы. В процессе диалога пользователь определяет тип и характеристики проекта, который он хочет разработать. Определив, какие классы из библиотеки MFC необходимы для этого проекта, AppWizard создает проект приложения

и строит остовы всех нужных производных классов. Дальнейшая работа программиста заключается в определении свойств и поведения объектов этих классов. Проект приложения объединяет в себе описания классов, описания ресурсов и т. д.

Итак, создание приложения начинается с выбора команды **New** меню **File**. После этого на экране появляется диалоговое окно **New** (рис. 3.1) создания нового документа.

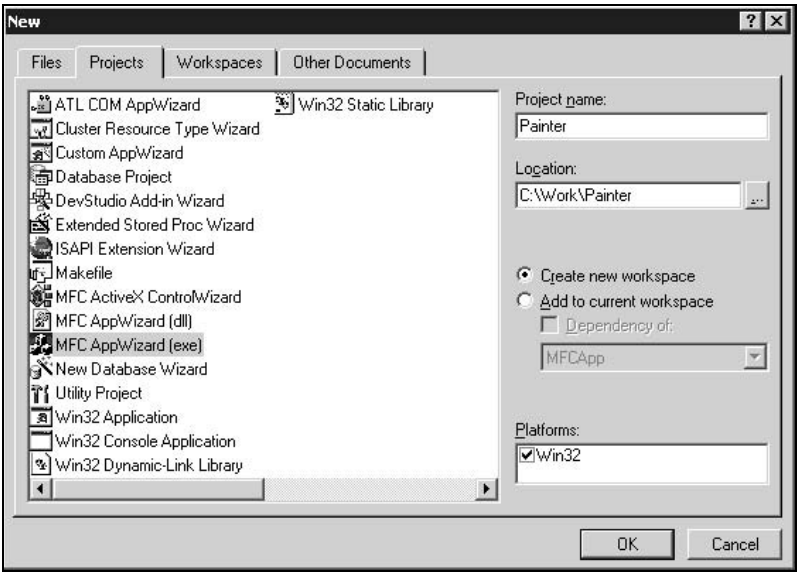


Рис. 3.1. Создание нового проекта

Так как Visual C++ позволяет создавать большое количество разнообразных файлов и приложений, то, прежде всего, нам потребуется уточнить тип создаваемого нами проекта. Для этого сначала выберем вкладку **Projects**, а затем выделим в левом списке типов проектов строку **MFC AppWizard (exe)**. Это даст понять Visual C++, что мы хотим воспользоваться услугами AppWizard для создания выполняемой программы. В полях ввода, расположенных в правой верхней части окна, укажем имя проекта и место на диске, где он должен быть расположен. Назовем проект "Painter" (что в переводе с английского означает художник). В каталоге Work на диске C будет создан подкаталог Painter, где в дальнейшем разместится одноименный проект. Нажмем **OK**.

Далее в работу включается AppWizard. На первом шаге он предлагает конкретизировать тип приложения (рис. 3.2). Укажем, что мы хотим получить приложение с архитектурой Document-View. Достоинства этой архитектуры описаны в следующей главе. При определении типа проекта выберем "однодокументное приложение" (single document).

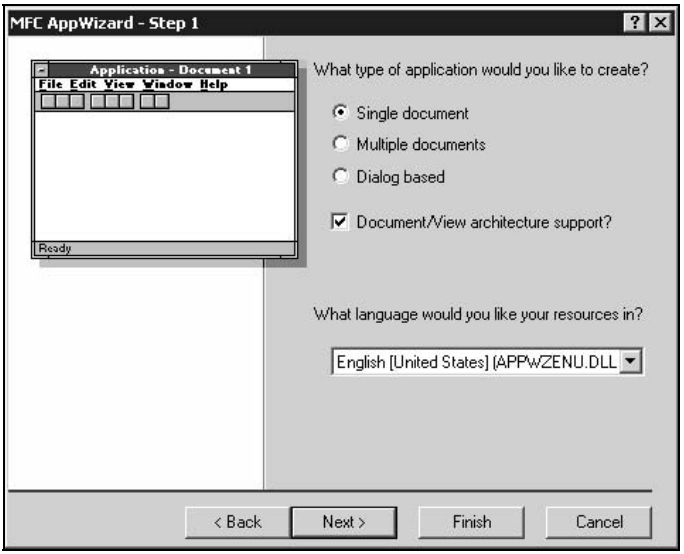


Рис. 3.2. Шаг 1. Выбор типа приложения

На следующем шаге (рис. 3.3) нам будет предложена поддержка баз данных. В данном проекте эта функция нам не потребуется. "Не поддерживается" (None) — эта установка является значением по умолчанию, ничего не меняем и идем дальше (кнопка **Next**).

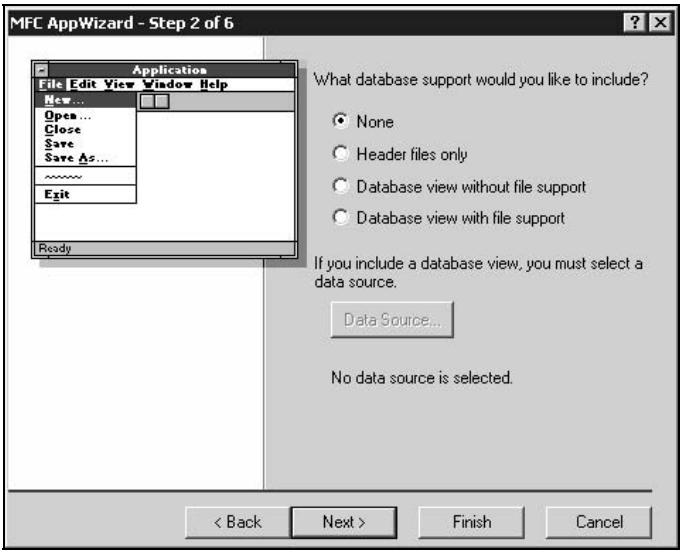


Рис. 3.3. Шаг 2. Предлагается поддержка баз данных

На третьем шаге (рис. 3.4) нам предложат поддержку средств для создания и управления составными документами — пока обойдемся без нее — кнопка **Next**.

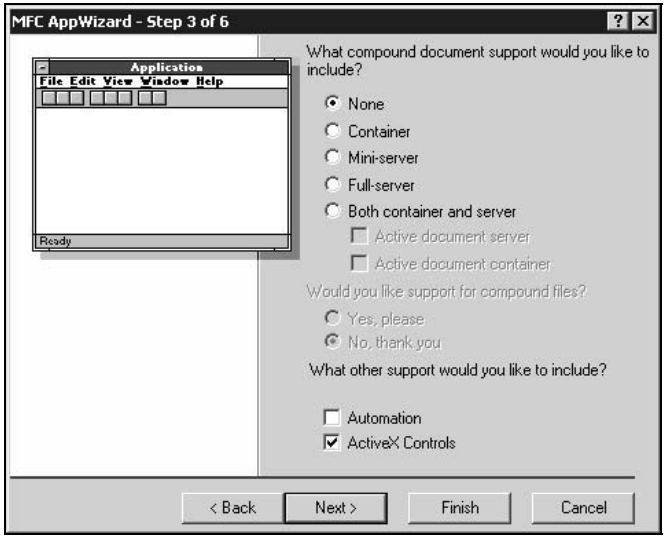


Рис. 3.4. Шаг 3. Поддержка составных документов

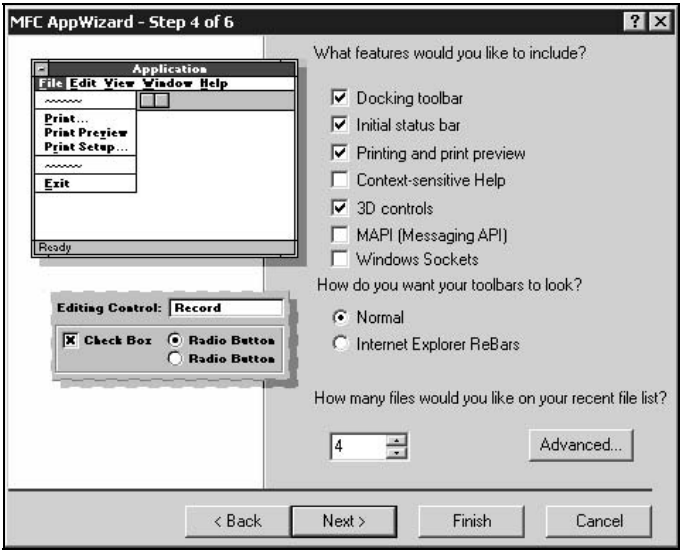


Рис. 3.5. Шаг 4. Возможности программы

На следующем шаге (рис. 3.5) AppWizard спрашивает: "Какие возможности вы хотели бы иметь у своей программы?" По умолчанию отмечены: "при-

стыковываемые панели инструментов" (docking toolbar); "строка состояния" (initial status bar); "печать и предварительный просмотр" (printing and print preview); "объемный вид элементов управления" (3D controls) и "нормальный" вид панелей инструментов (normal toolbars). Такой набор вполне нам подходит, поэтому ничего не трогаем, жмем кнопку **Next**.

На пятом шаге (рис. 3.6) нам предложат выбрать стиль нашего приложения, комментарии в исходных текстах программы и варианты использования MFC-библиотек. По умолчанию установлено: "Стандартное MFC-приложение" (MFC standard), "Включать комментарии" (generate source files comments), "Использовать MFC-библиотеки, как динамически подключаемые" (use the MFC library as a shared DLL). Использование динамически подключаемых MFC-библиотек выгодно тем, что размер приложения получается на несколько сотен килобайтов меньше за счет совместного использования несколькими программами одной и той же DLL-библиотеки. Статическое же связывание библиотек обеспечивает выполнение программы даже в случае, если на компьютере отсутствуют MFC DLL. Выбор пункта "стандартное MFC-приложение" означает, что мы получим заготовку приложения со стандартным окном. Альтернативой здесь является выбор пункта "В стиле проводника Windows" (Windows Explorer). В этом случае мы получили бы приложение, окно которого разделено на две части: слева дерево, а справа список. Генерация комментариев означает, что исходный сгенерированный текст приложения будет сопровождаться подсказками, что следует сделать при его модификации. Например, в функцию `CPainterView::OnDraw()` будет добавлена строка:

```
// TODO: add draw code for native data here,
```

что в переводе означает "добавьте здесь свой код рисования".

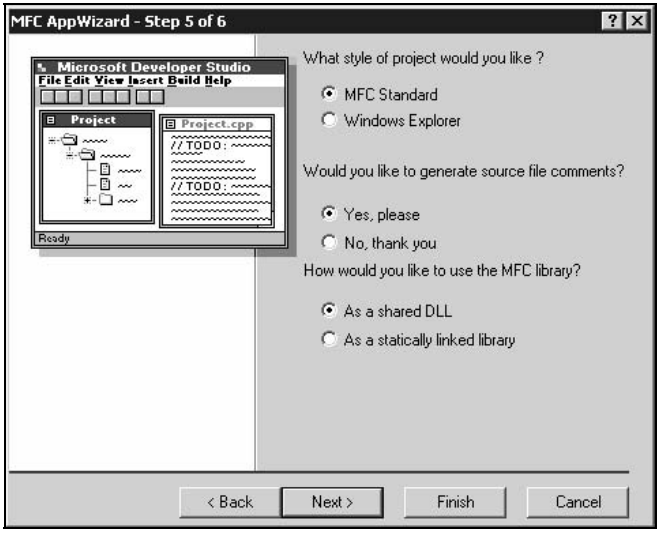


Рис. 3.6. Шаг 5. Выбор стиля приложения

На заключительном шаге AppWizard сообщает, какие классы библиотеки MFC будут использованы для создания нашего приложения (рис. 3.7). Здесь можно поменять базовый класс для класса-облика нашего приложения, имена классов и файлов. Сейчас нас все устраивает — нажимаем кнопку **Finish**.

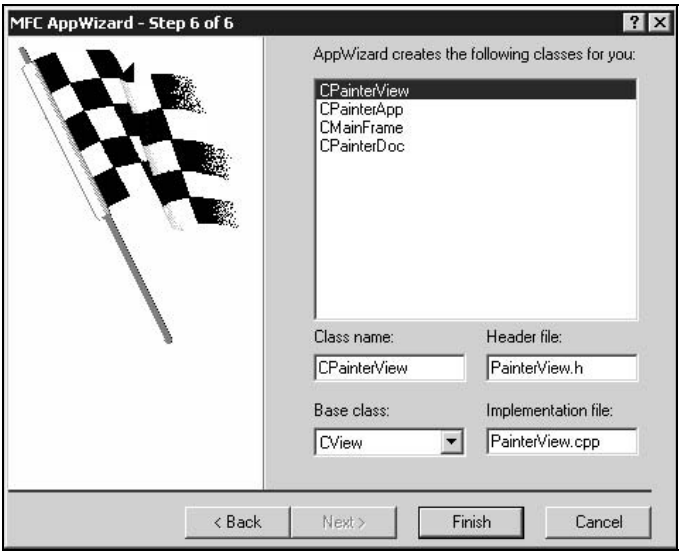


Рис. 3.7. Шаг 6. AppWizard сообщает, какие классы библиотеки MFC будут использованы

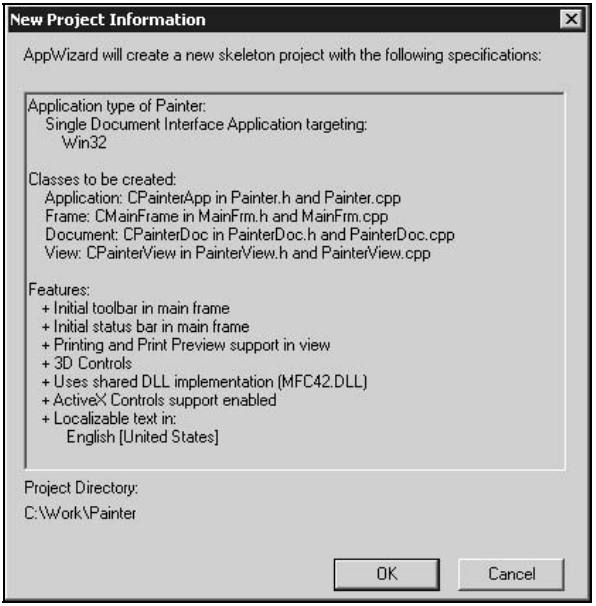


Рис. 3.8. Информация о создаваемом приложении

После этого AppWizard выводит сводную информацию (рис. 3.8) о создаваемом приложении: его типе, классах, файлах и возможностях. Для подтверждения создания такого приложения нажимаем **OK**.

Наконец-то будет создан проект нашего приложения и новое одноименное *рабочее пространство* (workspace). На экране появится окно рабочего пространства (рис. 3.9). "Рабочее пространство" — это специальный механизм управления файлами проекта, призванный облегчить программисту работу с большим количеством исходных текстов и ресурсов. "Рабочее пространство" можно сохранять на диске в виде файла с расширением dsw. При открытии этого файла (команда **File | Open Workspace**) будет восстановлено то состояние Visual C++, в котором был завершен прошлый сеанс работы. В рабочее пространство может быть включен один и более проектов, файлами которых можно управлять через окно рабочего пространства (будем называть его для краткости **Workspace**).

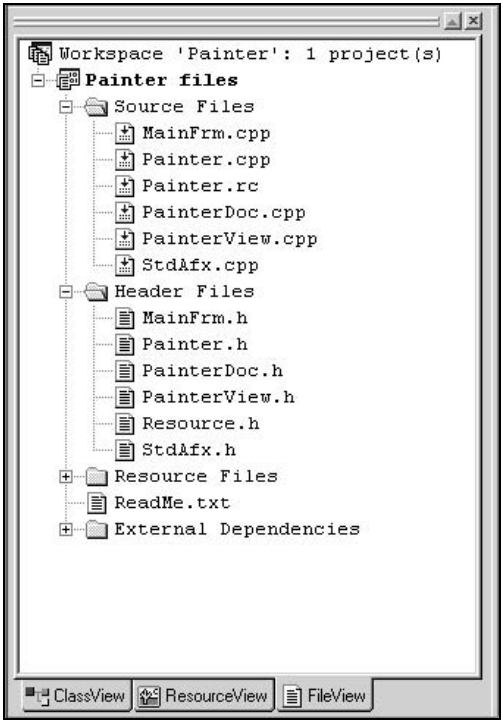


Рис. 3.9. Окно **Workspace**

Окно **Workspace** имеет три вкладки, каждая из которых открывает окно со списком:

- **FileView** — для просмотра и управления файлами проекта с исходным текстом приложения;

- **ResourceView** — для управления ресурсами приложения;
- **ClassView** — для работы с классами приложения.

В наше рабочее пространство включен один проект — созданный нами проект Painter. При активизации вкладки **FileView** в окне **Workspace** (см. рис. 3.9) будет показан список файлов с текстом программы, включенных в проект. Как и в Проводнике Windows, двойной щелчок мышкой на изображении папки раскрывает ее содержимое, а на имени файла — открывает файл.

Через вкладку **ResourceView** можно получить доступ к ресурсам проекта. Папки в этом списке соответствуют ресурсам разного вида (рис. 3.10). Двойной щелчок на строке IDD_ABOUTBOX из папки **Dialog** откроет для редактирования шаблон диалогового окна **About**. С помощью появившейся панели инструментов **Controls** (элементы управления) можно модифицировать содержимое шаблона. Не будем откладывать это важное дело "на потом" и сразу увековечим свой копирайт. Для этого нам потребуется всего лишь щелкнуть правой клавишей мыши на тексте **Copyright (C) 2001** и выбрать из появившегося контекстного меню команду **Properties** (Свойства).

Рис. 3.10. Ресурсы проекта

Команда **Properties** (Свойства) вызовет диалоговое окно **Text Properties** (Свойства текста) (рис. 3.11). В правой части окна расположено поле **Caption**

(Заголовок), в котором можно ввести нужный текст. Я введу свою фамилию, а вы пишите, что захотите. В окне **Text Properties** есть еще несколько вкладок, выбирая которые можно определять стиль отображения текста. Поэкспериментируйте с этими опциями самостоятельно. Кстати, для того чтобы русский текст правильно отображался в диалоговых окнах, щелкните правой кнопкой мыши на идентификаторе ресурса в окне **Workspace**, из контекстного меню выберите **Properties**, и установите для свойства **Language** значение **Russian**.

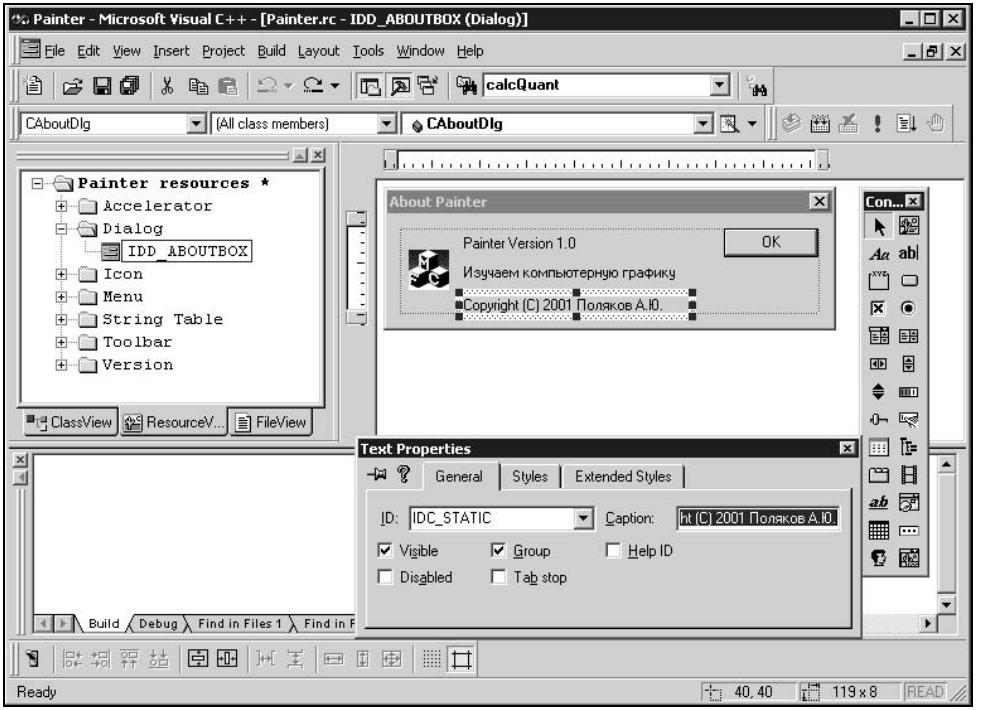


Рис. 3.11. Редактирование текста диалога **About**

Новый элемент управления "статический текст" можно создать, если сначала щелкнуть мышкой на панели инструментов **Controls** кнопку **Static Text** (вторая сверху в первом ряду), а затем — на шаблоне диалогового окна. Размер и положение текста можно задать с помощью активных зон (темных квадратиков), расположенных по периметру текста.

В следующих главах, по мере необходимости, мы будем рассматривать работу и с другими ресурсами приложения.

Аналогично вкладка **ClassView** открывает список, в котором перечислены используемые в приложении классы. Через этот список можно быстро открывать текст реализации методов любого класса, добавлять в классы методы и переменные. Двойной щелчок на названии класса открывает описание

класса в заголовочном H-файле, двойной щелчок на названии метода открывает его реализацию в CPP-файле. Правой клавишей мыши можно вызвать контекстное меню (рис. 3.12), через которое можно добавить в класс методы и переменные, а также выполнить целый ряд других операций.

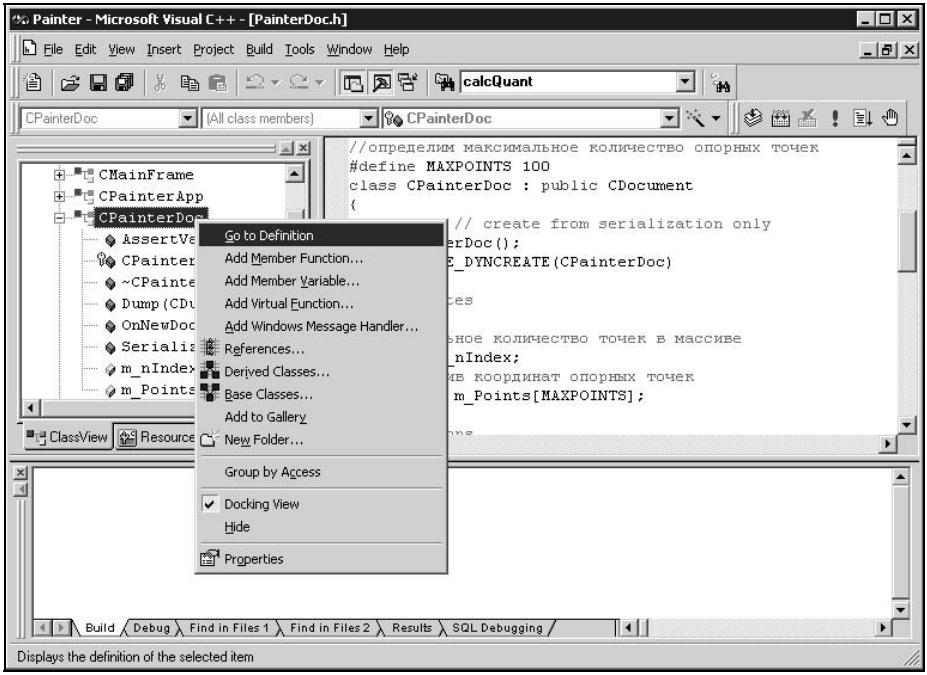


Рис. 3.12. Классы проекта

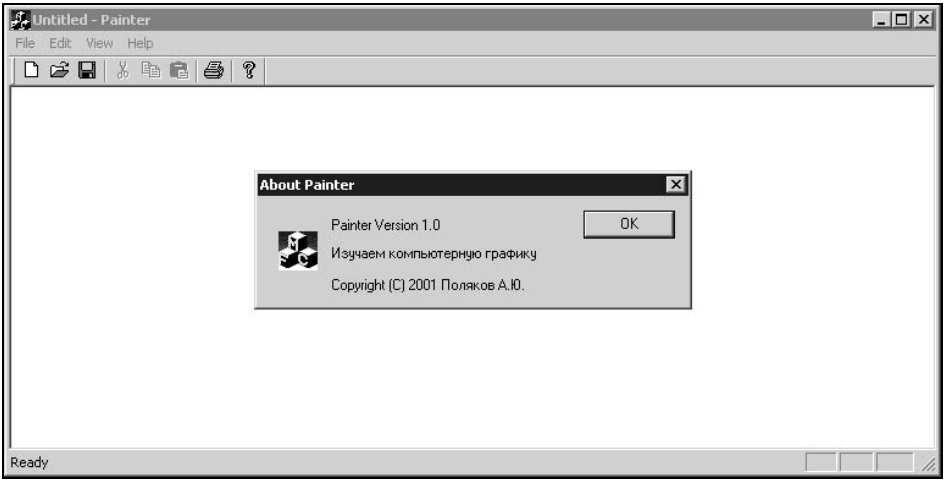


Рис. 3.13. Первый запуск программы Painter

Теперь проект можно откомпилировать (команда **Build | Build Painter.exe**) и запустить на выполнение (**Build | Execute Painter.exe**). Программа уже имеет все атрибуты Windows-приложения: меню, панель инструментов, строку состояния, стандартные диалоги открытия/сохранения файлов и даже режим предварительного просмотра печати. Более того, при выполнении команды **Help | About** мы увидим диалоговое окно с нашим текстом (рис. 3.13). Однако рисовать наша программа пока еще не умеет, но научить ее этому будет не так уж и сложно.

3.2. Добавление функций рисования

Придадим теперь приложению новые графические свойства. Мы собираемся создать программу, которая позволила бы нам рисовать на экране рисунки прямыми линиями, сохранять их в файл, загружать и выводить на печать.

Прежде всего, надо решить, что мы хотим от программы, и как с ней будет работать пользователь. Поскольку это наш первый проект, для начала нам потребуется что-нибудь простое и ясное. Пусть пользователь имеет возможность указывать на экране точки (назовем их "опорными"), которые должны будут последовательно соединятся прямыми линиями. Для задания точек на экране удобно воспользоваться мышью. Пусть щелчок левой клавишей мыши означает ввод опорной точки. Для обработки сообщения о щелчке включим в программу специальную функцию, которая будет получать значения координат точки.

Далее надо определиться, каким образом будут храниться данные — координаты опорных точек. Для хранения координат точки в Windows предназначена структура `POINT`, определенная в заголовочном файле Windef.h:

```
typedef struct tagPOINT
{
   LONG  x;
   LONG  y;
} POINT, *PPOINT, NEAR *NPPOINT, FAR *LPPOINT;
```

Как видно эта структура объединяет в себе координаты `x` и `y` точки. В библиотеке MFC структура `POINT` абстрагируется классом `CPoint`, который предоставляет в распоряжение программиста методы и переопределенные операторы для удобной работы с координатами точек. Класс `CPoint` определен в файле Afxwin.h следующим образом (листинг 3.1).

Листинг 3.1. Определение класса `CPoint`

```
/////////////////////////////////////////////////////////////
// CPoint — 2D-точка, подобно Windows-структуре POINT.

class CPoint : public tagPOINT
```

```
{
public:
// Конструкторы

   // Создает неинициализированный объект
   CPoint();
   // Значения объекта инициализируются аргументами
   CPoint(int initX, int initY);
   // Конструктор
   CPoint(POINT initPt);
   // create from a size
   CPoint(SIZE initSize);
   // Создает на основе значения DWORD:
   // x = LOWORD(dw) y = HIWORD(dw)
   CPoint(DWORD dwPoint);

// Операции

// Смещает точку на заданное расстояние
   void Offset(int xOffset, int yOffset);
   void Offset(POINT point);
   void Offset(SIZE size);
   void operator+=(SIZE size);
   void operator-=(SIZE size);
   void operator+=(POINT point);
   void operator-=(POINT point);
// Логические операторы
   BOOL operator==(POINT point) const;
   BOOL operator!=(POINT point) const;

// Операторы, возвращающие значение CPoint
   CPoint operator+(SIZE size) const;
   CPoint operator-(SIZE size) const;
   CPoint operator-() const;
   CPoint operator+(POINT point) const;

// Операторы, возвращающие значение CSize
   CSize operator-(POINT point) const;

// Операторы, возвращающие значение CRect
```

```
   CRect operator+(const RECT* lpRect) const;
   CRect operator-(const RECT* lpRect) const;
};
```

В файле Afxwin.h определено также большое количество других полезных классов, которые мы будем далее использовать.

Применим класс `CPoint` для хранения координат опорной точки. Так как рисунок может состоять из большого количества опорных точек, надо предусмотреть какой-то вариант их хранения. Простейшим вариантом будет статический массив объектов `CPoint` достаточно большого размера.

Пришла пора решить, где будет храниться весь массив точек. При создании шаблона нашего приложения мы выбрали архитектуру Document-View. В соответствии с этой архитектурой в нашем приложении были созданы два класса:

- `CPainterDoc`, производный от класса `CDocument` библиотеки MFC;
- `CPainterView`, производный от класса `CView` библиотеки MFC.

Подробно архитектуру Document-View мы рассмотрим в следующей главе, а пока отметим, что данные обычно хранятся в классе документа.

Поэтому будем хранить массив точек в классе `CPainterDoc`.

Для этого откроем файл PainterDoc.h и включим в описание класса `CPainterDoc` следующие строки, выделенные полужирным шрифтом (листинг 3.2). Напомню, что файл PainterDoc.h можно открыть, дважды щелкнув левой клавишей мыши на его имени в окне вкладки **FileView**.

Листинг 3.2. Модификация класса `CPainterDoc`. Файл PainterDoc.h

```
// PainterDoc.h : interface of the CPainterDoc class
//
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// Определим максимальное количество опорных точек
#define MAXPOINTS 100
class CPainterDoc : public CDocument
{
protected: // create from serialization only
   CPainterDoc();
   DECLARE_DYNCREATE(CPainterDoc)
// Attributes
public:
   // Реальное количество точек в массиве
   WORD m_nIndex;
```

```
   // Массив координат опорных точек
   CPoint m_Points[MAXPOINTS];
...
```

Остальной код файла оставим без изменения.

В файле PainterDoc.cpp дополним конструктор класса `CPainterDoc` инициализацией переменной `m_nIndex` (листинг 3.3).

Листинг 3.3. Модификация конструктора класса `CPainterDoc`. Файл PainterDoc.cpp

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterDoc construction/destruction

CPainterDoc::CPainterDoc()
{
   // Сначала в массиве нет точек
   m_nIndex=0;
}
```

3.3. Использование генератора классов ClassWizard

Далее используем средство ClassWizard, предоставляемое Visual C++ для автоматизации создания классов и обработчиков сообщений. Выполним команду **View | ClassWizard** (быстрый вызов — комбинация клавиш <Ctrl>+<W>). На экране должно появиться диалоговое окно (рис. 3.14) с открытой вкладкой **Message Maps** (Карты сообщений). Выберем из списка **Class Name** (Имя класса) класс `CPainterView`, а из списка сообщений (**Messages**) сообщение `WM_LBUTTONDOWN` и нажмем кнопку **AddFunction**, а затем кнопку **OK**.

После этого ClassWizard вставит в очередь сообщений класса `CPainterView` макрокоманду `ON_WM_LBUTTONDOWN()` (листинг 3.4).

Листинг 3.4. Очередь сообщений класса `CPainterView`. Файл PainterView.cpp

```
BEGIN_MESSAGE_MAP(CPainterView, CView)
   //{{AFX_MSG_MAP(CPainterView)
   ON_WM_LBUTTONDOWN()
   //}}AFX_MSG_MAP
   // Standard printing commands
```

```
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT, CView::OnFilePrint)
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_DIRECT, CView::OnFilePrint)
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_PREVIEW, CView::OnFilePrintPreview)
END_MESSAGE_MAP()
```

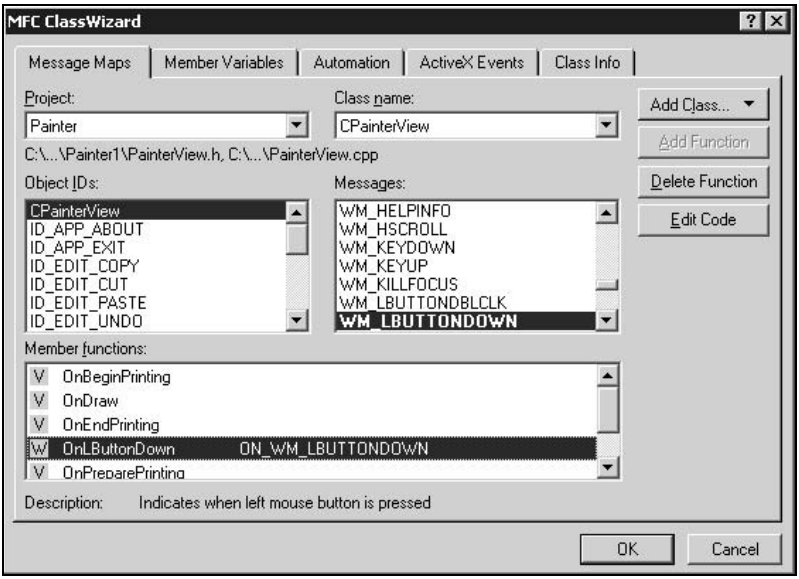


Рис. 3.14. Диалоговое окно **MFC ClassWizard**

В описание класса `CPainterView` (файл PainterView.h) будет вставлено имя функции-обработчика данного сообщения — `OnLButtonDown()` (листинг 3.5).

Листинг 3.5. Определение функции `OnLButtonDown()` в классе `CPainterView`

```
// Generated message map functions
protected:
    //{{AFX_MSG(CPainterView)
    afx_msg void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point);
    //}}AFX_MSG
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

Нам остается только отредактировать реализацию данной функции в файле PainterView.cpp. Для этого в списке классов окна вкладки **ClassView** в рабочей области нашего проекта дважды щелкнем на имени функции-члена `OnLButtonDown()` класса `CPainterView`. Visual C++ откроет нам тело данной функции в файле PainterView.cpp.

Добавим в него строки, которые выполняют сохранение координат указателя мыши, в которых была нажата левая клавиша. В листинге 3.6 приведен код функции `OnLButtonDown()` (полужирным шрифтом выделены добавленные строки).

Листинг 3.6. Модификация функции `OnLButtonDown()`. Файл PainterView.cpp

```
//////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView message handlers

void CPainterView::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Проверим, не исчерпали ли ресурс
   if(pDoc->m_nIndex==MAXPOINTS)
      AfxMessageBox("Слишком много точек");
   else
   {
      // Запоминаем точку
      pDoc->m_Points[pDoc->m_nIndex++]=point;
      // Указываем, что окно надо перерисовать
      Invalidate();
      // Указываем, что документ изменен
     pDoc->SetModifiedFlag();
   }
   // Даем возможность стандартному обработчику
   // тоже поработать над этим сообщением
   CView::OnLButtonDown(nFlags, point);
}
```

Добавим в метод `OnDraw()` класса `CPainterView` строки, которые будут выполнять вывод на экран линий, соединяющих опорные точки. В листинге 3.7 приведен код этой функции (полужирным шрифтом выделены добавленные строки).

Листинг 3.7. Модификация функции `OnDraw()`. Файл PainterView.cpp

```
//////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView drawing

void CPainterView::OnDraw(CDC* pDC)
```

```
{
   CPainterDoc* pDoc = GetDocument();
   ASSERT_VALID(pDoc);
   // TODO: add draw code for native data here
   // Если имеются опорные точки
   if(pDoc->m_nIndex>0)
      // Поместим перо в первую из них
      pDC->MoveTo(pDoc->m_Points[0]);
   // Пока не кончатся опорные точки будем их соединять
   for(int i=1; i<pDoc->m_nIndex; i++)
      pDC->LineTo(pDoc->m_Points[i]);
}
```

После этого откомпилируем программу и запустим ее на выполнение. Теперь можно заняться изобразительным искусством.

3.4. Сохранение рисунков в файл

Для того чтобы наши бессмертные творения стали воистину таковыми, модифицируем функцию `Serialize()` класса `CPainterDoc` в файле PainterDoc.cpp (листинг 3.8). Данная функция является членом класса `CDocument` и унаследована классом `CPainterDoc`. Она отвечает за сохранение и загрузку данных. Об особенностях ее работы мы поговорим позднее, а сейчас просто добавим в нее выделенные полужирным шрифтом строки. (Обратите внимание, что AppWizard добавил в тело функции комментарии "`// TODO:`", которые подсказывают нам, в каком месте и какой код необходимо добавить.)

Листинг 3.8. Модификация метода `Serialize()` класса `CPainterDoc`. Файл PainterDoc.cpp

```
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterDoc serialization

void CPainterDoc::Serialize(CArchive& ar)
{
   if (ar.IsStoring())
   {
      // TODO: add storing code here
      // Сохраняем количество точек
      ar << m_nIndex;
      // Сохраняем значения координат точек
```

```
      for(int i=0; i<m_nIndex; i++)
         ar << m_Points[i];
   }
   else
   {
      // TODO: add loading code here
      // Загружаем количество точек
      ar >> m_nIndex;
      // Загружаем значения координат точек
      for(int i=0; i<m_nIndex; i++)
         ar >> m_Points[i];
   }
}
```

Теперь можно сохранять созданные рисунки в файлах на диске и считывать их вновь.

Надо отметить, что рисунки будут сохраняться в формате программы Painter. Это не формат BMP или CDR и популярные графические программы его не прочитают. Для того чтобы отличать файлы рисунков программы Painter, мы можем ввести свое расширение, например pt1, где цифра 1 обозначает версию формата.

3.5. Создание нового рисунка

Для того чтобы наша программа стала полностью полноценной, необходимо еще наделить ее функцией создания нового рисунка.

Так как в однодокументных приложениях используется один объект-документ, то просто вставим код реинициализации его переменных и обновим его представление на экране (об особенностях разных типов приложений и о взаимодействии объектов-документов с их обликами на экране пойдет речь в следующих главах). Для этого добавим в метод `OnNewDocument()` класса `CPainterDoc` строки, выделенные полужирным шрифтом (листинг 3.9).

Листинг 3.9. Модификация метода `OnNewDocument()` класса `CPainterDoc`. Файл PainterDoc.cpp

```
BOOL CPainterDoc:: OnNewDocument()
{
   // сначала вызывается метод базового класса
if (!CDocument::OnNewDocument()) return FALSE;
   // TODO: add reinitialization code here
   // (SDI documents will reuse this document)
```

```
    // Сбросили счетчик
    m_nIndex=0;
    // Перерисовали
    UpdateAllViews(NULL);
    return TRUE;
}
```

Работа созданной программы показана на рис. 3.15.

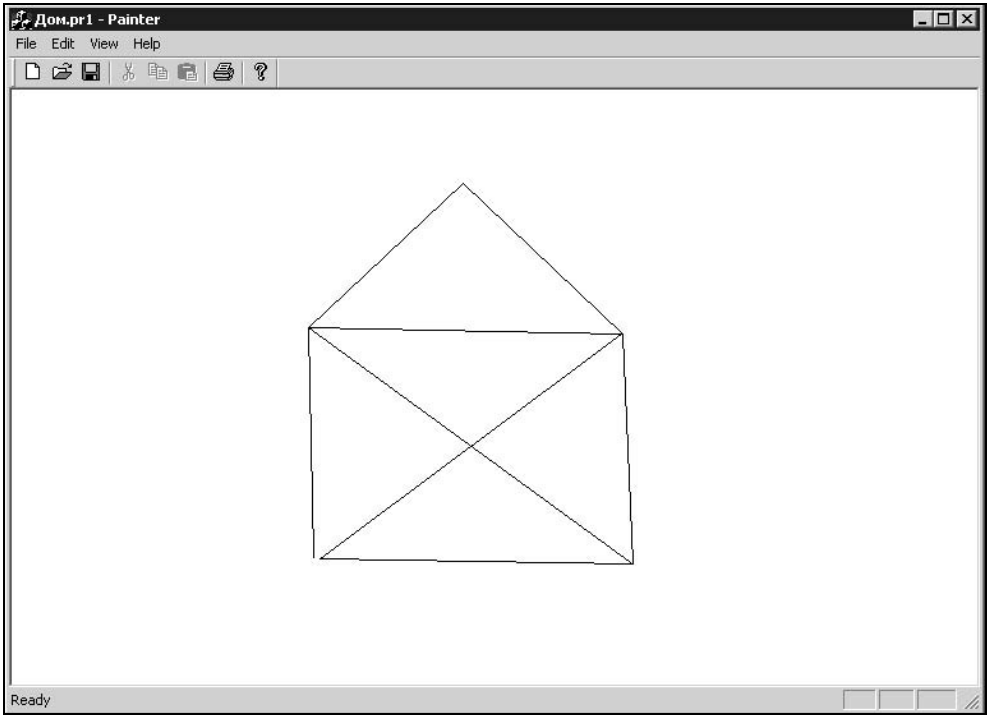


Рис. 3.15. Программа Painter в действии

3.6. Вывод рисунков на печать и предварительный просмотр

Возможно, вы будете приятно удивлены, узнав, что наша программа Painter способна не только выводить изображение на экран, но и отправлять его на принтер. Поддержка печати и предварительного просмотра реализуется классами библиотеки MFC. Вспомните, на 4-м шаге создания нашего приложения мы попросили генератор AppWizard добавить поддержку печати и предварительного просмотра. Поэтому эти функции оказались уже реализованы в нашей программе.

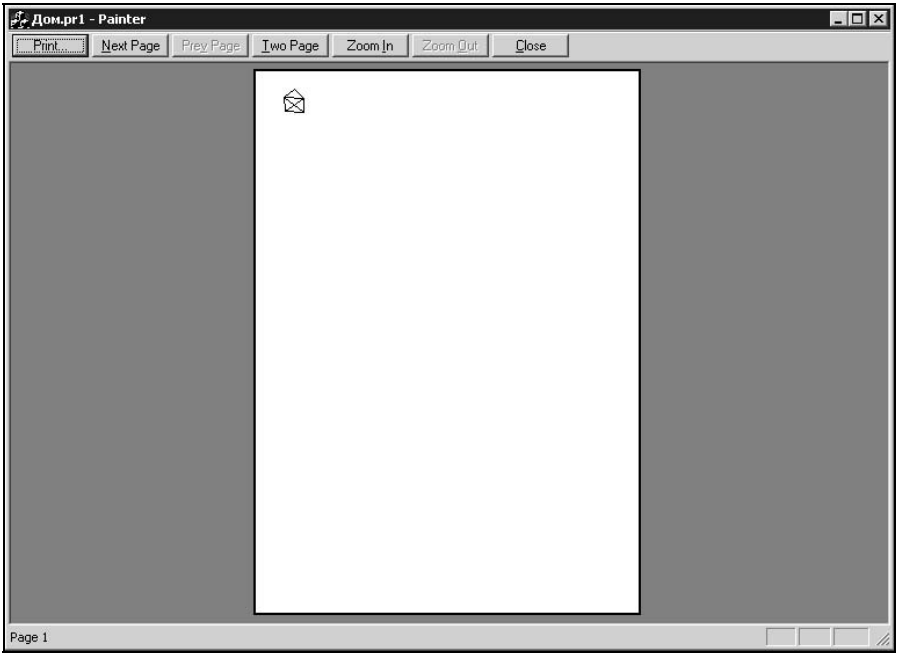


Рис. 3.16. Предварительный просмотр

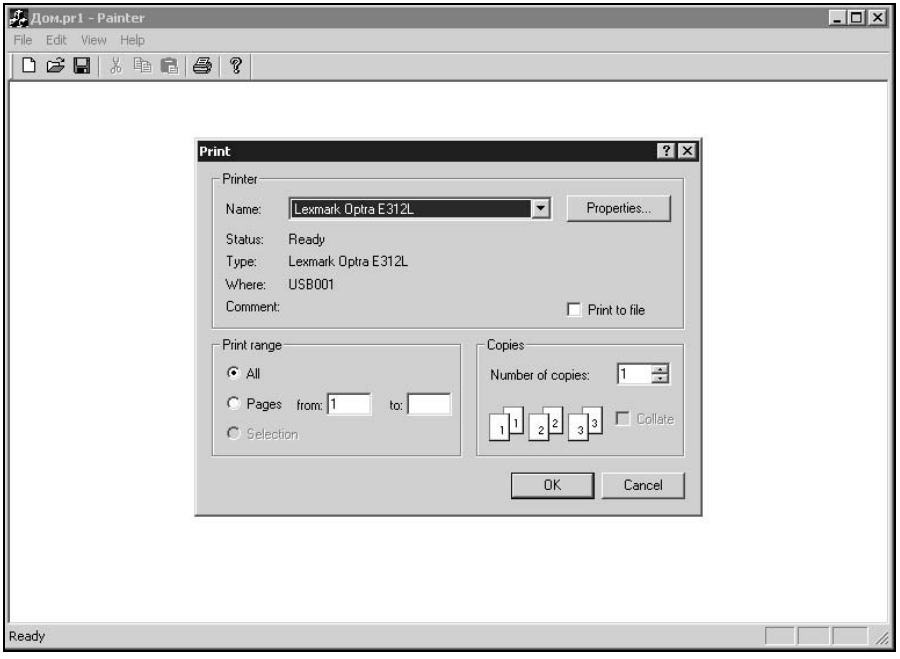


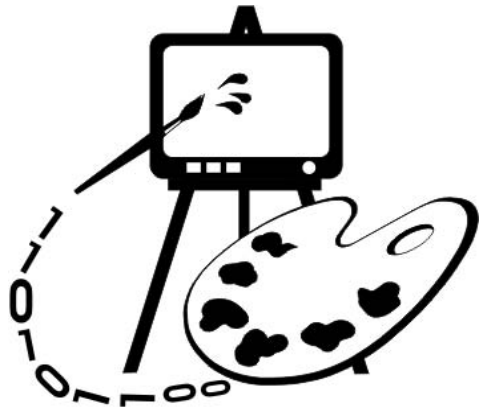
Рис. 3.17. Диалоговое окно **Print**

Выполнив команду **File | Print Preview** (Предварительный просмотр), можно увидеть, как будет выглядеть созданный в программе Painter рисунок на листе бумаги (рис. 3.16).

Нажатие кнопки **Print** (Печать) вызовет на экран стандартный диалог печати, в котором можно задать свойства принтера и дать задание распечатать рисунок (рис. 3.17). Может показаться странным, что такой большой рисунок на экране оказался таким маленьким на листе. Этот эффект связан с тем, что у экрана разрешение, как правило, гораздо меньше, чем у принтера. О способах решения этой проблемы мы поговорим в *главе 4*. А пока можно отдохнуть и порисовать.

3.7. Заключение

В этой главе мы рассмотрели средства автоматизации процесса создания приложений. Мы проделали большую работу — создали графическое приложение "под Windows", которое умеет уже довольно много: рисует, сохраняет и печатает созданные рисунки. Текст программы приведен на прилагаемом компакт-диске в каталоге \Sources\Painter1.



Часть II

РАБОТА С ВЕКТОРНОЙ ГРАФИКОЙ

Глава 4. Архитектура приложений Document-View

Глава 5. Математический аппарат алгоритмов компьютерной графики

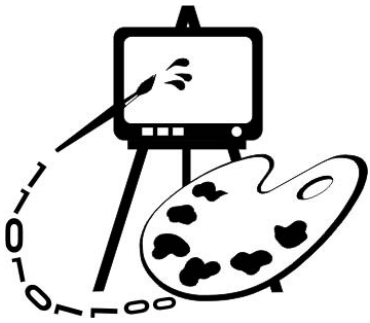
Глава 6. Реализация функций редактирования рисунков

Глава 7. Преобразования в трехмерном пространстве

Глава 8. Построение кривых

Глава 4

Архитектура приложений Document-View



В данной главе рассматриваются:

- архитектура приложений Document-View;
- контекст устройства и графические методы класса `CDC`;
- описание геометрических тел с использованием объектно-ориентированного подхода, применение наследования, виртуальных методов и полиморфных функций;
- программа Painter 2.

4.1. Архитектура приложений Document-View

При построении проектов в Visual C++ основной (но не единственной) является архитектура приложений Document-View (документ-облик). Главная идея такой структуры программы — разделение данных и их представления на экране. Реализация архитектуры Document-View заключается в том, что помимо классов главного окна и приложения создаются еще два класса: класс *документа* и класс *облика*. Классы документа и облика являются производными от классов библиотеки MFC. Базовым для класса документа является класс `CDocument`; для класса облика — `CView`. Под документом понимается любая совокупность данных: текст, звук, изображение и т. д. Приложения, построенные с использованием архитектуры Document-View, могут быть двух типов: *однодокументные* (Single Document Interface, SDI) и *многодокументные* (Multiple Document Interface, MDI). Однодокументные SDI-приложения позволяют редактировать одновременно лишь один документ. Примерами однодокументных приложений являются программы Notepad и Paint, входящие в набор стандартных программ Windows. Многодокументные MDI-приложения, как следует из их названия, позволяют редактировать сразу несколько документов (пример — MS Word), кроме того, MDI-приложения могут одновременно поддерживать несколько разных типов

документов. Например, среда MS Visual C++ позволяет одновременно редактировать большое количество документов разного типа: тексты программ, ресурсы (меню, диалоговые окна, пиктограммы, растровые изображения).

Достоинство архитектуры Document-View в том, что она позволяет отделить данные от их визуального представления. В таких приложениях одни и те же данные, хранящиеся в объекте-документе, могут быть представлены одновременно в различной форме с помощью разных объектов-обликов. Например, некоторый график (один и тот же набор данных) мог бы в одном окне программы выглядеть как таблица значений, в другом окне — как кривая, в третьем — как диаграмма.

Центральными объектами в такой архитектуре являются один или несколько объектов-документов. Каждый документ сопровождается, по крайней мере, одним объектом-обликом (их может быть несколько для одного и того же документа, как в приведенном выше примере с графиком). Облик является объектом, предназначенным для отображения данных документа на экране и обеспечения взаимодействия с пользователем. Пользователь наблюдает данные, визуализированные объектом-обликом, и выполняет их редактирование. Объект-облик принимает управляющие действия пользователя, связывается с объектом-документом и изменяет данные, используя методы документа (рис. 4.1). Логически облики привязаны к документу.

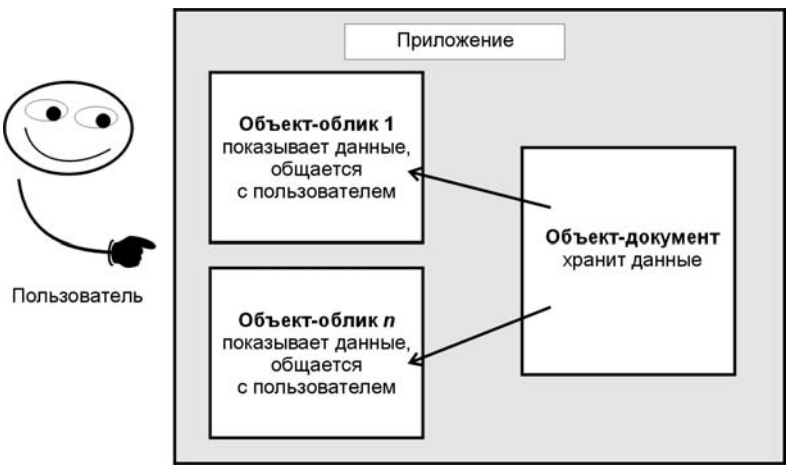


Рис. 4.1. Архитектура Document-View

Документы создаются как экземпляры классов, производных от класса `CDocument` библиотеки MFC. Класс `CDocument` имеет хорошо развитые методы загрузки, сохранения и управления данными. Облики создаются как объекты классов, производных от класса `CView` из MFC и имеют набор методов для отображения данных.

Классы `CDocument` и `CView` имеют средства для общения между собой. Объект-документ содержит список всех объектов-обликов, представляющих его данные на экране. Метод `UpdateAllViews()` класса `CDocument` позволяет послать всем объектам-обликам уведомление о необходимости перерисовать свое содержимое. Метод имеет несколько параметров, но чаще всего его вызов выглядит следующим образом: `UpdateAllViews(NULL);`

Метод `GetDocument()` класса `CView` позволяет облику получить указатель на объект-документ, данные которого он представляет. Этот метод очень важен, он дает возможность облику получить доступ к данным и методам документа. Еще один важный метод класса `CView` носит название `OnDraw()` и предназначен для того, чтобы в производном классе его переопределили таким образом, чтобы на экран выводились необходимые данные. Этот метод всегда вызывается при обработке сообщения Windows о необходимости перерисовки окна. Вызывать этот метод напрямую из тела программы не надо! Вместо этого, при необходимости перерисовать окно вызывается функция `Invalidate()` класса `CView`.

С использованием AppWizard построение приложения выполняется в два этапа. Сначала строится основа приложения, затем программист наделяет методы производных классов новыми свойствами. Вернемся к рассмотрению проекта Painter, который мы начали создавать в предыдущей главе, и разберемся, где у нас документ, где облик и как они взаимодействуют.

Первое, что мы сделали при разработке программы, — это создали с помощью генератора AppWizard основу однодокументного приложения. Были созданы класс документа `CPainterDoc`, производный от `CDocument`, и класс облика `CPainterView`, производный от `CView`.

Затем мы модифицировали наш класс документа. В определение класса `CPainterDoc` мы добавили переменные, в которых сохраняются данные:

```
// Реальное количество точек в массиве
WORD m_nIndex;
// Массив координат опорных точек
CPoint m_Points[MAXPOINTS];
```

В конструкторе класса `CPainterDoc` мы произвели инициализацию переменной `m_nIndex`. В однодокументных приложениях имеется только один объект-документ. При запуске приложения создается объект-документ, который используется на протяжении всего сеанса работы приложения. В момент создания объекта вызывается конструктор и выполняется инициализация переменной `m_nIndex`. При выполнении же команды **File | New** нового объекта-документа не создается и, соответственно, конструктор второй раз не вызывается. Вместо конструктора при выборе этой команды автоматически вызывается метод `OnNewDocument()` класса `CDocument`. Мы переопределили этот метод так, чтобы в нем обнулялась переменная

m_nIndex — это то же самое, что удалить все опорные точки из массива (листинг 4.1).

Листинг 4.1. Функция CPainterDoc:: OnNewDocument(). Файл Paintdoc.cpp

```
BOOL CPainterDoc:: OnNewDocument()
{
   // Сначала вызывается метод базового класса
   if (!CDocument::OnNewDocument()) return FALSE;
   // Сбросили счетчик
   m_nIndex=0;
   // Перерисовали
   UpdateAllViews(NULL);
   return TRUE;
}
```

Для обновления содержимого окна программы в методе OnNewDocument() мы использовали функцию UpdateAllViews(NULL) (можно ее закомментировать и посмотреть, что получится).

Основная операция — рисование линий — в нашей программе выполняется через нажатие левой клавиши мыши в клиентской области окна. Все что при этом надо сделать — это лишь запомнить в массиве m_Points координаты точки, в которой произошел щелчок, и увеличить счетчик m_nIndex на единицу. Чтобы линия отобразилась на экране, мы инициируем перерисовку содержимого окна программы с помощью функции Invalidate() класса облика.

Для того чтобы добраться до данных объекта-документа в функции-обработчике нажатия клавиши мыши OnLButtonDown() и в функции OnDraw(), использован метод GetDocument(), возвращающий указатель на объект-документ (листинги 4.2, 4.3).

Листинг 4.2. Функция CPainterView::OnLButtonDown(). Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Проверим, не исчерпали ли ресурс
   if(pDoc->m_nIndex==MAXPOINTS)
   AfxMessageBox("Слишком много точек");
   else
```

```
    {
        // Запоминаем точку
        pDoc->m_Points[pDoc->m_nIndex++]=point;
        // Указываем, что окно надо перерисовать
        Invalidate();
        // Указываем, что документ изменен
        pDoc->SetModifiedFlag();
    }
    // Даем возможность стандартному обработчику
    // тоже поработать над этим сообщением
    CView::OnLButtonDown(nFlags, point);
}
```

Кроме классов документа и облика AppWizard создал еще один класс — класс приложения `CPainterApp`, производный от `CWinApp`. Именно в этом классе содержится механизм создания и управления объектами-документами. Таким образом, упрощенно схему взаимодействия объектов нашего приложения можно описать следующим образом.

- Сначала создается объект-приложение (экземпляр класса `CPainterApp`), который инициирует создание объекта-документа и объекта-облика.
- Объект-приложение хранит данные, относящиеся ко всему приложению, и организует работу документов и обликов.
- Объект-документ хранит данные, для обработки которых предназначена программа, и имеет методы для их модификации.
- Объект-облик визуализирует данные, общается с пользователем и изменяет данные.

4.2. Контекст устройства, графические методы класса *CDC*

Контекстом устройства (Device Context — DC) в Windows называется логическое представление какого-либо физического устройства, например монитора, принтера или плоттера. Контекст устройства представляет собой структуру данных, которая определяет состояние драйвера устройства и способ вывода информации. Windows-приложения не взаимодействуют напрямую с физическими устройствами, а для того чтобы нарисовать что-нибудь, обращаются к функциям Graphic Device Interface — GDI, которые в качестве аргумента принимают контекст устройства. Такая схема работы позволяет абстрагироваться от аппаратной части компьютера и облегчить переносимость программ.

Библиотека MFC содержит ряд классов, инкапсулирующих различные типы контекстов устройств Windows. Класс `CDC` является базовым для остальных классов контекстов устройств. Этот класс используется для организации вывода информации на экран и другие устройства (принтер) и имеет несколько десятков различных методов. Часть методов класса `CDC` предназначена для задания различных атрибутов контекста устройства (параметров, влияющих на вывод информации, например: цвет, режим отображения и др.), другая часть методов предназначена для вывода текста, рисования линий и фигур. Класс `CDC` содержит методы для работы с векторной и растровой графикой.

Мы не будем здесь приводить описание всех методов класса `CDC`. При желании информацию о любом из классов MFC, в том числе и о классе `CDC` можно получить в библиотеке MSDN. Далее же, по мере необходимости, мы будем рассматривать только те методы класса `CDC`, которые пригодятся для совершенствования наших программ.

Например, метод `CDC::SelectObject()` предназначен для выбора в контексте устройства объекта, с использованием которого будет выполняться рисование. В качестве аргумента этот метод может принимать указатели на объекты: *перья* (pens), *кисти* (brushes), *шрифты* (fonts), *битовые изображения* (bitmaps) и *регионы* (regions). Соответственно метод имеет следующие формы:

- `CPen* SelectObject( CPen* pPen );`
- `CBrush* SelectObject( CBrush* pBrush );`
- `virtual CFont* SelectObject( CFont* pFont );`
- `CBitmap* SelectObject( CBitmap* pBitmap );`
- `int SelectObject( CRgn* pRgn ).`

Метод возвращает указатель на объект, который был замещен или `NULL` в случае ошибки.

Метод `CDC::LineTo()` предназначен для рисования линии из текущей позиции в точку, координаты которой передаются как параметр. Метод имеет две переопределенные формы:

```
BOOL LineTo( int x, int y );
BOOL LineTo( POINT point );
```

Возвращает `TRUE` (1), если линия нарисовалась и `FALSE` (0) в противном случае. Рисование выполняется текущим пером. Перо требуемого цвета и стиля можно установить методом `CDC::SelectObject()`.

Метод `CDC::Rectangle()` рисует прямоугольник, размеры которого заданы параметрами `x1`, `y1`, `x2`, `y2`:

```
BOOL Rectangle( int x1, int y1, int x2, int y2 );
```

Метод `CDC::Ellipse()` рисует эллипс в пределах прямоугольника, заданного параметрами `x1`, `y1`, `x2`, `y2`:

```
BOOL Ellipse( int x1, int y1, int x2, int y2 );
```

При использовании архитектуры Document-View вывод информации осуществляется объектом-обликом в функции `OnDraw()`. В качестве параметра в функцию `OnDraw()` передается указатель на объект класса `CDC`:

```
OnDraw(CDC* pDC)
```

Объект, адрес которого передается через указатель `pDC`, заранее подготовлен каркасом приложения и содержит контекст того устройства, на которое осуществляется вывод. Таким образом, нам требуется лишь воспользоваться методами класса `CDC` для вывода наших данных. Что мы и сделали при выводе нашего рисунка в методе `CPainterView::OnDraw()`.

Листинг 4.3. Функция `CPainterView::OnDraw()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnDraw(CDC* pDC)
{
   CPainterDoc* pDoc = GetDocument();
   ASSERT_VALID(pDoc);
   // TODO: add draw code for native data here
   // Если имеются опорные точки
   if(pDoc->m_nIndex>0)
      // Поместим перо в первую из них
      pDC->MoveTo(pDoc->m_Points[0]);
      // Пока не кончатся опорные точки, будем их соединять
      for(int i=1; i<pDoc->m_nIndex; i++)
      pDC->LineTo(pDoc->m_Points[i]);
}
```

4.3. Модификация программы Painter

Настала пора продолжить развитие нашей программы Painter. Начнем, пожалуй, с решения проблемы несоответствия между размером рисунка, видимого на экране, и отпечатанного на принтере. Затем придадим программе новые возможности рисования простых фигур.

4.3.1. Решение проблемы вывода на принтер

Как уже было отмечено в предыдущей главе, различие размеров рисунка на экране и листе бумаги объясняется тем, что экран и принтер имеют разную

разрешающую способность (разрешение). Разрешение устройства отображающего какую-либо информацию измеряется в количестве пикселов на единицу размера. Обычно разрешение измеряется в пикселах на дюйм (dot per inch — dpi) или в пикселах на метр.

Представим себе, что мы выводим на экран прямую линию длиной 100 пикселов, а разрешение экрана 100 dpi (точек на дюйм). Тогда видимая на экране длина прямой составит один дюйм (25,4 мм). Теперь, если мы захотим вывести ту же прямую на принтер с разрешением 600 dpi, то ее длина на отпечатанном рисунке будет одна шестая дюйма (25,4/6 мм), т. е. в шесть раз короче, чем на экране.

В нашем случае разрешение экрана было 120 dpi, а разрешение принтера 600 dpi. Поэтому рисунок на предварительном просмотре (см. рис. 3.16) и выглядел таким маленьким.

Узнать разрешение устройства вывода можно с помощью метода `GetDeviceCaps ()` класса `CDC`. В качестве аргумента этой функции передается идентификатор того значения, которое требуется получить.

Например, вызов этого метода может выглядеть следующим образом:

```
// pDC — указатель на контекст устройства
// Узнаем размер рабочей области в пикселах по горизонтали
int XSize=pDC->GetDeviceCaps (HORZRES);
// Узнаем размер рабочей области в пикселах по вертикали
int YSize=pDC->GetDeviceCaps(VERTRES);
// Узнаем разрешение в пикселах на дюйм по горизонтали
int XRes=pDC->GetDeviceCaps(LOGPIXELSX);
// Узнаем разрешение в пикселах на дюйм по вертикали
int YRes=pDC->GetDeviceCaps(LOGPIXELSY);
```

Рассматриваемая проблема соотношения размеров на экране и принтере может быть решена с использованием следующего алгоритма:

1. Узнали разрешение экрана.
2. При выводе на печать узнали разрешение принтера.
3. Вычислили соотношение разрешений и масштабировали рисунок.

При программировании некоторых графических задач так и поступают. Однако мы можем воспользоваться средствами классов библиотеки MFC, которые упрощают решение этой проблемы. Решение заключается в установке такого режима отображения нашего объекта-облика, который позволит нам работать в пространстве логических координат.

4.3.2. Установка режима отображения

Прежде всего, заменим у нашего объекта-облика базовый класс `CView` на класс `CScrollView`, который позволит нам прокручивать рисунки в окне

программы, если они будут превышать его размеры (класс `CView` нам таких вольностей не разрешит). Конечно, если бы вы знали, что так все обернется, то могли бы поменять базовый класс облика еще на 6-м шаге генератора приложений (см. рис. 3.7 — в нижней части окна диалога есть выпадающий список, из которого можно выбирать базовые классы). Однако мы можем сделать замену и вручную. Для этого нам потребуется всего-то открыть файл PainterView.h и дописать в названии базового класса слово "Scroll". Должно получиться так:

```
class CPainterView : public CScrollView
```

В файле же PainterView.cpp поменять базовый класс в очереди сообщений. Должно получиться так, как в листинге 4.4.

Листинг 4.4. Очередь сообщений с базовым классом `CScrollView`. Файл PainterView.cpp

```
IMPLEMENT_DYNCREATE(CPainterView, CScrollView)

BEGIN_MESSAGE_MAP(CPainterView, CScrollView)
   //{{AFX_MSG_MAP(CPainterView)
      ON_WM_LBUTTONDOWN()
   //}}AFX_MSG_MAP
   // Standard printing commands
   ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT, CView::OnFilePrint)
   ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_DIRECT, CView::OnFilePrint)
   ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_PREVIEW, CView::OnFilePrintPreview)
END_MESSAGE_MAP()
```

Класс `CScrollView`, который теперь отвечает в программе Painter за вывод рисунков, позволяет нам установить так называемый *режим отображения*.

Режим отображения определяет параметры работы объекта-облика и влияет на то, как будет происходить вывод информации. Устанавливается режим отображения с помощью функции `CScrollView::SetScrollSizes()`:

```
void SetScrollSizes( int nMapMode, SIZE sizeTotal, const SIZE& sizePage =
sizeDefault, const SIZE& sizeLine = sizeDefault );
```

Параметры функции:

- `nMapMode` — режим отображения. Этот параметр может принимать значения, приведенные в табл. 4.1.

Таблица 4.1. *Режимы отображения*

Режим отображения	Логические единицы	Направление оси Y
`MM_TEXT`	1 пиксел	Вниз

Таблица 4.1 *(окончание)*

Режим отображения	Логические единицы	Направление оси Y
MM_HIMETRIC	0,01 мм	Вверх
MM_TWIPS	1/1440 дюйма	Вверх
MM_HIENGLISH	0,001 дюйма	Вверх
MM_LOMETRIC	0,1 мм	Вверх
MM_LOENGLISH	0,01 дюйма	Вверх

Все эти значения определены в Windows.

- `sizeTotal` — размер области просмотра в логических единицах. Член `cx` структуры `SIZE` содержит горизонтальный размер; `cy` — вертикальный. Оба значения должны быть не меньше нуля.
- `sizePage` — "размер страницы" определяет, на сколько будет "прокручена" область просмотра при щелчке на полосе прокрутки. Член `cx` структуры `SIZE` содержит горизонтальный размер шага прокрутки; `cy` — вертикальный. По умолчанию имеет значение `sizeDefault`, которое говорит Windows, что размер страницы равен 1/10 от общего размера области просмотра, т. е. `sizePage.cx=sizeTotal.cx/10`, а `sizePage.cy=sizeTotal.cy/10`.
- `sizeLine` — "размер строки" определяет, на сколько будет "прокручена" область просмотра при щелчке на стрелочке полосы прокрутки. Член `cx` структуры `SIZE` содержит горизонтальный размер шага прокрутки; `cy` — вертикальный. По умолчанию имеет значение `sizeDefault`, равное 1/10 от размера страницы, т. е. `sizeLine.cx=sizePage.cx/10`, а `sizeLine.cy=sizePage.cy/10`.

После того как мы установили какой-либо режим отображения, вывод информации в функции `OnDraw()` выполняется в логических единицах, а контекст устройства сам пересчитывает (масштабирует) изображение таким образом, чтобы его размеры соблюдались. По умолчанию при создании объекта-облика устанавливается режим отображения `MM_TEXT`. Логические единицы в этом случае совпадают с физическими пикселами на экране или принтере и нам потребуются дополнительные усилия, если мы захотим, чтобы размеры везде совпадали.

Давайте теперь посмотрим, как эти усилия можно уменьшить с помощью установки подходящего режима. Установим для объекта-облика в нашей программе режим отображения `MM_HIMETRIC`. Теперь, если мы захотим нарисовать прямую линию длиной 100 мм, нам достаточно примерно такого фрагмента кода:

```
// Поместим перо в начальную точку
pDC->MoveTo(0, 0);
```

```
// Нарисуем прямую длиной 100 мм,
// что равняется 10000 логическим единицам режима отображения MM_HIMETRIC
pDC->LineTo(10000, 0);
```

Наш облик сообщит контексту устройства, в каком режиме отображения мы работаем, а контекст устройства самостоятельно пересчитает логические единицы в физические и нарисует прямую линию длиной 100 мм.

Режим отображения должен быть установлен после того, как объект-облик создан. Хорошее место для такой операции — функция `CView::OnInitialUpdate()`. Функция `OnInitialUpdate()` вызывается один раз после того, как объект-облик создан, но перед тем, как окно облика впервые покажется на экране. Поэтому в этой функции мы можем задать параметры, которые будут действовать на протяжении всего существования окна облика. Наряду с режимом отображения сразу должен быть указан и размер облика. Далее мы позволим пользователю менять размер листа во время редактирования рисунка. Поэтому нам лучше выполнить установку режима отображения и размеров области вывода в функции `CView::OnUpdate()`. Отличие этой функции от `OnInitialUpdate()` в том, что она вызывается каждый раз, когда возникает необходимость обновить окно облика. Так как класс `CView` базовый для нашего класса `CPainterView`, то все, что нам требуется сделать, — это переопределить функцию `OnUpdate()`. Для того чтобы выполнить эту операцию автоматизированно, вызовем ClassWizard, выберем в списке **Class name** название класса `CPainterView`, а в списке сообщений — сообщение `OnUpdate` (рис. 4.2). Затем нажмем кнопку **Add Function**, которая добавит функцию в текст нашей программы, и кнопку **Edit Code**, которая перенесет нас в файл PainterView.cpp для редактирования функции `OnUpdate()`.

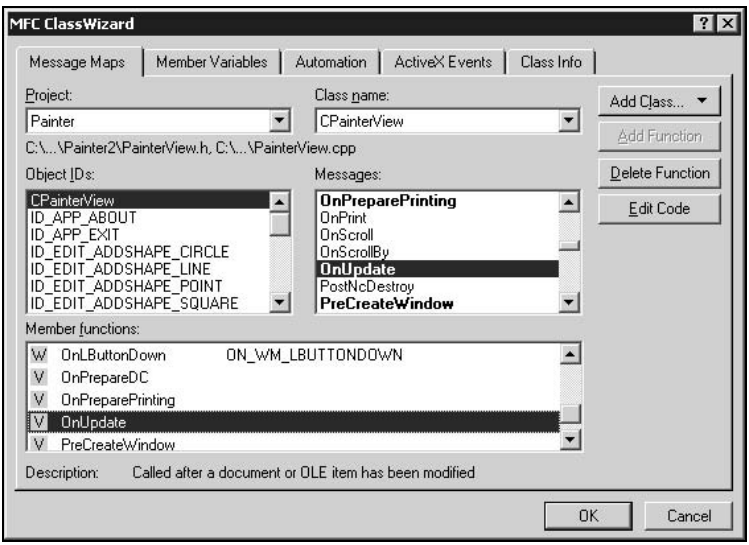


Рис. 4.2. Переопределение функции `OnUpdate()` с помощью инструмента ClassWizard

Добавим в функцию `OnUpdate()` установку режима отображения (листинг 4.5).

Листинг 4.5. Установка режима отображения в функции `OnUpdate()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnUpdate(CView* pSender, LPARAM lHint, CObject* pHint)
{
// TODO: Add your specialized code here and/or call the base class
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CSize sizeTotal;
   // Ширина
   sizeTotal.cx = pDoc->m_wSheet_Width;
   // Высота
   sizeTotal.cy = pDoc->m_wSheet_Height;
   // Установим режим и размер листа
   SetScrollSizes(pDoc->m_wMap_Mode, sizeTotal);
   // Вызываем метод базового класса
   CScrollView::OnUpdate(pSender, lHint, pHint);
}
```

Обратите внимание, размер области, в которую будет производиться вывод рисунков, мы инициализируем значениями, хранящимися в переменных `m_wSheet_Width` и `m_wSheet_Height`. Эти переменные мы введем в класс `CPainterDoc` специально для задания ширины и высоты листа. Кроме того, нам потребуется еще одна переменная для хранения режима отображения. Определение класса `CPainterDoc` после введения переменных приведено в листинге 4.6.

Листинг 4.6. Определение класса `CPainterDoc`. Файл PainterDoc.cpp

```
// Максимальное количество опорных точек#define MAXPOINTS 100class CPain-
terDoc : public CDocument{protected: // create from serialization only
   CPainterDoc();
   DECLARE_DYNCREATE(CPainterDoc)

// Данные
public:
   // Реальное количество точек в массиве
   WORD m_nIndex;
   // Массив координат опорных точек
```

```
    CPoint m_Points[MAXPOINTS];
    // Ширина листа
    WORD m_wSheet_Width;
    // Высота листа
    WORD m_wSheet_Height;
    // Режим отображения
    WORD m_wMap_Mode;

// Методы
public:

// Overrides
    // ClassWizard generated virtual function overrides
    //{{AFX_VIRTUAL(CPainterDoc)
    public:
    virtual BOOL OnNewDocument();
    virtual void Serialize(CArchive& ar);
    //}}AFX_VIRTUAL
    // Implementation
public:
    virtual ~CPainterDoc();
#ifdef _DEBUG
    virtual void AssertValid() const;
    virtual void Dump(CDumpContext& dc) const;
#endif

protected:

// Generated message map functions
protected:
    //{{AFX_MSG(CPainterDoc)    //}}AFX_MSG    DECLARE_MESSAGE_MAP()};
```

Теперь нам потребуется инициализировать введенные в класс `CPainterDoc` новые переменные какими-то начальными значениями (в дальнейшем мы позволим пользователю самому задавать параметры листа). Обычно начальная инициализация выполняется в конструкторе класса. Дополним функцию-конструктор `CPainterDoc()` строками, в которых присвоим нашим переменным значения, по умолчанию задающие режим отображения `MM_HIMETRIC` и размеры листа, соответствующие формату A4 (листинг 4.7).

Листинг 4.7. Конструктор класса `CPainterDoc`. Файл PainterDoc.cpp

```
CPainterDoc::CPainterDoc(){   // Сначала в массиве нет точек
m_nIndex=0;   // Режим отображения 1 лог. ед. = 0.01 мм   m_wMap_Mode =
MM_HIMETRIC;   // Размер листа формата A4   m_wSheet_Width = 21000;
m_wSheet_Height = 29700;}
```

Формат листа A4 мы выбрали из соображений, что он у нас отпечатается нормально практически на любом принтере. Установи мы размер больше, у нас бы возникли сложности с выводом на печать — наш рисунок мог бы не уместиться на одну страницу. В принципе все проблемы можно решить, предусмотрев, например, разбивку большого листа на несколько страниц при печати. Однако подробное рассмотрение этого вопроса несколько уведет нас в сторону от темы книги. Дополнительную информацию по организации печати и предварительного просмотра можно найти в разделах *"Printing"* и *"Technical Note 30"* в документации *"Visual C++ Programmer's Guide"*.

Режим отображения мы установили, но для того чтобы наша программа правильно обрабатывала "управляющие действия пользователя по созданию рисунка", нам потребуется внести некоторые изменения в функцию `CPainterView::OnLButtonDown()`. Функция с изменениями приведена в листинге 4.8. Полужирным шрифтом выделен фрагмент кода, который мы ввели для того чтобы преобразовать точку из физических координат курсора на экране в логические координаты нашего рисунка. Сначала мы получаем указатель на контекст устройства, затем с помощью функции `OnPrepareDC()` сообщаем ему параметры нашего рисунка, в том числе и режим отображения, и используем функцию `CDC::DPtoLP()` для перевода физических координат точки в логические координаты. Кстати, в функции `OnDraw()` такая подготовка контекста устройства нам не потребуется, т. к. она выполняется автоматически.

Листинг 4.8. Измененная функция `CPainterView::OnLButtonDown()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CPoint   LogPoint=point;

   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства
```

```
    OnPrepareDC(pDC);
    // Переведем физические координаты точки в логические
    pDC->DPtoLP(&LogPoint);
    // Освободим контекст устройства
    ReleaseDC(pDC);

    // Проверим, не исчерпали ли ресурс
    if(pDoc->m_nIndex==MAXPOINTS)
       AfxMessageBox("Слишком много точек");
    else
    {
       // Запоминаем точку
       pDoc->m_Points[pDoc->m_nIndex++]=LogPoint;
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
    }
    // Даем возможность стандартному обработчику
    // тоже поработать над этим сообщением
    CScrollView::OnLButtonDown(nFlags, point);
}
```

Функция `OnPrepareDC()` присутствует в базовом классе нашего облика. Она вызывается в тех случаях, когда надо выполнить какую-либо специальную подготовку контекста устройства перед выводом на него изображения. Например, перед тем, как указатель на контекст устройства поступает в функцию `OnDraw()`, базовый класс облика, зная какой режим отображения мы установили, вызывает метод `OnPrepareDC()` и соответствующим образом подготавливает контекст устройства. Мы можем переопределить этот метод в классе `CPainterView`. Зачем нам это может потребоваться? Ну, например, нас не совсем устраивает, что поскольку в режиме `MM_HIMETRIC` ось *Y* направлена вверх, а точка начала координат физического устройства по умолчанию расположена в верхнем левом углу, нам придется работать в отрицательном диапазоне логических значений *Y*. Для изменения этой ситуации мы с помощью ClassWizard переопределим функцию `OnPrepareDC()` и добавим в нее код, приведенный в листинге 4.9. Напомню, что для переопределения метода базового класса или назначения функции-обработчика какого-либо сообщения нужно в поле **Class Name** выбрать имя класса, а в поле **Message** имя сообщения или метода, затем нажать кнопку **Add Function**.

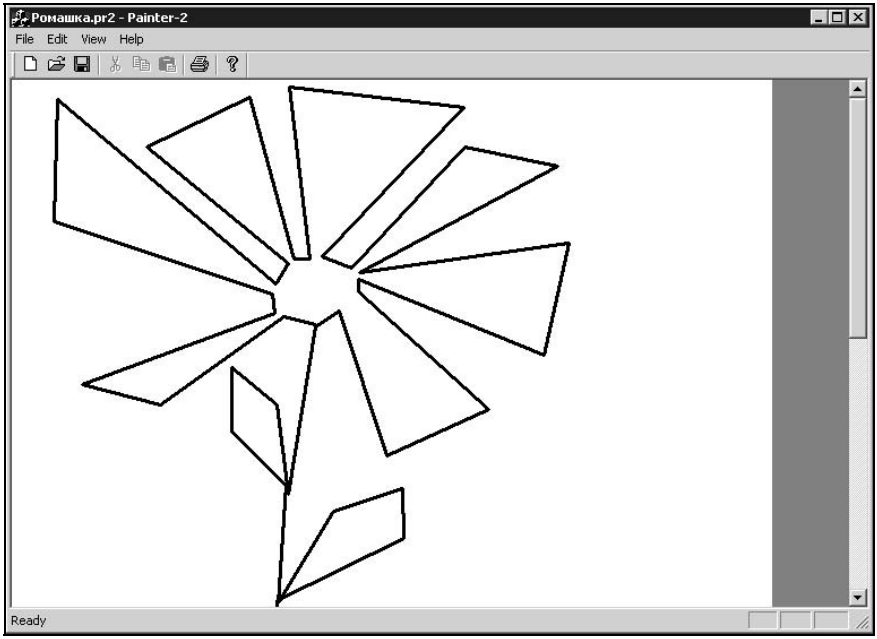


Рис. 4.3. Программа Painter с рисунком на весь лист

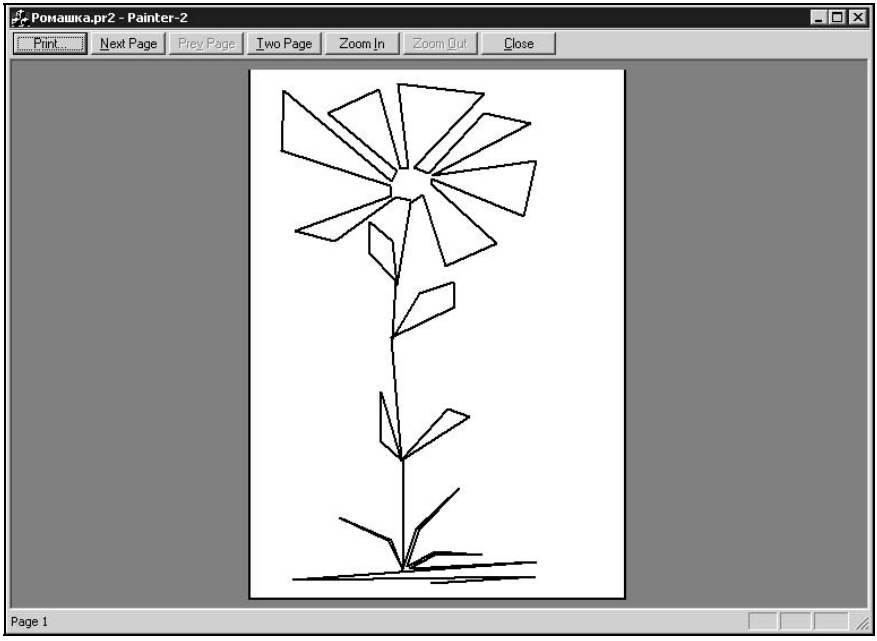


Рис. 4.4. Программа Painter с рисунком на весь лист в режиме предварительного просмотра

Листинг 4.9. Функция `CPainterView::OnPrepareDC()`. Файл PainterView.cpp.

```
void CPainterView::OnPrepareDC(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo)
{
   // Вызов метода базового класса
   CScrollView::OnPrepareDC(pDC, pInfo);
   // Получим указатель на документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Создадим точку в левом нижнем углу листа
   CPoint OriginPoint(0, -pDoc->m_wSheet_Height);
   // Переведем точку в координаты физического устройства
   pDC->LPtoDP(&OriginPoint);
   // Установим эту точку в качестве
   // начала координат физического устройства
   pDC->SetViewportOrg(OriginPoint);
}
```

Все, теперь можно посмотреть, как наша программа заработает. Создадим рисунок размером на весь лист (рис. 4.3) и отобразим его в режиме предварительного просмотра (рис. 4.4).

4.3.3. Установка размеров листа

Дадим теперь возможность пользователю изменять размеры листа. Схема работы будет следующая:

1. Пользователь вызывает команду **File | Page property**.
2. Появляется диалоговое окно, в котором пользователь задает размеры листа.
3. Программа принимает эти размеры к сведению.

Сделать все это очень просто — достаточно добавить в программу диалог, в котором будут вводиться ширина и высота листа. Для этого откроем вкладку **ResourceView** в окне **Workspace** (см. *разд. 3.1*) и добавим шаблон нового диалога (щелкнуть правой кнопкой мыши на слове **Dialog** и выбрать из контекстного списка **Insert Dialog**). Вставим в шаблон диалога поле редактирования **Edit Box** (вторая сверху кнопка во втором ряду на панели инструментов **Controls**) и установим для него идентификатор `IDC_EDIT_WIDTH` (рис. 4.5).

Для того чтобы значения в поле редактирования можно было "прокручивать", добавим к полю редактирования элемент **Spin** (седьмой в первом ряду), установим для него идентификатор `IDC_SPIN_WIDTH` и свойства **Auto Buddy** и **Set buddy integer** (рис. 4.6). Эти элементы управления будут использоваться для задания ширины листа.

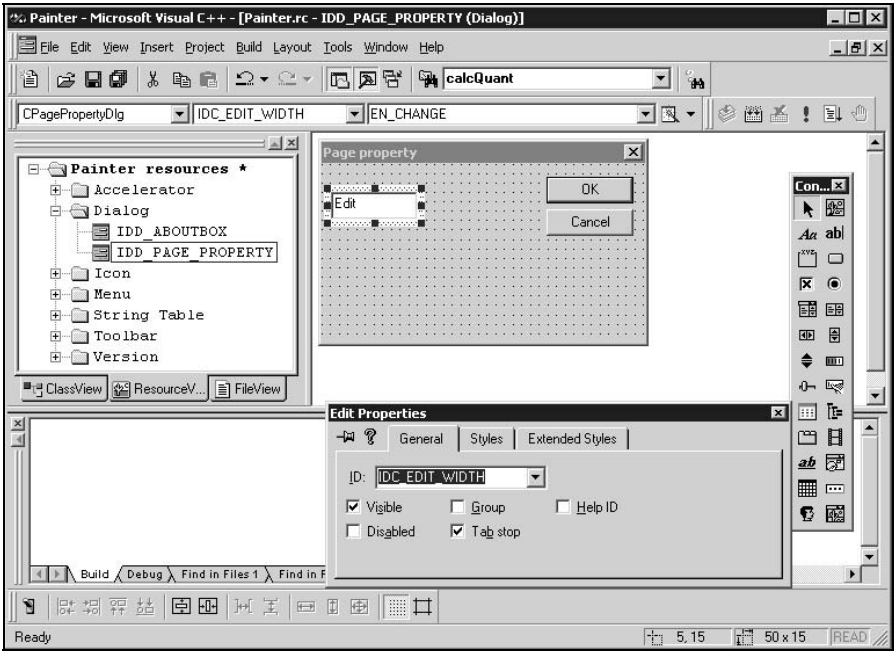


Рис. 4.5. Шаблон нового диалогового окна

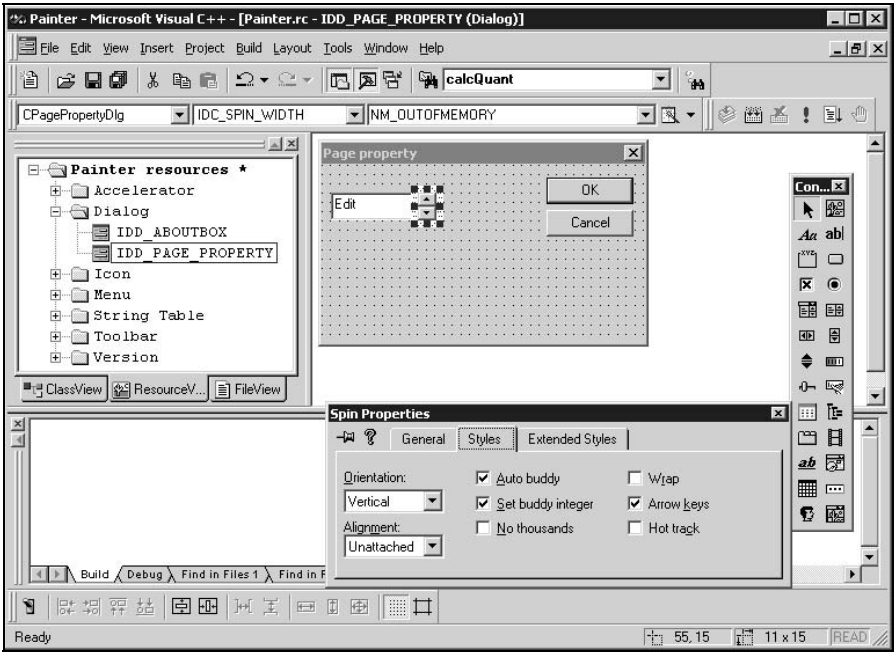


Рис. 4.6. Добавление в шаблон элемента **Spin**

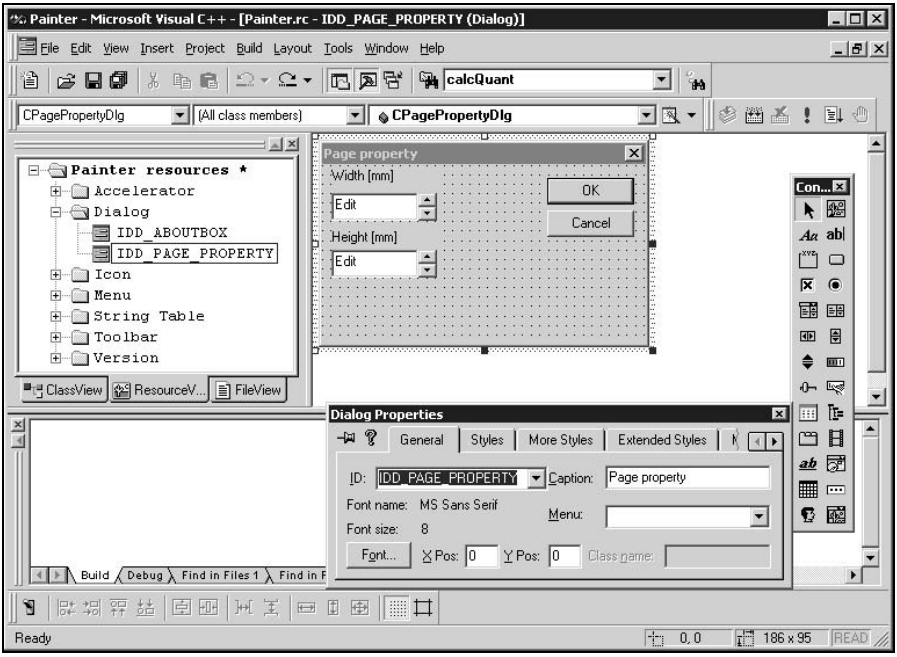


Рис. 4.7. Шаблон диалогового окна после редактирования

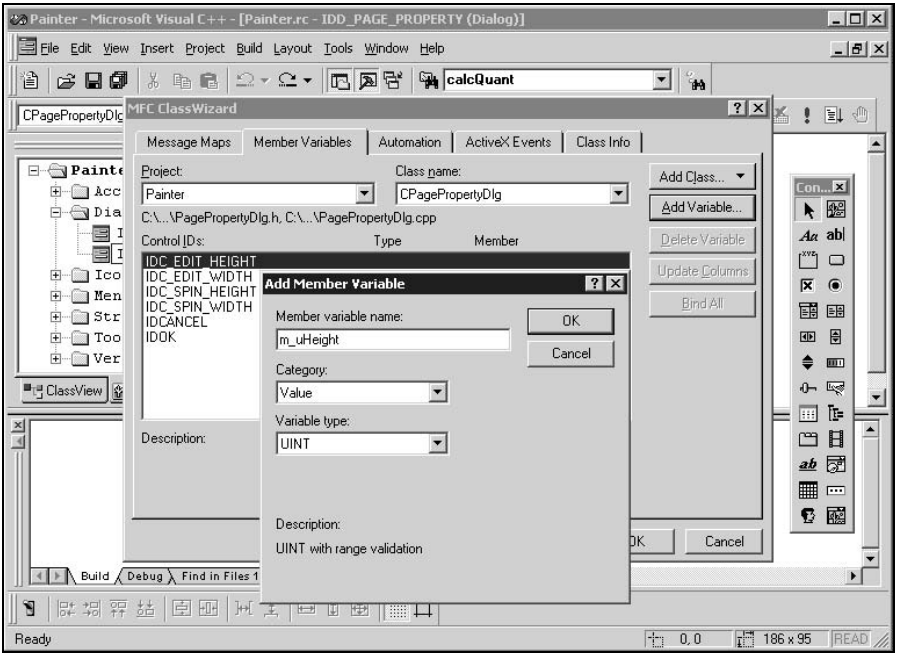


Рис. 4.8. Добавление переменной в класс `CPagePropertyDlg`

Создадим такие же элементы управления с идентификаторами IDC_EDIT_HEIGHT и IDC_SPIN_HEIGHT для задания высоты листа. Напоследок сделаем подписи Width и Height к полям ввода с помощью элементов **Static Text**, озаглавим диалог **Page property** и назовем его идентификатор IDD_PAGE_PROPERTY. В результате должно получиться что-то похожее на рис. 4.7.

Вызовем генератор классов ClassWizard с помощью комбинации клавиш <Ctrl>+<W>. Он предложит создать нам новый класс для нашего диалога. Согласимся, и назовем класс CPagePropertyDlg. Создадим теперь переменные, в которых будут храниться размеры листа. Для этого перейдем на вкладку **Member Variables** нашего нового класса CPagePropertyDlg. Выделим идентификатор IDC_EDIT_HEIGHT поля редактирования высоты листа и нажмем кнопку **Add Variable**. Появится диалоговое окно **Add Member Variable**, в котором назовем новую переменную m_uHeight и зададим ее тип UINT (рис. 4.8).

Аналогично создадим переменную m_uWidth для поля редактирования ширины.

После создания этих переменных для них можно задать диапазон доступных значений (при выделении имени переменной в нижней части диалогового окна **MFC ClassWizard** появляются поля ввода, в которых можно задать диапазон). Зададим для ширины m_uWidth диапазон от 0 до 210, а для высоты m_uHeight от 0 до 297. Соблюдение этого диапазона значений будет проверяться автоматически.

Для элементов управления IDC_SPIN_WIDTH и IDC_SPIN_HEIGHT создадим переменные m_ctlSpinHeight и m_ctlSpinWidth типа CSpinButtonCtrl — они потребуются нам для управления этими Spin-элементами.

Добавим теперь в класс CPagePropertyDlg функцию-обработчик сообщения WM_INITDIALOG, которое поступает перед тем, как диалоговое окно будет показано на экране. В функции-обработчике зададим диапазон прокрутки для Spin-элементов (листинг 4.10).

Листинг 4.10. Функция CPagePropertyDlg::OnInitDialog(). Файл PagePropertyDlg.cpp

```
BOOL CPagePropertyDlg::OnInitDialog()
{
   CDialog::OnInitDialog();
   // TODO: Add extra initialization here
   // Установим диапазон прокрутки Spin-элементов
   m_ctlSpinWidth.SetRange(0, 210);
   m_ctlSpinHeight.SetRange(0, 297);
   return TRUE;  // return TRUE unless you set the focus to a control
   // EXCEPTION: OCX Property Pages should return FALSE
}
```

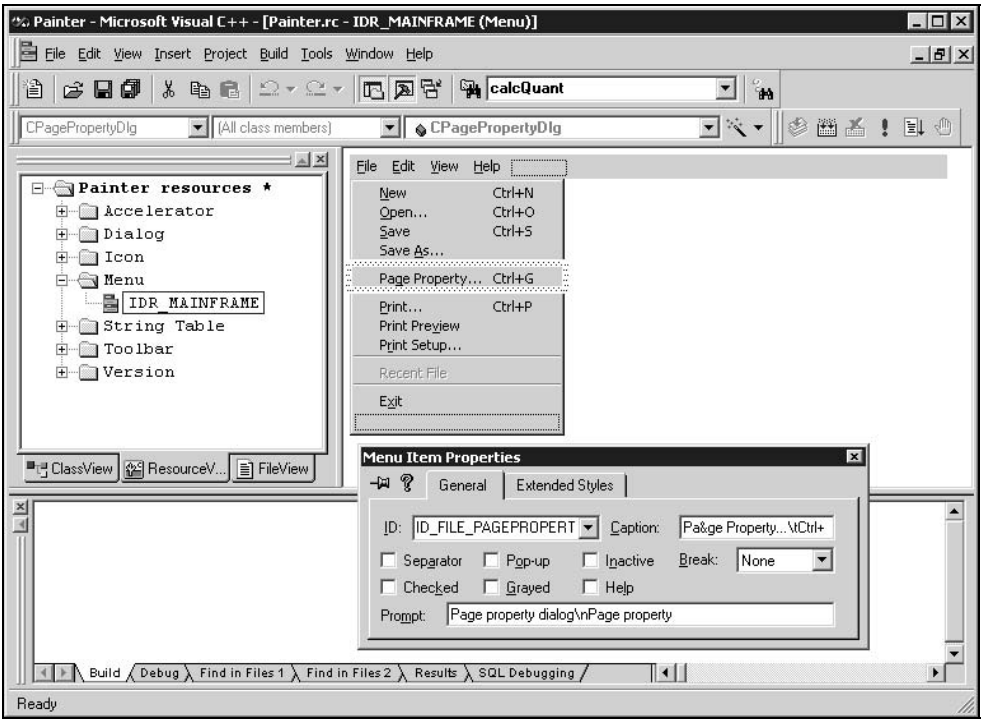


Рис. 4.9. Редактирование меню

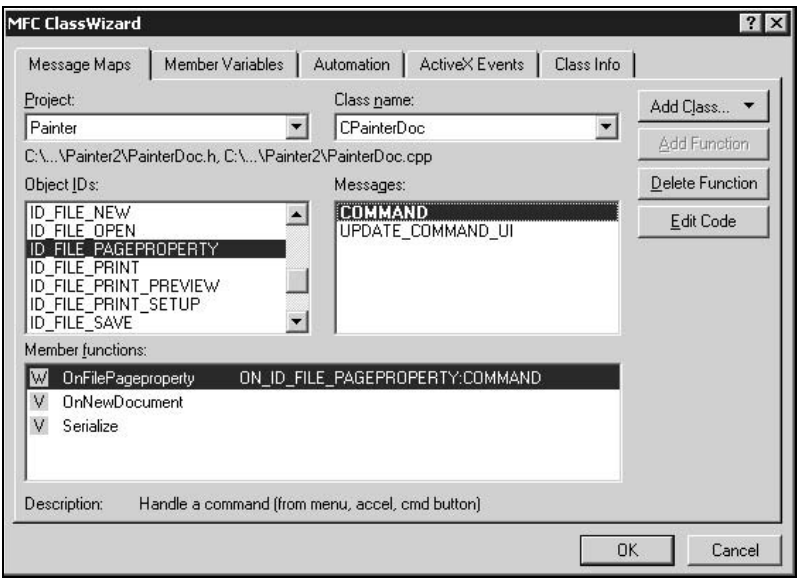


Рис. 4.10. Назначение функции-обработчика для команды `ID_FILE_PAGEPROPERTY`

Теперь надо добавить команду **Page property** в меню **File**. Для этого откроем вкладку **Resource View** и папку **Menu** и дважды щелкнем левой кнопкой мыши на ресурсе `IDR_MAINFRAME`. Откроется шаблон меню программы. Раскроем меню **File**, а затем отредактируем содержимое пустого пункта (внизу меню) и перетащим его на нужно место. Должно получиться что-то похожее на рис. 4.9.

Все, что осталось сделать, — это добавить обработчик этой команды в класс документа. Вызовем ClassWizard и для идентификатора команды `ID_FILE_PAGEPROPERTY` назначим функцию-обработчик `OnFilePageproperty()` (рис. 4.10).

Отредактируем эту функцию, как показано в листинге 4.11.

Листинг 4.11. Функция `CPainterDoc::OnFilePageproperty()`. Файл PainterDoc.cpp

```
void CPainterDoc::OnFilePageproperty()
{
   // TODO: Add your command handler code here
   // Создаем объект — диалог свойств листа
   CPagePropertyDlg PPDlg;
   // Инициализируем параметры диалога текущими значениями
   // делим на 100, т. к. в диалоге размеры в мм
   PPDlg.m_uWidth=m_wSheet_Width/100;
   PPDlg.m_uHeight=m_wSheet_Height/100;
   // Вызываем диалог
   if(PPDlg.DoModal()==IDOK)
   {  // Запоминаем новые значения
      // умножаем на 100, т. к. 1 лог. ед. = 0.01 мм
      m_wSheet_Width=PPDlg.m_uWidth*100;
      m_wSheet_Height=PPDlg.m_uHeight*100;
      // Обновляем облик
      UpdateAllViews(NULL);
   }
}
```

Осталось лишь подвести логическую черту под нашими действиями по установке размеров листа. Во-первых, если установлены размеры листа, рисовать за его пределами не положено. Реализовать такое ограничение легко — мы просто-напросто при подготовке контекста устройства в функции `OnPrepareDC()` ограничим область на контексте устройства, в которой возможно рисование (листинг 4.12).

Листинг 4.12. Функция `CPainterView::OnPrepareDC()`. Файл PainterView.cpp.

```
void CPainterView::OnPrepareDC(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo)
{
   // Вызов метода базового класса
   CScrollView::OnPrepareDC(pDC, pInfo);
   // Получим указатель на документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Создадим точку в левом нижнем углу листа
   CPoint OriginPoint(0, -pDoc->m_wSheet_Height);
   // Переведем точку в координаты физического устройства
   pDC->LPtoDP(&OriginPoint);
   // Установим эту точку в качестве
   // начала координат физического устройства
   pDC->SetViewportOrg(OriginPoint);
   // Ограничим область, доступную для рисования
   pDC->IntersectClipRect( 0,0, pDoc->m_wSheet_Width,
                                pDoc->m_wSheet_Height);
}
```

Во-вторых, пользователь должен видеть границы листа. Для реализации этого требования будем заполнять серым цветом недоступную для рисования область окна. Заливку будем выполнять в функции-обработчике `CPainterView::OnEraseBkgnd()` сообщения `WM_ERASEBKGND`, добавленной с помощью ClassWizard (листинг 4.13).

Листинг 4.13. Функция `CPainterView::OnEraseBkgnd()`. Файл PainterView.cpp

```
BOOL CPainterView::OnEraseBkgnd(CDC* pDC)
{
   // Вызвали метод базового класса
   BOOL Res=CScrollView::OnEraseBkgnd(pDC);
   // Создали кисть серого цвета
   CBrush br( GetSysColor( COLOR_GRAYTEXT ) );
   // Выполнили заливку неиспользуемой области окна
   FillOutsideRect( pDC, &br );
   return Res;
}
```

Работа программы с новыми возможностями показана на рис. 4.11 и 4.12.

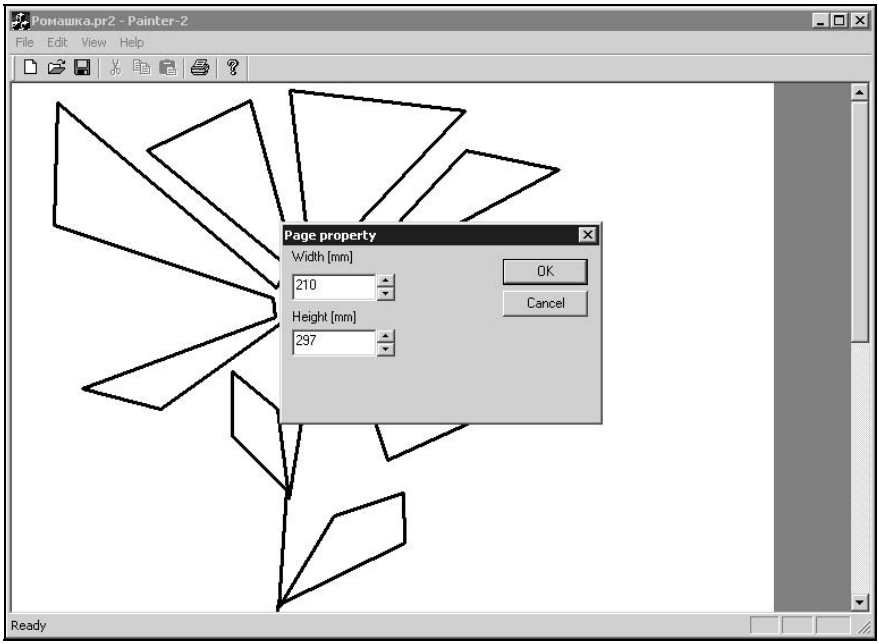


Рис. 4.11. Диалог установки размеров листа

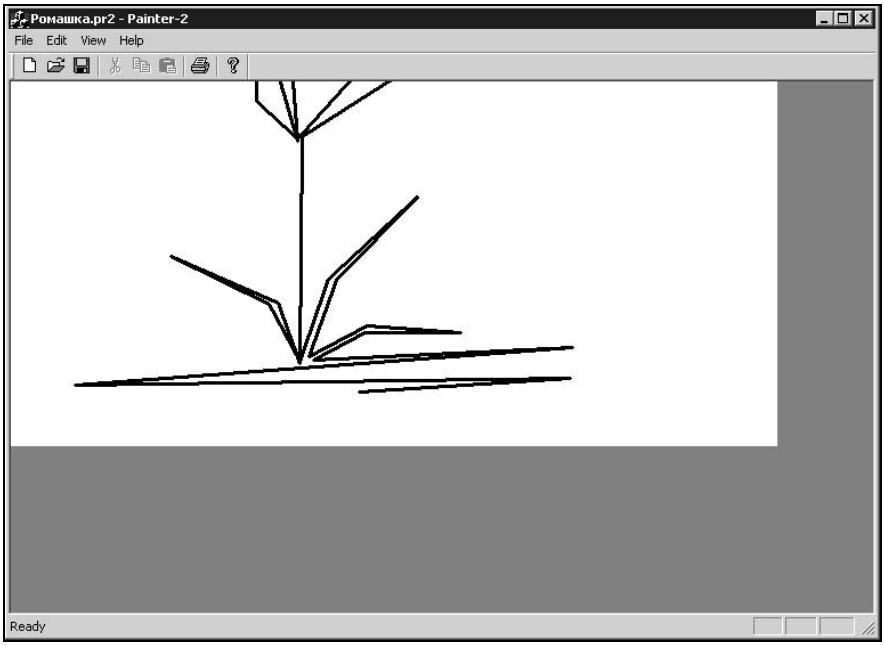


Рис. 4.12. Рисунок на листе с новыми размерами

Поскольку точка начала координат находится в левом нижнем углу (см. листинг 4.9), то после уменьшения размеров листа (см. рис. 4.11), верхняя часть рисунка не отображается (см. рис. 4.12). Можно придумать и другие схемы обрезки изображений.

4.3.4. Реализация функций рисования примитивов

Добавим в новую версию программы Painter возможность рисовать не только прямые, но и примитивные фигуры, например, круг и квадрат. Заодно вспомним, как реализуются виртуальные функции.

Краткий план нашей работы.

1. Начнем с того, что создадим иерархию классов графических объектов — фигур. В основу иерархии поместим базовый класс, который будет отражать свойства и методы, общие для любой фигуры.
2. От базового класса породим производные классы, которые будут отвечать за рисование различных фигур. В дальнейшем каждая простая фигура рисунка будет представлена объектом соответствующего класса.
3. Введем в класс документа `CPainterDoc` механизм хранения объектов-фигур.
4. Дополним метод сохранения и загрузки изображений из файла класса `CPainterDoc` средствами для корректной работы с версиями форматов файлов.
5. Дополним интерфейс программы Painter командами для создания различных фигур.

Создание базового класса иерархии фигур

Представим, какие свойства являются общими для простых фигур типа круг, прямоугольник и т. п. Каждая такая фигура может характеризоваться:

- положением на экране;
- размером;
- цветом и толщиной линий;
- цветом и стилем заливки.

Эти общие для большей части фигур свойства целесообразно реализовать в базовом классе.

Теперь подумаем, что объект-фигура должен уметь. Ну, как минимум, от него можно потребовать, чтобы он мог:

- нарисовать себя на указанном контексте устройства;
- сообщить (в случае, если кто поинтересуется) область на экране, которую занимает его изображение.

Формирование иерархии классов очень похоже на построение генеалогического древа. Как и родственные отношения между людьми, отношения между классами могут быть описаны в терминах предок-потомок. Предки значат очень много, поскольку их генетика во многом определяет, какими станут потомки. В отличие от родственных отношений, при написании классов у нас гораздо больше свободы воли, мы можем выбирать предков, перенимать от них самое лучшее и определять, что достанется нашим потомкам. Конечно, для того чтобы выбрать достойного предка, надо знать о них. Например, Эдди Кей[1] "мог перечислить более шестисот своих предков и о каждом рассказать хотя бы один анекдот". Нам же стоит присмотреться к классам MFC и подумать, найдется ли подходящий предок для нашего "фигурного" класса.

Положение на экране задается парой координат — базовой точкой, относительно которой рисуется вся фигура. Для хранения координат точек в библиотеке MFC есть специальный класс `CPoint`, который мы рассмотрели в *разд. 3.2*. Класс `CPoint` имеет удобные средства для хранения и управления точками, поэтому мы можем применить его при создании нашего класса фигур. В дальнейшем нам также потребуются средства для динамического создания объектов и хранения их в памяти, а также для сохранения в файл объектов-фигур. Поддержка этих возможностей уже реализована в классе `CObject` библиотеки MFC. Класс `CObject` является базовым для большинства классов библиотеки MFC (но не для `CPoint`). Его методы нам тоже пригодятся. Итак, решено, мы порождаем наш класс, назовем его `CBasePoint`, от классов `CPoint` и `CObject`.

Для хранения информации о размере фигуры заведем переменную `m_wSize` типа `WORD`. Этот параметр для разных фигур может иметь разный смысл, например, для круга, это может быть радиус, а для квадрата — длина стороны.

Для хранения параметров отображения фигур добавим в класс переменные, которые задают толщину и цвет линий, способ закраски (заливки) внутренних частей фигур (см. листинг 4.14). В классе также присутствуют два объекта: перо — `m_Pen` класса `CPen` и кисть — `m_Brush` класса `CBrush`. Они будут использоваться при рисовании фигуры. Позже мы рассмотрим, как кисть может быть создана на основе шаблона — растрового изображения (bitmap). Для хранения идентификатора растрового изображения в класс введена специальная переменная `m_dwPattern_ID`. Благодаря этому, информация о том, какой шаблон используется кистью, может быть записана в файл при сохранении изображения и считана из него. Для хранения информации о цвете используется тип `COLORREF`, который определяет 32-битное число (`DWORD`), специально предназначенное для хранения цвета модели RGB. Значение `COLORREF` формируется из трех компонент с помощью макроса `RGB()`:

```
COLORREF RGB(
   BYTE byRed,    // красная компонента цвета
```

[1] Персонаж романа Курта Воннегута "Завтрак для чемпионов, или Прощай, черный понедельник".

```
   BYTE byGreen,  // зеленая компонента цвета
   BYTE byBlue    // синяя компонента цвета
);
```

Например, создадим светло-серый цвет:

```
COLORREF LightGrayColor = RGB(200, 200, 200);
```

Объявление класса поместим в специально созданный файл Shaps.h (листинг 4.14).

Листинг 4.14. Определение класса `CBasePoint`. Файл Shaps.h

```
class CBasePoint: public CPoint, public CObject
{
   DECLARE_SERIAL(CBasePoint)
   CPen   m_Pen;     // перо
   CBrush   m_Brush; // кисть
protected:
   // Метод сериализации
   virtual void Serialize(CArchive& ar);
   // Подготавливает контекст устройства
   virtual BOOL PrepareDC(CDC *pDC);
   // Восстанавливает контекст устройства
   virtual BOOL RestoreDC(CDC *pDC);
public:
   // Данные
   WORD   m_wSize;                 // размер фигуры
   int   m_iPenStyle;              // стиль линий
   int   m_iPenWidth;              // ширина линий
   COLORREF   m_rgbPenColor;       // цвет линий
   int   m_iBrushStyle;            // стиль заливки
   COLORREF   m_rgbBrushColor;     // цвет заливки
   DWORD   m_dwPattern_ID;         // идентификатор шаблона заливки
public:
   // Конструкторы
   CBasePoint();                        // конструктор без параметров
   CBasePoint(int x, int y, WORD s);    // конструктор с параметрами
   ~CBasePoint(){};                     // деструктор
   // Методы
   // Отображает фигуру на экране
   virtual void Show(CDC *pDC);
```

```
    // Сообщает область захвата
    virtual void GetRegion(CRgn &Rgn);
    // Устанавливает параметры линий
    virtual BOOL SetPen(COLORREF color, int width =1,
                                          int style=PS_SOLID);
    // Устанавливает параметры заливки
    virtual BOOL SetBrush(COLORREF color, DWORD pattern =0,
                                          int style=-1);
};
```

Прежде всего, в определении класса мы задали прототипы двух конструкторов. Конструктор без параметров обязателен для выполнения операций сериализации. Конструктор с параметрами позволяет нам задать свойства объекта-фигуры при его создании.

Макрокоманды

```
DECLARE_SERIAL(имя_класса)
```

и

```
IMPLEMENT_SERIAL(имя_класса, имя_базового_класса,
                              версия_формата_файла)
```

в совокупности с функцией `Serialize()` обеспечивают возможность удобного сохранения и считывания (сериализации) объекта. Макрос `DECLARE_SERIAL` должен присутствовать в заголовочном H-файле с объявлением класса, а макрос `IMPLEMENT_SERIAL` помещается в CPP-файл с реализацией методов класса. Метод `Serialize()` класс `CBasePoint` унаследовал от своего базового класса `CObject`. Мы переопределим этот метод так, чтобы он сохранял данные класса `CBasePoint`. Метод `Serialize()` при необходимости можно переопределять в классах, производных от `CBasePoint`.

Параметры рисования линий и внутренней заливки фигур будут определять свойства объектов: перо — `m_Pen` и кисть — `m_Brush`. Свойства кисти и пера задаются с помощью функций `SetPen()` и `SetBrush()`. Благодаря этому, для каждого объекта-фигуры, например при его создании, могут быть заданы свои атрибуты рисования. Если свойства объектов перо и кисть не заданы, то при рисовании фигуры будут использоваться атрибуты рисования, принятые в системе по умолчанию.

В объявление класса `CBasePoint` также включены прототипы двух виртуальных функций: `Show()` и `GetRegion()`. Функция `Show()` будет рисовать фигуру на указанном контексте устройства, а функция `GetRegion()` будет сообщать область, занимаемую фигурой. Эта функция может пригодиться, например, в случае, когда мы хотим выполнить операцию выбора какой-то фигуры в рисунке. Эти функции объявлены виртуальными и будут переопределяться в производных классах. Виртуальность этих функций позволит по-своему рисовать каждую из фигур нашей будущей иерархии классов фигур.

Реализацию методов класса `CBasePoint` поместим в файл Shapes.cpp (листинг 4.15).

Листинг 4.15. Реализация методов класса `CBasePoint`. Файл Shapes.cpp.

```
#include "stdafx.h"
#include "shapes.h"

//////////////////////////////////////
// Реализация методов класса CBasePoint
CBasePoint::CBasePoint(): CPoint(0, 0)
{
   m_wSize=1;

   m_iPenStyle=PS_SOLID;
   m_iPenWidth=1;
   m_rgbPenColor=RGB(0,0,0);
   m_iBrushStyle=-1; // не используем штриховку
   m_rgbBrushColor=RGB(0,0,0);
   m_dwPattern_ID=0; // нет шаблона заливки
};

CBasePoint::CBasePoint(int x, int y, WORD s):CPoint(x, y)
{
   m_wSize=s;

   m_iPenStyle=PS_SOLID;
   m_iPenWidth=1;
   m_rgbPenColor=RGB(0,0,0);
   m_iBrushStyle=-1; // не используем штриховку
   m_rgbBrushColor=RGB(0,0,0);
   m_dwPattern_ID=0; // нет шаблона заливки
};

IMPLEMENT_SERIAL(CBasePoint, CObject , VERSIONABLE_SCHEMA|1)
void CBasePoint::Serialize(CArchive &ar)
{
   if(ar.IsStoring()) // сохранение
   {
      // Сохраняем параметры объекта
      ar<<x;
```

```
      ar<<y;
      ar<<m_wSize;
      ar<<m_iPenStyle;
      ar<<m_iPenWidth;
      ar<<m_rgbPenColor;
      ar<<m_iBrushStyle;
      ar<<m_rgbBrushColor;
      ar<<m_dwPattern_ID;
   }
   else   // чтение
   {
      // Получили версию формата
      int Version=ar.GetObjectSchema();
      // В зависимости от версии
      // можно выполнить различные варианты загрузки
      // Загружаем параметры объекта
      ar>>x;
      ar>>y;
      ar>>m_wSize;
      ar>>m_iPenStyle;
      ar>>m_iPenWidth;
      ar>>m_rgbPenColor;
      ar>>m_iBrushStyle;
      ar>>m_rgbBrushColor;
      ar>>m_dwPattern_ID;

      SetPen(m_rgbPenColor, m_iPenWidth, m_iPenStyle);
      SetBrush(m_rgbBrushColor, m_dwPattern_ID, m_iBrushStyle );
   }
};
BOOL CBasePoint::SetPen(COLORREF color, int width /*=1*/,
                                        int style/*=PS_SOLID*/)
{
   m_iPenStyle=style;
   m_iPenWidth=width;
   m_rgbPenColor=color;
   if(HPEN(m_Pen)!=NULL)   // Если перо уже существует
   if(!m_Pen.DeleteObject()) return FALSE; // удалили старое перо
   // Создаем новое перо и возвращаем результат
   return m_Pen.CreatePen( m_iPenStyle, m_iPenWidth, m_rgbPenColor);
};
```

```
BOOL CBasePoint::SetBrush(COLORREF color, DWORD pattern /*=0*/,
                                          int style/*=-1*/)
{
   m_iBrushStyle=style;
   m_dwPattern_ID=pattern;
   m_rgbBrushColor=color;
   int res=1;
   if(HBRUSH(m_Brush)!=NULL)   // Если кисть уже существует
   if(!m_Brush.DeleteObject()) return FALSE; // удалили старую кисть
   if(m_dwPattern_ID>0)   // есть шаблон заливки
   {
      CBitmap Pattern;
      if(!Pattern.LoadBitmap(m_dwPattern_ID)) return FALSE;
      return m_Brush.CreatePatternBrush(&Pattern);
   }
   if(m_iBrushStyle>=0)   // указан стиль штриховки
      return m_Brush.CreateHatchBrush( m_iBrushStyle, m_rgbBrushColor);
   // Создаем сплошную кисть и возвращаем результат
   return m_Brush.CreateSolidBrush(m_rgbBrushColor);
};

BOOL CBasePoint::PrepareDC(CDC *pDC)
{
   // Сохраняем состояние контекста устройства
   if(!pDC->SaveDC()) return FALSE;
   // Устанавливаем перо и кисть
   if(HPEN(m_Pen)!=NULL)
      pDC->SelectObject(&m_Pen);
   if(HBRUSH(m_Brush)!=NULL)
      pDC->SelectObject(&m_Brush);
   return TRUE;
};

BOOL CBasePoint::RestoreDC(CDC *pDC)
{
   // Восстанавливаем состояние контекста устройства
   return pDC->RestoreDC(-1);
};

void CBasePoint::Show(CDC* pDC)
```

```
{
   // Устанавливаем перо и кисть
   PrepareDC(pDC);
   // Рисуем кружок, обозначающий точку
   pDC->Ellipse(x-m_wSize, y-m_wSize, x+m_wSize, y+m_wSize);
   // Восстанавливаем контекст
   RestoreDC(pDC);
}

void CBasePoint::GetRegion(CRgn &Rgn)
{
   Rgn.CreateEllipticRgn(x-m_wSize, y-m_wSize, x+m_wSize, y+m_wSize);
}
```

Коротко рассмотрим, что выполняется в каждой из функций класса `CBasePoint`:

- `CBasePoint::CBasePoint(): CPoint(0, 0)`

  Конструктор без параметров. Инициализируются переменные класса.

- `CBasePoint::CBasePoint(int x, int y, WORD s):CPoint(x, y)`

  Конструктор с параметрами. Переменные класса инициализируются переданными в функцию значениями.

- `void CBasePoint::Serialize(CArchive &ar)`

  Метод сериализации. В качестве аргумента принимает ссылку на уже подготовленный объект класса `CArchive`, который обеспечивает обмен данными с файлом. В этом методе выполняется сериализация координат и размера фигуры. К сожалению, классы `CPen` и `CBrush` не имеют своих методов сериализации, хотя и являются производными от класса `CObject`. Поэтому мы сохраняем атрибуты рисования фигуры, а при загрузке на основе атрибутов устанавливаем параметры пера и кисти. Надо отметить, что в методе сериализации можно выполнить проверку формата данных объекта и, при необходимости, по-разному выполнять загрузку. Формат объекта может быть указан в третьем параметре макроса `IMPLEMENT_SERIAL`. В листинге 4.15 мы указали `VERSIONABLE_SCHEMA|1`, что означает формат №1 (имеется в виду формат данных объекта, а не файла). Флаг `VERSIONABLE_SCHEMA` говорит о том, что мы допускаем чтение различных форматов.

- `BOOL CBasePoint::SetPen(COLORREF color, int width /*=1*/, int style/*=PS_SOLID*/)`

  Этот метод используется для установки параметров пера. Первый параметр задает цвет, второй — толщину, а третий — стиль пера. Перо может иметь разные стили, идентификаторы которых определены в файле

wingdi.h. Не каждый стиль допускает ширину пера более одной физической единицы, однако некоторые стили, например `PS_GEOMETRIC`, позволяют указать ширину в логических единицах.

- `BOOL CBasePoint::SetBrush(COLORREF color, DWORD pattern /*=0*/, int style/*=-1*/)`

  Этот метод используется для установки параметров кисти. Первый параметр задает цвет, второй — идентификатор шаблона, третий — стиль штриховки. Если указан идентификатор шаблона, то кисть создается на основе шаблона, а параметры цвета и стиля игнорируются. Для того чтобы создать штриховую кисть, требуется указать цвет и стиль штриховки, а параметр `pattern` должен быть равен нулю. Идентификаторы различных стилей кисти определены в файле wingdi.h. Сплошная кисть создается в том случае, если при вызове этой функции указан только параметр цвета.

- `BOOL CBasePoint::PrepareDC(CDC *pDC)`

  Метод предназначен для подготовки контекста устройства. В данной реализации устанавливает перо и кисть.

- `BOOL CBasePoint::RestoreDC(CDC *pDC)`

  Восстанавливает состояние контекста устройства, предшествующее вызову `PrepareDC()`.

- `void CBasePoint::Show(CDC* pDC)`

  Этот метод получает указатель на контекст устройства, подготавливает контекст и использует его методы для вывода изображения. Затем атрибуты контекста восстанавливаются.

- `void CBasePoint::GetRegion(CRgn &Rgn)`

  Метод используется для определения области, занимаемой фигурой. В качестве параметра метод получает ссылку на объект класса `CRgn`. `CRgn` — это специальный класс библиотеки MFC, предназначенный для описания областей (регионов). Этот класс имеет методы для создания областей различной формы, а также метод для определения попадания точки внутрь области. Поскольку в методе `Show()` объект-точка изображается, как круг, в этом методе определяется эллиптическая область. Метод `GetRegion()` будет далее использован в операции выбора фигур на рисунке.

Создание производных классов иерархии фигур

После того, как базовый класс определен, мы можем перейти к созданию производных от него классов, которые будут описывать различные фигуры. Для начала создадим класс `CSquare` для рисования квадратов. Наша иерархия классов будет выглядеть, как показано на рис. 4.13. Класс `CNoname` на этой схеме символизирует будущие классы фигур.

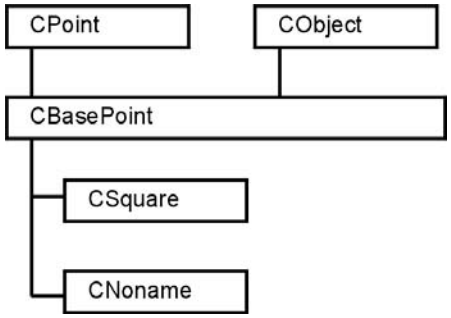


Рис. 4.13. Иерархия классов фигур

Описание класса `CSquare` приведено в листинге 4.16. Все что потребовалось сделать — это переопределить несколько функций. Столь мало усилий при создании класса `CSquare` нам потребовалось потому, что "сквозь него на мир глядят его предки" — класс `CBasePoint` и умелые классы библиотеки MFC.

Листинг 4.16. Описание класса `CSquare`. Файл Shapes.h

```
class CSquare: public CBasePoint
{
   DECLARE_SERIAL(CSquare)
protected:
   // Метод сериализации
   void Serialize(CArchive& ar);
public:
   // Конструкторы
   CSquare(int x, int y, WORD s);
   CSquare();
   ~CSquare(){};
   // Методы
   // Отображает фигуру на экране
   void Show(CDC *pDC);
   // Сообщает область захвата
   void GetRegion(CRgn &Rgn);
};
```

Реализация методов класса `CSquare` приведена в листинге 4.17. Функция `Show()` теперь рисует квадрат, а функция `GetRegion()`, соответственно, определяет квадратную область. Метод же `Serialize()` только и делает, что вызывает одноименный метод базового класса.

Листинг 4.17. Реализация методов класса `CSquare`. Файл Shapes.cpp

```
CSquare::CSquare(int x, int y, WORD s): CBasePoint(x, y, s)
{
   m_wSize=s;
}

CSquare::CSquare(): CBasePoint()
{
   m_wSize=40;
}

IMPLEMENT_SERIAL(CSquare, CObject, 1)
void CSquare::Serialize(CArchive &ar)
{
   CBasePoint::Serialize(ar);
}
void CSquare::Show(CDC* pDC)
{
   int s=m_wSize/2;
   // Устанавливаем перо и кисть
   PrepareDC(pDC);
   // Рисуем квадрат
   pDC->Rectangle(x-s, y-s, x+s, y+s);
   // Восстанавливаем контекст
   RestoreDC(pDC);
}

void CSquare::GetRegion(CRgn &Rgn)
{
   int s=m_wSize/2;
   Rgn.CreateRectRgn(x-s, y-s, x+s, y+s);
}
```

Теперь осталось только включить файл Shapes.cpp в проект Painter. Для этого выполним команду **Project | Add to project-Files**, укажем имя файла в поле **File name**, нажмем кнопку **OK**.

Модификация класса документа *CPainterDoc*

В процессе работы с программой Painter пользователь сможет создавать большое число различных геометрических фигур. Внутри программы это будет выглядеть как динамическое создание объектов. Хранение создаваемых

в программе объектов-фигур удобно организовать в виде списка указателей. В библиотеке MFC имеется параметризованный класс `CTypedPtrList`, который мы используем для создания специального объекта-списка. Объект-список будет выполнять всю работу по хранению и управлению указателями на объекты-фигуры. Объект-список определим с помощью шаблона параметризованного класса `CTypedPtrList`, где параметром типа будет `CObList` — класс, реализующий работу со списком объектов, а параметром аргумента — указатель на класс `CBasePoint`. Таким образом, в списке будут храниться указатели на класс `CBasePoint`. Это позволит обеспечить полиморфизм списка, т. к. в нем можно будет хранить указатели на любые объекты-фигуры, производных от `CBasePoint` классов. Объект-список сделаем членом класса `CPainterDoc`. В описание класса `CPainterDoc` добавим следующие строки:

```
// Список указателей на объекты-фигуры
   CTypedPtrList<CObList, CBasePoint*> m_ShapesList;
```

Для поддержки работы с классами шаблонов требуется подключить файл afxtempl.h. В проект Painter включен файл StdAfx.h. Этот файл создан генератором приложений и предназначен для того, чтобы в нем подключались системные и часто используемые заголовочные файлы. Для подключения файла файл afxtempl.h добавим в файл StdAfx.h следующую строку:

```
#include <afxtempl.h>   // Работа с шаблонами
```

Включение в меню команд добавления фигур

Теперь настала пора пополнить меню программы Painter командами добавления в рисунок простых фигур. Как добавлять в меню команду, мы уже рассмотрели в *разд. 4.3.3*. Поэтому не будем на этом подробно останавливаться, нам достаточно лишь взглянуть на рис. 4.14, и уже все понятно.

При использовании архитектуры приложений Document-View за взаимодействие с пользователем и модификацию данных документа отвечает объект-облик. Поэтому воспользуемся средствами ClassWizard и добавим в класс `CPainterView` функции-обработчики для каждой из этих команд.

Традиционно схема действий при добавлении новой фигуры в рисунок примерно следующая:

1. Пользователь выбирает, какую фигуру он хочет добавить в рисунок.
2. Пользователь указывает щелчком мыши место фигуры на рисунке.

Такая схема подразумевает, что наша программа должна различать щелчки мыши. Для того чтобы научить этому программу, введем в класс `CPainterView` специальную переменную `m_CurOper` типа `int` и определим с помощью директивы `#define` ряд значений:

```
// Определение операций
#define OP_NOOPER   0
#define OP_LINE     1
```

```
#define OP_POINT    2
#define OP_CIRCLE   3
#define OP_SQUARE   4
```

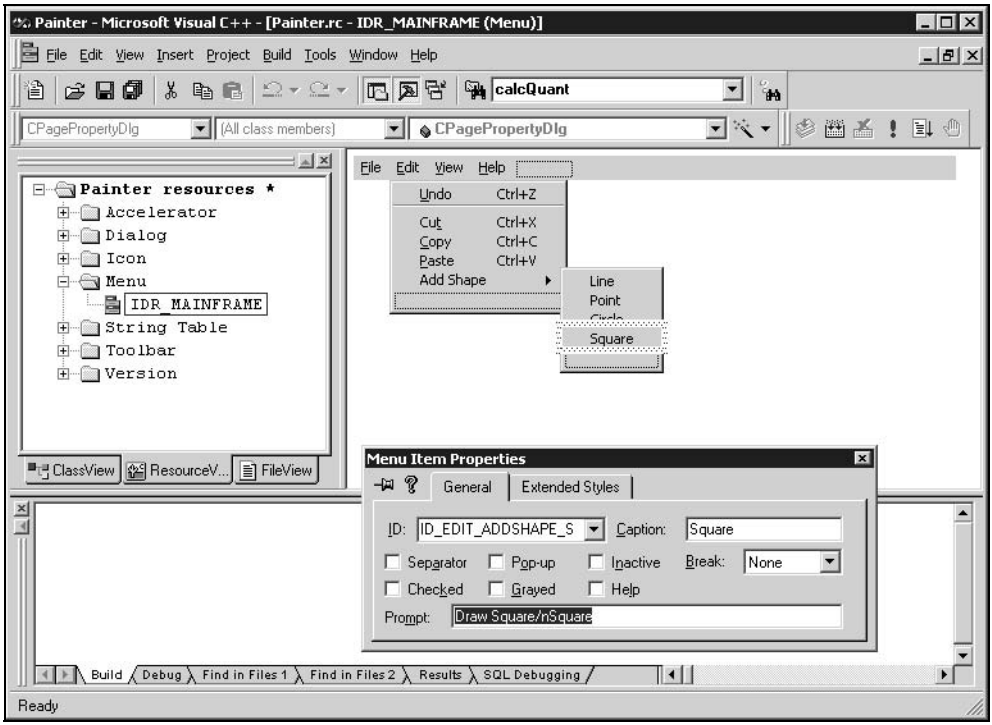


Рис. 4.14. Добавление в меню команд рисования фигур

В функциях-обработчиках команд создания фигур будем присваивать этой переменной `m_CurOper` соответствующие значения (листинг 4.18).

Листинг 4.18. Функции-обработчики команд создания фигур. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnEditAddshapeLine()
{
   // TODO: Add your command handler code here
   m_CurOper=OP_LINE;
}

void CPainterView::OnEditAddshapePoint()
{
```

```
   // TODO: Add your command handler code here
   m_CurOper=OP_POINT;
}

void CPainterView::OnEditAddshapeCircle()
{
   // TODO: Add your command handler code here
   m_CurOper=OP_CIRCLE;
}

void CPainterView::OnEditAddshapeSquare()
{
   // TODO: Add your command handler code here
   m_CurOper=OP_SQUARE;
}
```

В функции-обработчике нажатия левой клавиши мыши `OnLButtonDown()` с помощью оператора `switch()` будем производить выбор, как программе реагировать на нажатие (листинг 4.19).

Листинг 4.19. Функция `CPainterView::OnLButtonDown`. Файл PainterView.h

```
void CPainterView::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CPoint   LogPoint=point;

   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства
   OnPrepareDC(pDC);

   // Переведем физические координаты точки в логические
   pDC->DPtoLP(&LogPoint);
   // Освободим контекст устройства
   ReleaseDC(pDC);
   switch(m_CurOper)
   {
      case OP_LINE:
         // Проверим, не исчерпали ли ресурс
         if(pDoc->m_nIndex==MAXPOINTS)
         AfxMessageBox("Слишком много точек");
```

```
            else
            {
                // Запоминаем точку
                pDoc->m_Points[pDoc->m_nIndex++]=LogPoint;
                // Указываем, что окно надо перерисовать
                Invalidate();
                // Указываем, что документ изменен
                pDoc->SetModifiedFlag();
            }
        break;
        case OP_POINT:
        case OP_CIRCLE:
        case OP_SQUARE:
        AddShape(m_CurOper, LogPoint);
        break;
    }

    // Даем возможность стандартному обработчику
    // тоже поработать над этим сообщением

    CScrollView::OnLButtonDown(nFlags, point);
}
```

Обратите внимание, при операции `OP_LINE` у нас выполняется уже знакомый нам фрагмент кода — рисование линий, а в случае, если значением `m_CurOper` является `OP_POINT`, `OP_CIRCLE` или `OP_SQUARE`, вызывается функция `AddShape()`. Эту функцию мы тоже добавили в класс `CPainterView`. Именно в ней и будет происходить создание фигуры. Функция `AddShape()` имеет два параметра: код операции (фигуры) и координаты точки, в которую фигура должна быть вставлена (листинг 4.20).

Листинг 4.20. Функция `AddShape()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::AddShape(int shape, CPoint point)
{
    CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
    CBasePoint *pShape=NULL;
    switch(shape)
    {
        case OP_POINT:
            // Создаем объект — точку
            pShape=new CBasePoint(point.x, point.y, 100);
            // Светло-серая заливка
```

```
            pShape->SetBrush(RGB(200,200,200));
         break;
         case OP_CIRCLE:
            // Создаем объект — круг
            pShape=new CBasePoint(point.x, point.y, 1000);
            // Черная линия шириной 2 мм
            pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 200, PS_GEOMETRIC);
            // Темно-серая заливка
            pShape->SetBrush(RGB(100,100,100));
         break;
         case OP_SQUARE:
            // Создаем объект — квадрат
            pShape=new CSquare(point.x, point.y, 2000);
            // Красная линия шириной 1 мм
            pShape->SetPen(RGB(200,0,0), 100, PS_GEOMETRIC);
            // Темно-серая диагональная штриховка
            pShape->SetBrush(RGB(100,100,100),0,HS_DIAGCROSS);
            break;
      }
      if(pShape!=NULL) // Создали фигуру
      {
         // Добавляем в конец списка
         pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
         // Указываем, что окно надо перерисовать
         Invalidate();
         // Указываем, что документ изменен
         pDoc->SetModifiedFlag();
      }
}
```

Функция `AddShape()` создает фигуру и добавляет ее в список объектов документа. Для того чтобы созданные объекты-фигуры были нарисованы на экране, модифицируем функцию `OnDraw()` так, как показано в листинге 4.21.

Листинг 4.21. Функция `OnDraw()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnDraw(CDC* pDC)
{
   CPainterDoc* pDoc = GetDocument();
   ASSERT_VALID(pDoc);
   // TODO: add draw code for native data here
   // Поставим перо позаметнее
```

```
    CPen Pen(PS_GEOMETRIC, 100, RGB(0,0,0));
    CPen *pOldPen=pDC->SelectObject(&Pen);
    // Если имеются опорные точки
    if(pDoc->m_nIndex>0)
       // Поместим перо в первую из них
       pDC->MoveTo(pDoc->m_Points[0]);
    // Пока не кончатся опорные точки, будем их соединять
    for(int i=1; i<pDoc->m_nIndex; i++)
       pDC->LineTo(pDoc->m_Points[i]);
    // Восстановим старое перо
    pDC->SelectObject(pOldPen);

    // Выводим все фигуры, хранящиеся в списке
    POSITION pos=NULL;
    CBasePoint* pShape=NULL;
    // Если в списке есть объекты
    if(pDoc->m_ShapesList.GetCount()>0)
       // Получим позицию первого объекта
       pos=pDoc->m_ShapesList.GetHeadPosition();
    while(pos!=NULL)
    {
       // Получим указатель на первый объект
       pShape=pDoc->m_ShapesList.GetNext(pos);
       // Нарисуем объект
       if(pShape!=NULL) pShape->Show(pDC);
    }
}
```

В функцию `OnDraw()` добавлен код, который вызывает метод `Show()` для всех объектов из списка. Заметьте, в списке у нас хранятся указатели на объекты класса `CBasePoint`, однако функция `Show()` рисует кружочки и квадратики. Такое замечательное явление называется *полиморфизмом* и объясняется виртуальностью функции `Show()`.

В принципе уже можно компилировать программу и наслаждаться рисованием. Однако у нас остался нерешенным еще один важный вопрос — сохранение рисунков.

4.3.5. Сохранение рисунков

За сохранение данных в программе Painter отвечает объект-документ. Метод `CPainterDoc::Serialize()` осуществляет эту важную процедуру. Возможно, кто-то удивится, узнав, как мало нам понадобится сделать, чтобы научить программу Painter сохранять рисунки с кружочками, квадратами и прочи-

ми фигурами — добавить всего одну строку `m_ShapesList.Serialize(ar)` (листинг 4.22).

Листинг 4.22. Функция `CPainterDoc::Serialize()`. Файл PainterDoc.cpp

```
void CPainterDoc::Serialize(CArchive& ar)
{
   CString version;
   WORD i=0, version_n=0;
   if (ar.IsStoring()) // Сохраняем
   {
       // версию формата наших рисунков
       version_n=2;
       version.Format("pr%d", version_n);
       ar << version;
       // Количество точек
       ar << m_nIndex;
       // Значения координат точек
       for(int i=0; i<m_nIndex; i++) ar << m_Points[i];

       // Режим отображения
       ar << m_wMap_Mode;
       // Размер листа
       ar << m_wSheet_Width;
       ar << m_wSheet_Height;
   }
   else // Загружаем
   {
       // версию формата
       ar >> version;
       version_n=atoi((LPCTSTR)version.Right(1));
       switch(version_n) // в зависимости от версии формата
       {
           case 2:
              // Количество точек
              ar >> m_nIndex;
              // Загружаем значения координат точек
              for(i=0; i<m_nIndex; i++) ar >> m_Points[i];
              // Режим отображения
              ar >> m_wMap_Mode;
              // Размер листа
              ar >> m_wSheet_Width;
```

```
            ar >> m_wSheet_Height;
            break;
         default:
            AfxMessageBox("Неизвестный формат", MB_OK);
            return;
      }//switch(version)
   }
   // Выполняем сериализацию списка фигур
   m_ShapesList.Serialize(ar);
}
```

Кроме сохранения списка фигур, в код функции `Serialize()` также добавлена сериализация параметров листа и режима отображения. Кроме того, в этой версии функции первым параметром мы сохраняем/загружаем версию формата нашего рисунка. Дело в том, что при прямом вызове функции `Serialize()`, как это происходит для объекта-документа, автоматическая проверка версий форматов файлов не производится. Поэтому метод, который мы использовали в функции `CBasePoint::Serialize()` для проверки версий, в этом случае не подойдет. Однако, функция `CPainterDoc::Serialize()` может выдать сообщение о неправильном формате данных в случае, если мы попытаемся прочитать из архива данные, которых там быть не должно. В связи с этим мы поступаем просто и прямо:

- при сохранении сначала записываем идентификатор нашего формата, а затем данные;
- при загрузке сначала читаем идентификатор, и в зависимости от его значения выбираем схему загрузки.

Идентификатором формата может быть любое значение, например, версия программы. Если мы захотим в дальнейшем, чтобы наша программа правильно читала файлы разных форматов, то мы должны предусмотреть правильную загрузку данных в зависимости от идентификатора формата. Для того чтобы отличать файлы рисунков созданные в программе Painter версии 2, введем новое расширение pr2.

Надо отметить, что использование единственного числового значения в качестве идентификатора формата — не очень хороший подход. Дело в том, что первым прочитанным значением может оказаться число, которое вовсе не обозначает формат, а это повлечет за собой проблемы. Поэтому используем более сложный идентификатор, вероятность случайного появления которого менее вероятна. В качестве идентификатора будем записывать строку "pr#", где символ # заменим в дальнейшем номером формата. При чтении мы извлекаем из строки номер формата и выполняем соответствующий вариант загрузки.

Для того чтобы автоматизировать присвоение расширения к имени файла, при сохранении можно использовать строковый ресурс с идентификатором

IDR_MAINFRAME. Откроем этот ресурс и отредактируем его так, как показано на рис. 4.15.

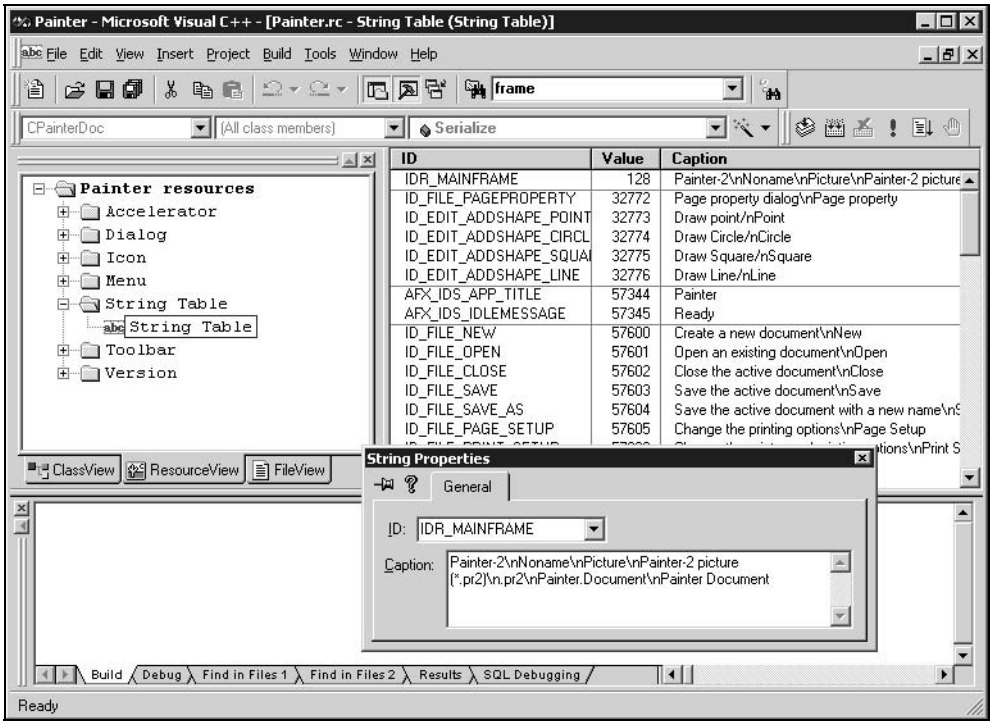


Рис. 4.15. Редактирование строкового ресурса

В строке:

```
Painter-2\nNoname\nPicture\nPainter-2 picture (*.pr2)\n.pr2\ nPainter.Document\nPainter Document
```

подстроки, разделенные символом \n, имеют следующий смысл:

- Painter-2 — имя, являющееся частью заголовка программы с SDI-интерфейсом;
- Noname — имя, присваиваемое по умолчанию новому документу (рисунку);
- Picture — название типа документа (имеет смысл в программах с MDI-интерфейсом);
- Painter-2 picture (*.pr2) — название типа файла, оно будет появляться в диалоговом окне **Открыть**;
- .pr2 — фильтр для отбора файлов по расширению в диалоговом окне **Открыть**;
- Painter.Document — идентификатор типа документа для хранения в реестре Windows, он используется для регистрации диспетчером файлов Windows;

- `Painter Document` — название типа документа для хранения в реестре Windows.

4.3.6. Очистка памяти

Ну вот, мы создали в нашей программе достаточно много объектов. Надо не забыть своевременно их убрать. Для этого введем в класс `CPainterDoc` специальную функцию `ClearShapesList()` (листинг 4.23).

Листинг 4.23. Функция `ClearShapesList()`. Файл PainterDoc.cpp

```
void CPainterDoc::ClearShapesList()
{
   // Очистили список объектов
   POSITION pos=NULL;
   // Пока в списке есть фигуры
   while(m_ShapesList.GetCount()>0)
      // Удаляем первую из них
      delete m_ShapesList.RemoveHead();
}
```

Будем вызывать функцию в тех местах, где нам может потребоваться очистка списка, например, в деструкторе объекта-документа и в функции создания нового документа (листинг 4.24).

Листинг 4.24. Функции, в которых очищается список объектов. Файл PainterDoc.cpp

```
CPainterDoc::~CPainterDoc()
{
   // Очистили список фигур
   ClearShapesList();
}

BOOL CPainterDoc::OnNewDocument()
{
   if (!CDocument::OnNewDocument())
   return FALSE;

   // TODO: add reinitialization code here
   // (SDI documents will reuse this document)

   // Сбросили счетчик
   m_nIndex=0;
```

```
    // Очистили список фигур
    ClearShapesList();
    // Перерисовали
    UpdateAllViews(NULL);

    return TRUE;
}
```

4.4. Заключение

Кажется, наконец, все. Теперь приступим к рисованию. Созданный шедевр можно увидеть на рис. 4.16, а также найти на компакт-диске в каталоге Pics\Painter файл Грузовик.pr2. Текст программы приведен на диске в каталоге \Sources\Painter2.

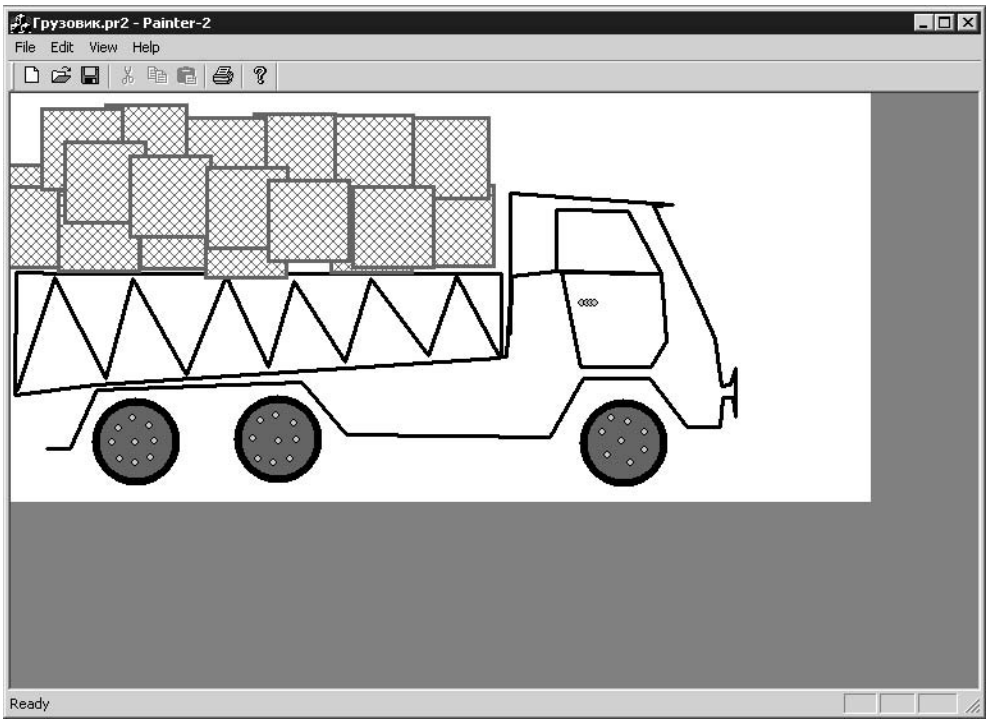


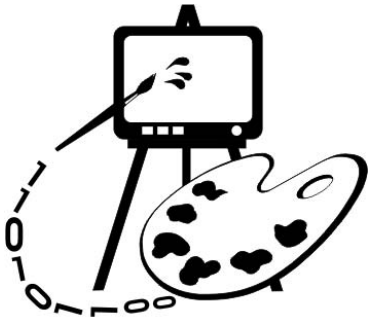
Рис. 4.16. Бессмертное творение в Painter 2

В следующей главе мы несколько расширим изобразительные возможности программы Painter и добавим функции редактирования рисунков.

Дополнительные сведения по работе с одно- и многодокументными приложениями можно найти в книге [4].

Глава 5

Математический аппарат алгоритмов компьютерной графики



В данной главе рассматриваются:

- некоторые определения аналитической геометрии;
- математический аппарат преобразований на плоскости.

Существенным недостатком текущей версии программы Painter является то, что она не позволяет редактировать рисунки. В настоящий момент мы можем только добавлять объекты в рисунок, но не имеем возможности открыть ранее созданный рисунок и изменить расположение объектов, их форму и цвет, порядок, в котором фигуры накладываются друг на друга, удалить лишние детали. Для того чтобы добавить в программу некоторые средства редактирования, нам потребуются несложные математические преобразования, рассмотрению которых и посвящается данная глава.

5.1. Векторы

Вектор — направленный отрезок прямой.

Ниже будут использованы обозначения:

- P, Q — концевые точки отрезка;
- $\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{b}$, $\boldsymbol{c}$ — векторы;
- $\boldsymbol{0}$ — вектор с нулевой длиной;
- $-\boldsymbol{a}$ — вектор длиной $|\boldsymbol{a}|$, направленный в сторону, противоположную $\boldsymbol{a}$;
- p, m — вещественные числа;
- $|\boldsymbol{a}|$ — длина вектора, равная расстоянию между концевыми точками.

5.1.1. Свойства векторов

- При параллельном переносе вектор не изменяется (рис. 5.1).
- Сумма векторов тоже является вектором: $\boldsymbol{a} + \boldsymbol{b} = \boldsymbol{c}$ (рис. 5.2).
- Произведение $p\boldsymbol{a}$ — вектор длиной, равной $|p||\boldsymbol{a}|$, если $p = 0$ или $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{0}$, то $p\boldsymbol{a} = \boldsymbol{0}$ (рис. 5.3);
  - если $p > 0$, результирующий вектор совпадает по направлению с $\boldsymbol{a}$;
  - если $p < 0$, результирующий вектор имеет направление, противоположное $\boldsymbol{a}$.

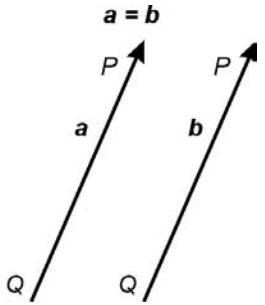


Рис. 5.1. Параллельный перенос векторов

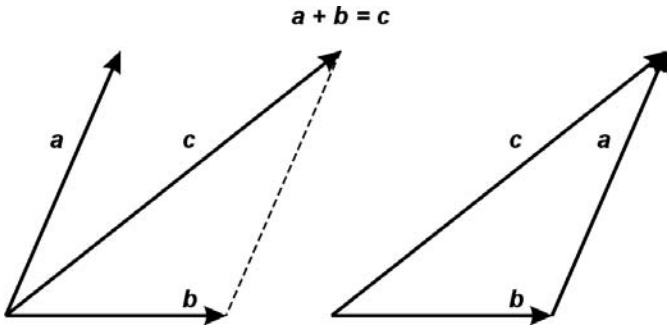


Рис. 5.2. Сумма векторов

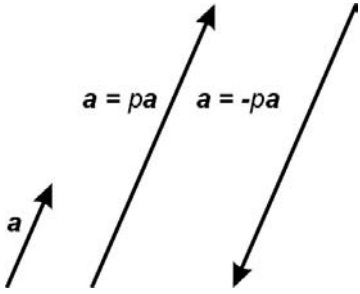


Рис. 5.3. Произведение векторов

Для векторов выполняются следующие правила:

- $\boldsymbol{a} + \boldsymbol{b} = \boldsymbol{b} + \boldsymbol{a}$;
- $(\boldsymbol{a} + \boldsymbol{b}) + \boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} + (\boldsymbol{b} + \boldsymbol{c})$;
- $\boldsymbol{a} + \boldsymbol{0} = \boldsymbol{a}$;
- $\boldsymbol{a} + (-\boldsymbol{a}) = \boldsymbol{0}$;
- $p(\boldsymbol{a} + \boldsymbol{b}) = p\boldsymbol{a} + p\boldsymbol{b}$;
- $(p + m)\boldsymbol{a} = p\boldsymbol{a} + m\boldsymbol{a}$;
- $1\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}$;
- $0\boldsymbol{a} = \boldsymbol{0}$.

В прямоугольной системе координат направление осей задается тройкой перпендикулярных единичных векторов.

Система координат называется *правой*, если при повороте от вектора $\boldsymbol{i}$ к вектору $\boldsymbol{j}$ на 90°, направление вектора $\boldsymbol{k}$ совпадает с поступательным движением винта с правой резьбой (рис. 5.4). Начальная точка векторов обозначается буквой *O*.

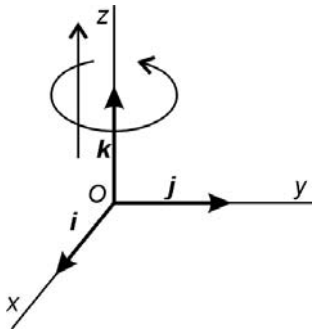


Рис. 5.4. Правая система координат

Любой вектор $\boldsymbol{V}$ может быть записан в виде линейной комбинации $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$: $\boldsymbol{V} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}$, где x, y, z — координаты конечной точки P вектора $\boldsymbol{V} = OP$. Вектор $\boldsymbol{V}$ можно записать также в матричном виде:

$$\boldsymbol{V} = [x, y, z] \text{ или } \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}.$$

5.1.2. Скалярное произведение векторов

Скалярное произведение векторов $\boldsymbol{a}$ и $\boldsymbol{b}$ обозначается $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b}$ и определяется так:

$$\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b} = |\boldsymbol{a}||\boldsymbol{b}|\cos\gamma, \qquad (5.1)$$

где γ — угол между $\boldsymbol{a}$ и $\boldsymbol{b}$. Скалярное произведение это число $p = \boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b}$. Применяя выражение (5.1) к единичным векторам $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$, находим:

$$\boldsymbol{i} \cdot \boldsymbol{i} = \boldsymbol{j} \cdot \boldsymbol{j} = \boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{k} = 1; \quad \boldsymbol{i} \cdot \boldsymbol{j} = \boldsymbol{j} \cdot \boldsymbol{i} = \boldsymbol{j} \cdot \boldsymbol{k} = \boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{j} = \boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{i} = \boldsymbol{i} \cdot \boldsymbol{k} = 0. \qquad (5.2)$$

Свойства скалярного произведения:

- $p(m\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b}) = pm(\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b})$;
- $(p\boldsymbol{a} + m\boldsymbol{b}) \cdot \boldsymbol{c} = p\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{c} + m\boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{c}$;
- $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b} = \boldsymbol{b} \cdot \boldsymbol{a}$;
- $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{a} = \boldsymbol{0}$, если $\boldsymbol{a} = 0$.

Скалярное произведение векторов $\boldsymbol{a} = [a_1, a_2, a_3]$ и $\boldsymbol{b} = [b_1, b_2, b_3]$:

$$\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3. \qquad (5.3)$$

Соотношение (5.3) следует из $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b} = (a_1\boldsymbol{i} + a_2\boldsymbol{j} + a_3\boldsymbol{k}) \cdot (b_1\boldsymbol{i} + b_2\boldsymbol{j} + b_3\boldsymbol{k})$ с учетом свойств скалярного произведения и соотношения (5.2).

5.1.3. Векторное произведение векторов

Векторное произведение векторов $\boldsymbol{a}$ и $\boldsymbol{b}$ обозначается $\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}$. Результатом векторного произведения является вектор: $\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}$.

Свойства векторного произведения:

- Если $\boldsymbol{a} = p\boldsymbol{b}$, где p — скаляр, то $\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b} = 0$, иначе длина вектора $\boldsymbol{c}$ равна:

$$|\boldsymbol{c}| = |\boldsymbol{a}||\boldsymbol{b}|\sin\gamma, \qquad (5.4)$$

где γ — угол между векторами $\boldsymbol{a}$ и $\boldsymbol{b}$. Направление вектора $\boldsymbol{c}$ перпендикулярно $\boldsymbol{a}$ и $\boldsymbol{b}$ и таково, что $\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{b}$, $\boldsymbol{c}$ именно в таком порядке образуют правостороннюю тройку. Это означает, что если $\boldsymbol{a}$ поворачивается на угол меньше 180° по направлению к вектору $\boldsymbol{b}$, то вектор $\boldsymbol{c}$ имеет направление, совпадающее с направлением поступательного движения винта с правой нарезкой при таком повороте.

- Пусть p — некоторая константа, тогда справедливы соотношения:

  $(p\boldsymbol{a}) \times \boldsymbol{b} = p(\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b})$;

  $\boldsymbol{a} \times (\boldsymbol{b} + \boldsymbol{c}) = \boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b} + \boldsymbol{a} \times \boldsymbol{c}$;

  $\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b} = -\boldsymbol{b} \times \boldsymbol{a}$;

  в общем случае $\boldsymbol{a} \times (\boldsymbol{b} \times \boldsymbol{c}) \neq (\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}) \times \boldsymbol{c}$.

- Для правой ортогональной системы координат, определяемой векторами $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$, справедливы соотношения: $\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{i} = \boldsymbol{j} \times \boldsymbol{j} = \boldsymbol{k} \times \boldsymbol{k} = \boldsymbol{0}$; $\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{j} = \boldsymbol{k}$; $\boldsymbol{j} \times \boldsymbol{k} = \boldsymbol{i}$; $\boldsymbol{k} \times \boldsymbol{i} = \boldsymbol{j}$; $\boldsymbol{j} \times \boldsymbol{i} = -\boldsymbol{k}$; $\boldsymbol{k} \times \boldsymbol{j} = -\boldsymbol{i}$; $\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{k} = -\boldsymbol{j}$. Учитывая эти соотношения для векторного произведения, имеем:

  $\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b} = (a_1\boldsymbol{i} + a_2\boldsymbol{j} + a_3\boldsymbol{k}) \times (b_1\boldsymbol{i} + b_2\boldsymbol{j} + b_3\boldsymbol{k})$,

отсюда получаем:

$$\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b} = (a_2 b_3 - a_3 b_2)\boldsymbol{i} + (a_3 b_1 - a_1 b_3)\boldsymbol{j} + (a_1 b_2 - a_2 b_1)\boldsymbol{k}. \quad (5.5)$$

Правая часть уравнения (5.5) является выражением детерминанта третьего порядка (5.11). Отсюда выражение (5.5) может быть записано в матричной форме:

$$\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b} = \begin{vmatrix} \boldsymbol{i} & \boldsymbol{j} & \boldsymbol{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix}. \quad (5.6)$$

5.2. Детерминанты

Рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} a_1 x + b_1 y = c_1 \\ a_2 x + b_2 y = c_2 \end{cases}. \quad (5.7)$$

Чтобы решить систему (5.7), умножим первое уравнение на b_2, а второе на $-b_1$ и сложим, получим: $(a_1 b_2 - a_2 b_1)x = b_2 c_1 - b_1 c_2$. Затем первое уравнение умножим на $-a_2$, а второе — на a_1 и сложим, в результате получим: $(a_1 b_2 - a_2 b_1)y = a_1 c_2 - a_2 c_1$,

если $a_1 b_2 - a_2 b_1 \neq 0$, то:

$$x = \frac{b_2 c_1 - b_1 c_2}{a_1 b_2 - a_2 b_1}; \qquad y = \frac{a_1 c_2 - a_2 c_1}{a_1 b_2 - a_2 b_1}. \quad (5.8)$$

Выражение в делителе может быть записано:

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1 b_2 - a_2 b_1. \quad (5.9)$$

Выражение (5.9) называется *детерминантом* второго порядка.

С помощью детерминантов уравнение (5.7) может быть записано в виде:

$$x = \frac{D_1}{D}, \; y = \frac{D_2}{D}, \text{ при } D \neq 0, \quad (5.10)$$

где

$$D_1 = \begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}, \; D_2 = \begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}.$$

D_i (i=1, 2) получается заменой i-го столбца на правую часть системы (5.7). Такой способ пригоден для решения систем двух и более уравнений и называется "правилом Крамера".

Детерминант третьего порядка имеет вид:

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - a_2 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} + a_3 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{vmatrix}. \quad (5.11)$$

Аналогично записываются детерминанты более высоких порядков.

5.2.1. Свойства детерминантов

Рассмотрим основные свойства детерминантов.

- При транспонировании матрицы (если строки записать в столбцы) значение детерминанта не изменяется:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}.$$

- Перемена мест двух строк (столбцов) меняет знак детерминанта:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_3 & b_3 & c_3 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix}.$$

- Если любую строку (столбец) умножить на число, то значение детерминанта умножится на это же число:

$$\begin{vmatrix} ka_1 & kb_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = k \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}.$$

- Если строка (столбец) изменяется путем добавления соответствующих элементов другой строки (столбца), умноженных на константу, то значение детерминанта не изменится:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 + ka_1 & b_3 + kb_1 & c_3 + kc_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}.$$

- Если строка (столбец) является линейной комбинацией других строк (столбцов), то значение детерминанта равно нулю:

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ 3a_1 + ka_2 & 3b_1 + kb_2 & 3c_1 + kc_2 \end{vmatrix} = 0.$$

Использование детерминантов позволяет в удобной форме описывать разные геометрические объекты. Например, уравнение прямой в двумерном

пространстве (R^2), проходящей через точки $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$ может быть записано следующим образом:

$$\begin{vmatrix} x & y & 1 \\ x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & x_2 & 1 \end{vmatrix} = 0 . \tag{5.12}$$

Справедливость этой записи подтверждается следующим рассуждением: если, например, $x = x_1$, $y = y_1$, то первая строка является линейной комбинацией, следовательно, $D = 0$.

Плоскость в трехмерном пространстве (R^3), проходящая через точки $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$, $P_3(x_3, y_3, z_3)$ может быть описана следующим образом:

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 . \tag{5.13}$$

5.3. Однородные координаты

Уравнение $aX + bY + c = 0$ описывает прямую в пространстве R^2. Заменим X на x/w, Y на y/w, получим уравнение $a(x/w) + b(y/w) + c=0$. Запишем его в такой форме:

$$ax + by + cw = 0. \tag{5.14}$$

Уравнения типа (5.14) называют однородными, т. к. они имеют одинаковую структуру в терминах ax, by, cw — отсюда x, y, w называются однородными координатами точки (X, Y).

Если $w = 1$ (двумерное пространство располагается в плоскости $w = 1$ в системе x, y, w), то уравнение (5.14) описывает плоскость, проходящую через начало координат и заданную прямую линию.

Если считать, что (x, y, w) — это иная форма записи $(x/w, y/w)$, то тогда w не должно быть равно нулю. Однако некоторые полезные свойства однородных координат проявляются именно при отсутствии такого требования.

Рассмотрим систему:

$$\begin{cases} 2x + 3y - 6 = 0 \\ 4x + 6y - 24 = 0 \end{cases}. \tag{5.15}$$

Система (5.15) задает две параллельные линии и не имеет решения.

При замене координат на однородные, система (5.15) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} 2x + 3y - 6w = 0 \\ 4x + 6y - 24w = 0 \end{cases}. \tag{5.16}$$

Система (5.16) имеет, по крайней мере, одно решение ($x = 0$, $y = 0$, $w = 0$). Система:

$$\begin{cases} 2x + 3y = 0 \\ w = 0 \end{cases}$$

эквивалентна системе (5.16), следовательно, верно соотношение:

$$\frac{x}{y} = \frac{-2}{3}. \tag{5.17}$$

Таким образом, решение системы (5.16) состоит из всех точек ($3k$, $-2k$, 0), где k — любое число. В пространстве x, y, w эти точки образуют прямую, проходящую через точки O (0, 0, 0) и (3, −2, 0). Данная линия бесконечно удалена, ее точки можно рассматривать как предельные точки ($3k$, $-2k$, w), при $w \to 0$.

5.4. Использование однородных координат

В обычных двумерных координатах линейное преобразование на плоскости может быть записано следующим образом:

$$[x'\ y'\ ] = [x\ y]\boldsymbol{A},$$

где $\boldsymbol{A}$ — матрица преобразования:

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{bmatrix}.$$

Точки [1 0] и [0 1] с помощью матрицы $\boldsymbol{A}$ отображаются в точки [a_1 a_2] и [b_1 b_2]. Однако, независимо от вида матрицы $\boldsymbol{A}$, точка [0 0] отобразится в точку [0 0], поэтому таким способом нельзя выполнить операцию переноса точки в новую позицию. В однородных координатах точка в двумерном пространстве задается тройкой (x, y, w), и преобразование записывается в виде $[x'\ y'\ z'] = [x\ y\ z]\boldsymbol{A}$, где

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}.$$

В этом случае имеют место следующие преобразования:

$$[1\ 0\ 0]\boldsymbol{A} = [a_1\ a_2\ a_3],$$
$$[0\ 1\ 0]\boldsymbol{A} = [b_1\ b_2\ b_3],$$
$$[0\ 0\ 1]\boldsymbol{A} = [c_1\ c_2\ c_3].$$

Это означает, что однородные координаты позволяют выразить любые преобразования путем матричного перемножения.

5.5. Преобразования на плоскости

Рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} x' = x + a \\ y' = y \end{cases}. \tag{5.18}$$

Система (5.18) может означать:

- перемещение всех точек в плоскости x-y вправо на расстояние a (рис. 5.5);
- смещение координатных осей влево на расстояние a (рис. 5.6).

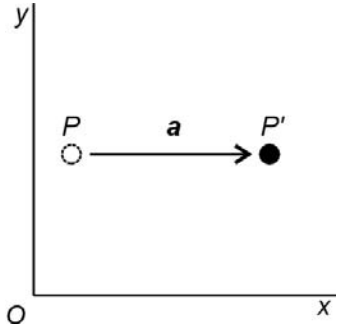


Рис. 5.5. Перенос точки

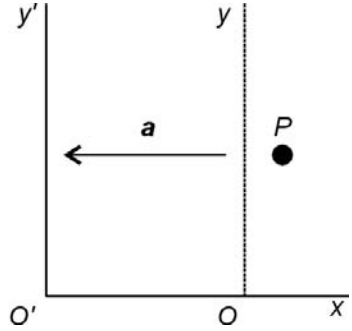


Рис. 5.6. Перенос системы координат

Аналогично и в более сложных ситуациях одно и то же преобразование можно рассматривать как изменение координат точки, либо как изменение самой системы координат.

Общий случай операции переноса:

$$\begin{cases} x' = x + a \\ y' = y + b \end{cases}. \tag{5.19}$$

Рассмотрим далее операцию поворота точки $P(x, y)$ вокруг начала координат O на угол φ в точку $P'(x', y')$ (рис. 5.7). Новые координаты точки рассчитываются с помощью системы уравнений:

$$\begin{cases} x' = ax + by \\ y' = cx + dy \end{cases}. \tag{5.20}$$

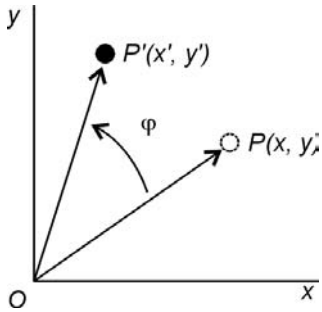


Рис. 5.7. Поворот точки $P(x, y)$ вокруг начала координат O на угол φ в точку $P'(x', y')$

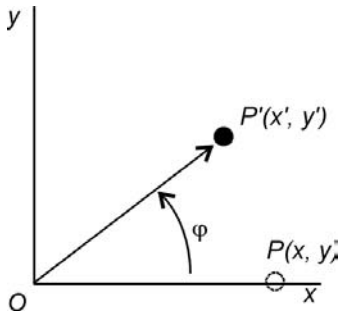


Рис. 5.8. Поворот точки $P(x, y)$ вокруг начала координат O на угол φ в точку $P'(x', y')$, если $P = (1, 0)$

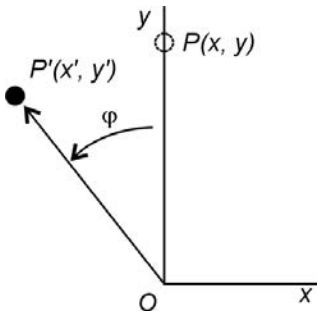


Рис. 5.9. Поворот точки $P(x, y)$ вокруг начала координат O на угол φ в точку $P'(x', y')$, если $P = (0, 1)$

Рассмотрим рис. 5.8. В случае если $P = (1, 0)$, то $x' = a$, $y' = c$. Из рис. 5.8 найдем: $a = \cos\varphi$, $c = \sin\varphi$.

Аналогично, если $P = (0, 1)$: $b = -\sin\varphi$, $d = \cos\varphi$ (рис. 5.9).

Таким образом, поворот вокруг начала координат O можно выразить в виде:

$$\begin{cases} x' = x\cos\varphi - y\sin\varphi \\ y' = x\sin\varphi + y\cos\varphi \end{cases}. \tag{5.21}$$

Часто требуется выполнить поворот вокруг какой-то произвольной точки (x_0, y_0). Схема выполнения такого преобразования следующая:

1. Точка начала координат O переносится в точку с координатами (x_0, y_0). Для выполнения этой операции достаточно отнять от координат точки $P(x, y)$ координаты точки (x_0, y_0).

2. Выполняется поворот вокруг новой точки начала координат согласно формулам:

$$\begin{cases} x' = (x - x_0)\cos\varphi - (y - y_0)\sin\varphi \\ y' = (x - x_0)\sin\varphi + (y - y_0)\cos\varphi \end{cases}. \quad (5.22)$$

3. Возвращение системы координат в первоначальный вид. Прибавляем к координатам точки $P'(x', y')$ значения координат точки (x_0, y_0):

$$\begin{cases} x' = x' + x_0 \\ y' = y' + y_0 \end{cases}. \quad (5.23)$$

Таким образом, поворот на угол φ вокруг произвольной точки (x_0, y_0) можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} x' = x_0 + (x - x_0)\cos\varphi - (y - y_0)\sin\varphi \\ y' = y_0 + (x - x_0)\sin\varphi + (y - y_0)\cos\varphi \end{cases}. \quad (5.24)$$

5.6. Матричная форма записи двумерных преобразований

Запись операции переноса в однородных координатах:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ a & b & 1 \end{bmatrix}.$$

Запись операции поворота на угол φ вокруг точки O в однородных координатах:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Поворот на угол φ вокруг точки (x_0, y_0):

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{R},$$

где $\boldsymbol{R}$ — некоторая матрица 3×3.

Для нахождения $\boldsymbol{R}$ выполним следующие шаги:

1. Перенос точки (x_0, y_0) в начало координат — точку O:

$$\begin{bmatrix} u_1 & v_1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{T}', \text{ где } \boldsymbol{T}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix}.$$

2. Поворот на угол φ относительно O:

$$\begin{bmatrix} u_2 & v_2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 & v_1 & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{R}_0, \text{ где } \boldsymbol{R}_0 = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

3. Перенос из начала координат в точку (x_0, y_0):

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_2 & v_2 & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{T}, \text{ где } \boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Учитывая ассоциативность матричного умножения, т. е. $(\boldsymbol{AB})\boldsymbol{C} = \boldsymbol{A}(\boldsymbol{BC}) = \boldsymbol{ABC}$, найдем:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_2 & v_2 & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{T} = \left\{ \begin{bmatrix} u_1 & v_1 & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{R}_0 \right\} \boldsymbol{T} = \left\{ \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{T}' \right\} \boldsymbol{R}_0 \boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{T}' \boldsymbol{R}_0 \boldsymbol{T},$$

следовательно:

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{T}' \boldsymbol{R}_0 \boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ c_1 & c_2 & 1 \end{bmatrix},$$

где

$$\begin{aligned} c_1 &= x_0 - x_0 \cos\varphi + y_0 \sin\varphi \\ c_2 &= y_0 - x_0 \sin\varphi - y_0 \cos\varphi \end{aligned}.$$

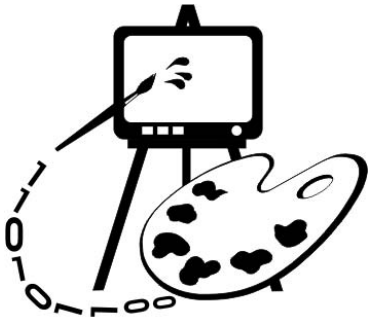
5.7. Заключение

В этой главе мы рассмотрели достаточный объем теоретических сведений для того, чтобы реализовать в программе Painter преобразования переноса и поворота на плоскости.

Дополнительно можно изучить литературу [2, 13].

Глава 6

Реализация функций редактирования рисунков



В данной главе рассматриваются:

- программная реализация функций редактирования рисунков (программа Painter 3);
- операция выбора фигуры;
- рисование полигональных фигур;
- рисование фигур произвольных размеров;
- рисование инверсным цветом;
- реализация преобразований на плоскости;
- определение реакций на нажатие клавиш;
- изменение порядка наложения фигур;
- удаление фигур;
- преобразование формата.

6.1. Выбор фигуры

Большинство операций редактирования начинаются с команды выбора фигур. Со стороны пользователя это выглядит примерно следующим образом:

1. Пользователь инициирует операцию выбора.
2. Пользователь указывает на фигуру.
3. Выбранная фигура каким-то образом помечается.
4. Пользователь выполняет преобразование фигуры.

В программе же все будет происходить, например, так:

1. Программа переходит в режим выбора. Ожидается щелчок мыши.

2. Обрабатывается щелчок мыши, проверяется, в какую фигуру попал пользователь.
3. В случае если есть попадание, выбранная фигура запоминается и помечается на рисунке.
4. Поступающие от пользователя команды преобразования применяются к выбранной фигуре.

Для индикации режима выбора определим в файле PainterView.h новый идентификатор операции:

```
#define OP_SELECT   10
```

В классе `CPainterDoc` (файл PainterDoc.h) заведем переменную, в которой будем сохранять адрес выбранного объекта-фигуры:

```
// Указатель на выбранную фигуру
CBasePoint* m_pSelShape;
```

А также добавим в классе `CPainterDoc` новый метод:

```
// Выбор активной фигуры
CBasePoint* SelectShape(CPoint point);
```

Реализация метода приведена ниже (листинг 6.1).

Листинг 6.1. Метод `CPainterDoc::SelectShape()`. Файл PainterDoc.cpp

```
CBasePoint* CPainterDoc::SelectShape(CPoint point)
{
   // Объект-область
   CRgn Rgn;
   // Указатель на элемент списка
   POSITION pos=NULL;
   // Начиная с "хвоста" списка
   if(m_ShapesList.GetCount()>0) pos=m_ShapesList.GetTailPosition();
   // Проверим, попадает ли точка point в какую-либо из фигур
   while(pos!=NULL)
   {
       m_pSelShape =m_ShapesList.GetPrev(pos);
       // Очистим объект—область
       Rgn.DeleteObject();
       m_pSelShape->GetRegion(Rgn);
       // Точка попадает в фигуру — возвращаем указатель на фигуру
       if(Rgn.PtInRegion(point)) return m_pSelShape;
   }
```

```
   // Если добрались до этого места, значит не попали ни в какую фигуру
   return (m_pSelShape=NULL);
};
```

В качестве параметра в этот метод передаются координаты щелчка мыши. Далее для всех объектов списка вызывается метод `GetRegion()`, которому в качестве аргумента передается ссылка на объект класса `CRgn`. Каждый объект-фигура в своем методе `GetRegion()` конструирует область, соответствующую размеру и очертаниям фигуры на экране. Затем вызывается метод `PtInRegion()` класса `CRgn`, позволяющий определить, принадлежит ли точка области. Поиск происходит до тех пор, пока не найдется фигура, в которую попадает точка, или пока не кончится список объектов. Если произошло попадание в фигуру, то адрес объекта запоминается в переменной `m_pSelShape`, и поиск прекращается. Если же точка не попадает ни в одну фигуру, переменной `m_pSelShape` присваивается `NULL`. Обратите внимание, поиск происходит с конца списка. Это связано с тем, что в методе `CPainterView::OnDraw()` объекты-фигуры выводятся на экран с начала списка, поэтому в случае перекрытия фигур "верхней" фигурой будет тот объект, который ближе к концу списка.

Для того чтобы пользователь мог перевести программу в режим выбора, добавим команду **Select** в меню **Edit**, а в класс `CPainterView` добавим функцию-обработчик этой команды (листинг 6.2).

Листинг 6.2. Функция-обработчик команды `Edit-Select`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnEditSelect()
{
   m_CurOper=OP_SELECT;
}
```

Все что происходит в этой функции — это присвоение переменной `m_CurOper` значения `OP_SELECT`. В конструкцию `switch-case` в методе-обработчике щелчка мыши добавим соответствующую реакцию (см. также листинг 6.8):

```
switch(m_CurOper)
{
…
   case OP_SELECT:
      pDoc->SelectShape(LogPoint)
      // Указываем, что окно надо перерисовать
      Invalidate();
   break;
}
```

Вот и все, что потребовалось для реализации операции выбора фигуры. По умолчанию последняя нарисованная фигура будет считаться выделенной, т. е. при добавлении объекта-фигуры в список фигур, переменной `m_pSelShape` будем присваивать адрес этого объекта.

6.2. Маркировка активной фигуры

После того, как пользователь сделал свой выбор, программа должна каким-то образом продемонстрировать свою готовность к дальнейшим действиям. Обычно выбранная фигура как-то помечается. Например, появляется рамка вокруг фигуры, или обводятся ее контуры. В нашей программе для выделения активной фигуры будем инвертировать цвета изображения в области, занимаемой фигурой. Для этого создадим специальный метод `MarkSelectedShape()` в классе `CPainterView` (листинг 6.3).

Листинг 6.3. Метод `CPainterView::MarkSelectedShape()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::MarkSelectedShape(CDC *pDC){   CPainterDoc
*pDoc=GetDocument();
   CRgn Rgn;
   if(pDoc->m_pSelShape==NULL) return;
   pDoc->m_pSelShape->GetRegion(Rgn);
   // Пробуем получить прямоугольник, описывающий фигуру
   CRect Rect;
   int res=Rgn.GetRgnBox(&Rect);
   if(res!=ERROR && res!=NULLREGION)
   pDC->InvertRect(&Rect);
}
```

В этом методе сначала проверяется наличие активной фигуры. Затем определяется область, занимаемая фигурой. С помощью метода `GetRgnBox()` класса `CRgn` определяются координаты прямоугольника, охватывающего фигуру. Полученный прямоугольник передается в метод `InvertRect()` класса `CDC`, который инвертирует цвета указанной области экрана. Данный метод вызывается в функции `OnDraw()`, в случае, если программа находится в режиме выбора:

```
// Выделяем активную фигуру
if(m_CurOper==OP_SELECT)   MarkSelectedShape(pDC);
```

Результат работы метода показан на рис. 6.1 и 6.2.

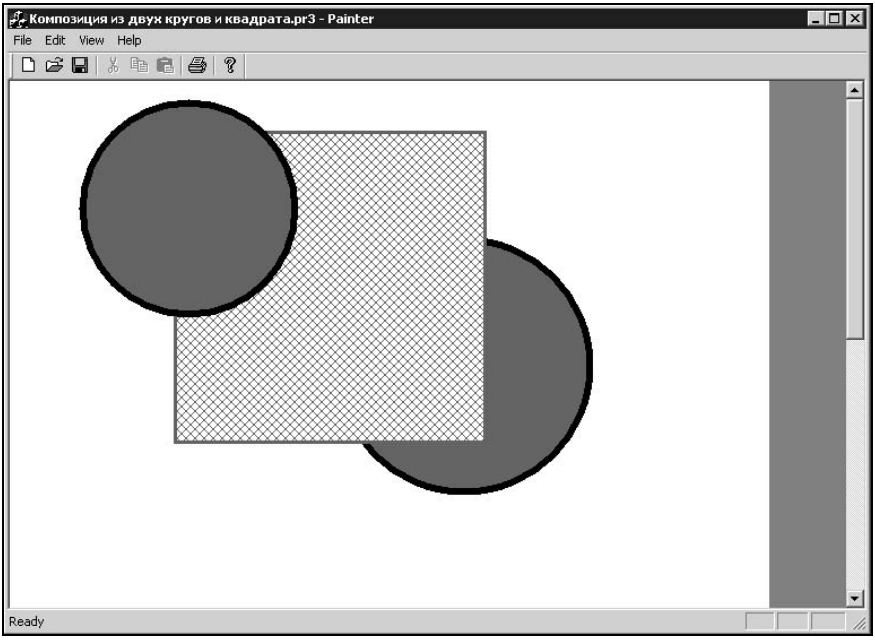


Рис. 6.1. Изображение до выполнения операции выбора

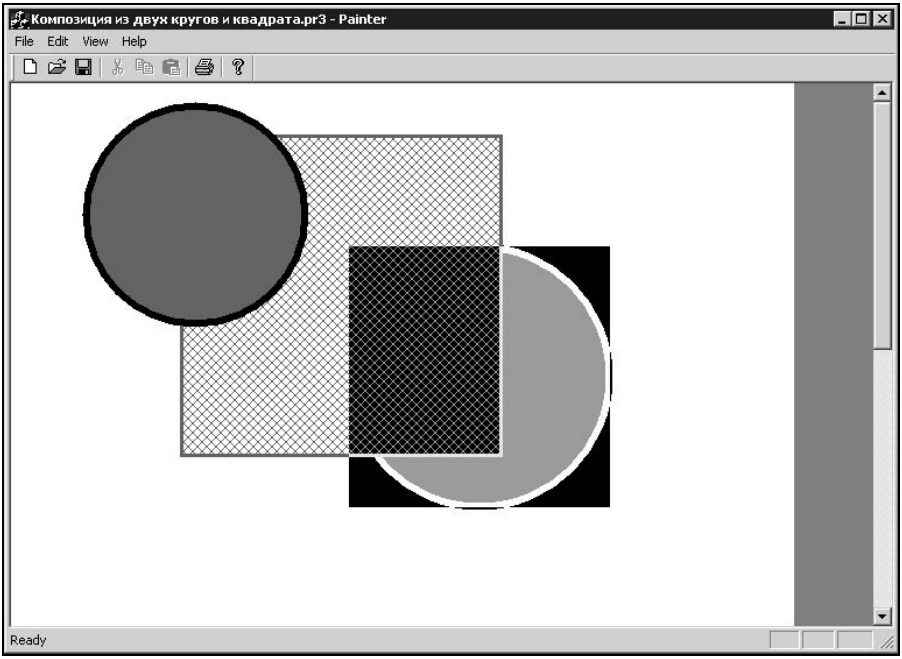


Рис. 6.2. Активная фигура на рисунке выделена инверсным цветом

6.3. Рисование полигональных фигур

Для рисования полигональных фигур заведем новый класс `CPolygon`, производный от `CBasePoint`. Особенностью этого класса является то, что в нем будут храниться координаты точек — вершин полигона. При этом координаты записаны в объектах класса `CPoint`, а сами объекты-точки хранятся в динамическом массиве — объекте класса `CArray`. Класс `CArray` принадлежит к группе классов MFC, обеспечивающих работу с *набором* (collection) элементов. Мы уже использовали ранее классы наборов `CTypedPtrList` и `CObList` для хранения указателей на объекты-фигуры в классе `CPainterDoc`. Класс `CArray` обеспечивает хранение элементов в виде массива. Замечательной особенностью такого массива является возможность динамического изменения его размера. Интерфейс класса `CPolygon` приведен в листинге 6.4.

Листинг 6.4. Интерфейс класса `CPolygon`. Файл Shapes.h

```
////////////////////////////////////////////////
//Класс полигон
class CPolygon: public CBasePoint
{
   DECLARE_SERIAL(CPolygon)
// Режим рисования TRUE — заполненный полигон, FALSE — ломаная линия
   BOOL   m_bPolygon;
protected:
   // Метод сериализации
   void Serialize(CArchive& ar);
public:
   CArray <CPoint, CPoint> m_PointsArray;

   // Конструкторы
   CPolygon();
   ~CPolygon();
// Методы
   // Отображает фигуру на экране
   void Show(CDC *pDC);
   // Сообщает область захвата
   void GetRegion(CRgn &Rgn);
   // Устанавливает режим рисования полигона
   void SetPolygon(BOOL p) {m_bPolygon=p;};
   // Выполняет преобразование на плоскости
```

```
   void Transform(const CPoint &point0,
                        double ang, int a, int b);
};
```

Кроме массива точек в класс `CPolygon` введена переменная-флаг `m_bPolygon` типа `BOOL`, назначение которой — сигнализировать о том, надо ли заполнять полигон или нет. В зависимости от состояния этой переменной полигон будет рисоваться с помощью различных методов класса `CDC`. Таким образом, с помощью объектов класса `CPolygon` мы можем полностью заменить не очень "красивую" реализацию рисования ломаных в программе Painter версии 1. Реализация методов класса `CPolygon` приведена в листинге 6.5. Обратите внимание на функцию `CPolygon::Serialize()`: нам требуется обеспечить сохранение и загрузку лишь переменной `m_bPolygon`, сериализация же координат точек выполняется объектом-массивом — мы просто вызываем его метод `Serialize()`.

Листинг 6.5. Реализация методов класса `CPolygon`. Файл Shapes.h

```
////////////////////////////////////////
// Реализация методов класса CPolygon

CPolygon::CPolygon(): CBasePoint()
{
   m_wSize=0;
   m_bPolygon=FALSE;
}

CPolygon::~CPolygon()
{
   m_PointsArray.RemoveAll( );
}

IMPLEMENT_SERIAL(CPolygon, CObject, 1)
void CPolygon::Serialize(CArchive &ar)
{
   if(ar.IsStoring()) // сохранение
   {
       // Сохраняем параметры объекта
       ar<<m_bPolygon;
   }
   else   // чтение
```

```
   {
      // Получили версию формата
      int Version=ar.GetObjectSchema();
      // В зависимости от версии
      // можно выполнить различные варианты загрузки
      // Загружаем параметры объекта
      ar>>m_bPolygon;
   }
   m_PointsArray.Serialize(ar);
   CBasePoint::Serialize(ar);
}
void CPolygon::Show(CDC* pDC)
{
   // Устанавливаем перо и кисть
   PrepareDC(pDC);
   // Рисуем
   if(m_bPolygon)
      pDC->Polygon(m_PointsArray.GetData(), m_PointsArray.GetSize());
   else
      pDC->Polyline( m_PointsArray.GetData(), m_PointsArray.GetSize());
   // Восстанавливаем контекст
   RestoreDC(pDC);
}

void CPolygon::GetRegion(CRgn &Rgn)
{
   Rgn. CreatePolygonRgn(m_PointsArray.GetData(),
m_PointsArray.GetSize(), ALTERNATE);
}

void CPolygon::Transform(const CPoint &point0, double ang, int a, int b)
{
   for(int i=0; i<m_PointsArray.GetSize(); i++)
      m_PointsArray[i]=::Transform(m_PointsArray[i],
      m_PointsArray[0], ang, a, b);
};
```

Для того чтобы пользователь мог инициировать операцию рисования полигона, в меню программы добавим команды **Edit | Add Shape | Polyline** и **Edit | Add Shape | Polygon**, а в класс `CPainterView` — обработчики этих команд

(листинг 6.6). Функции-обработчики отличаются лишь тем, что при создании заполненного полигона устанавливаются флаг `m_bPolygon` и цвет заливки.

Листинг 6.6. Обработчики команд создания фигур-полигонов

```
void CPainterView::OnEditAddshapePolyline()
{
   CBasePoint *pShape=new CPolygon;
   // Черная линия шириной 0.5 мм
   pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Добавляем в конец списка
   pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
   // Последняя фигура становится активной
   pDoc->m_pSelShape=pShape;
   // Указываем, что документ изменен
   pDoc->SetModifiedFlag();
   m_CurOper=OP_LINE;
}

void CPainterView::OnEditAddshapePolygon()
{
   CBasePoint *pShape=new CPolygon;
   // Темно-зеленая заливка
   pShape->SetBrush(RGB(0,100,0));
   // Черная линия шириной 0.5 мм
   pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);
   // Так как pShape указатель на CBasePoint,
   // а метод SetPolygon() имеется только у класса CPolygon,
   // требуется преобразование типа указателя
   ((CPolygon*)pShape)->SetPolygon(TRUE);
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Добавляем в конец списка
   pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
   // Последняя фигура становится активной
   pDoc->m_pSelShape=pShape;
   // Указываем, что документ изменен
   pDoc->SetModifiedFlag();
   m_CurOper=OP_LINE;
}
```

В этих функциях динамически создаются и добавляются в список объектов-фигур объекты класса CPolygon, и устанавливается текущая операция — рисование полигона (m_CurOper=OP_LINE). Точки-вершины будут добавляться в полигон при обработке нажатия левой клавиши мыши (см. листинг 6.8). Завершаться же операция рисования полигона будет двойным щелчком левой клавиши мыши. Для этого в класс CPainterView добавим обработчик сообщения WM_LBUTTONDBLCLK (листинг 6.7).

Листинг 6.7. Функция-обработчик сообщения WM_LBUTTONDBLCLK. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnLButtonDblClk(UINT nFlags, CPoint point)
{
   switch(m_CurOper)
   {
       case OP_LINE:
          m_CurOper=OP_NOOPER;
       break;
   }
   CScrollView::OnLButtonDblClk(nFlags, point);
}
```

6.4. Рисование фигур произвольных размеров

Введение класса CPolygon позволяет по-другому организовать обработку щелчка левой клавишей мыши. В предыдущей версии программы вся обработка щелчка происходила в функции CPainterView::OnLButtonDown(), текст которой был приведен в листинге 4.19. Если текущей операцией являлось рисование прямых (case OP_LINE), то координаты точки сохранялись в статическом массиве объекта-документа, а в случае других операций в точке щелчка рисовалась фигура фиксированного размера. Изменим обработку нажатия щелчка мыши. Теперь будем различать события "нажата левая клавиша мыши" (WM_LBUTTONDOWN) и "отпущена левая клавиша мыши" (WM_LBUTTONUP). При нажатии мыши будем запоминать начальную точку операции. Если текущая операция "рисование полигона" (case OP_LINE), то нужно добавлять точку в массив вершин полигона. В других случаях больше никаких действий не предпринимать и ждать, когда пользователь отпустит мышку. Пользователь же сдвинет (перетащит) мышку в новую позицию при нажатой кнопке и только потом ее отпустит. Программа при обработке сообщения WM_LBUTTONUP запомнит конечную точку операции и в случае рисования фигур вызовет функцию CPainterView::AddShape() с начальной и конечной точками в качестве параметров. Функцию AddShape()

тоже немножко изменим. Как вы уже наверное догадались, теперь функция `AddShape()` будет устанавливать размер фигур в зависимости от значений координат начальной и конечной точек (листинг 6.8).

Листинг 6.8. Функции обработки сообщений мыши, обеспечивающие рисование фигур произвольных размеров. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CPoint       LogPoint=point;
   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства
   OnPrepareDC(pDC);
   // Переведем физические координаты точки в логические
   pDC->DPtoLP(&LogPoint);
   // Освободим контекст устройства
   ReleaseDC(pDC);
   // Запоминаем точку
   m_CurMovePoint=m_FirstPoint=LogPoint;
   switch(m_CurOper)
   {
       case OP_LINE:
       // Последним в списке должен быть полигон
       ((CPolygon*)pDoc->m_ShapesList.GetTail())↵
        ->m_PointsArray.Add(LogPoint);
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
       break;
   }
   // Даем возможность стандартному обработчику
   // тоже поработать над этим сообщением
   CScrollView::OnLButtonDown(nFlags, point);
}
void CPainterView::OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
```

```
    CPoint      LogPoint=point;
    // Получим контекст устройства, на котором рисуем
    CDC *pDC=GetDC();
    // Подготовим контекст устройства метод базового класса
    OnPrepareDC(pDC);
    // Переведем физические координаты точки в логические
    pDC->DPtoLP(&LogPoint);
    // Освободим контекст устройства
    ReleaseDC(pDC);
    switch(m_CurOper)
    {
        case OP_POINT:
        case OP_CIRCLE:
        case OP_SQUARE:
           AddShape(m_CurOper, m_FirstPoint, LogPoint);
           // Указываем, что окно надо перерисовать
           Invalidate();
        break;
        case OP_SELECT:
           pDoc->SelectShape(LogPoint);
           // Указываем, что окно надо перерисовать
        Invalidate();
        break;
    }

    // Даем возможность стандартному обработчику
    // тоже поработать над этим сообщением
    CScrollView::OnLButtonUp(nFlags, point);
}

void CPainterView::AddShape(int shape, CPoint first_point, CPoint
second_point)
{
    CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
    CBasePoint *pShape=NULL;
    // Расчет размера
    int size=0;
    size=(int) floor( sqrt((second_point.x-first_point.x)*
                           (second_point.x-first_point.x)+
```

```
                        (second_point.y-first_point.y)*
                        (second_point.y-first_point.y)) +0.5);
    switch(shape)
    {
        case OP_LINE:
        break;
        case OP_POINT:
           // Создаем объект — точку
           pShape=new CBasePoint(second_point.x, second_point.y, 100);
           // Светло-серая заливка
           pShape->SetBrush(RGB(200,200,200));
        break;
        case OP_CIRCLE:
           // Создаем объект — круг
           pShape=new CBasePoint(first_point.x, first_point.y, size);
           // Черная линия шириной 2 мм
           pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 200, PS_GEOMETRIC);
           // Темно-серая заливка
           pShape->SetBrush(RGB(100,100,100));
        break;
        case OP_SQUARE:
           // Создаем объект — квадрат
           pShape=new CSquare(first_point.x, first_point.y, size*2);
           // Красная линия шириной 1 мм
           pShape->SetPen(RGB(200,0,0), 100, PS_GEOMETRIC);
           // Темно-серая диагональная штриховка
           pShape->SetBrush(RGB(100,100,100),0,HS_DIAGCROSS);
        break;
    }
    if(pShape!=NULL) // Создали фигуру
    {
        // Добавляем в конец списка
        pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
        // Последняя фигура становится активной
        pDoc->m_pSelShape=pShape;
        // Указываем, что документ изменен
        pDoc->SetModifiedFlag();
    }
}
```

Используя новые возможности, мы теперь запросто сможем рисовать замечательные по своей художественной ценности произведения (рис. 6.3).

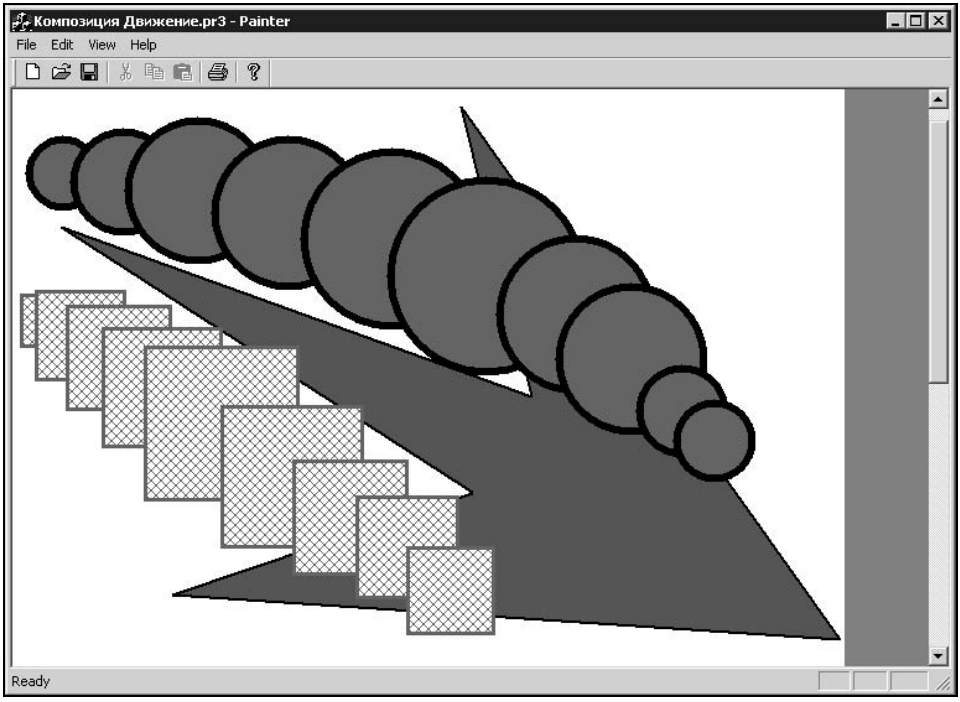


Рис. 6.3. Рисование фигур произвольных размеров

6.5. Рисование инверсным цветом

Многие операции по изменению изображений требуют вывода поверх картинки разного рода вспомогательных линий. Например, в процессе выполнения выбора части рисунка, во многих графических редакторах выделяемая область обозначается рамкой (рис. 6.4). Для того чтобы линия, нарисованная поверх какого-то другого изображения, была видна на любом фоне, применяют прием, называемый инверсией цвета. Прием заключается в том, что рисование производится цветом, обратным цвету пикселов экрана. Например, если пиксел экрана имеет цвет RGB (15, 233, 112), тогда новый цвет будет RBG (255-15, 255-233, 255-112). Таким образом, по белому фону будет нарисована черная линия, по черному — белая.

Рисование инверсным цветом имеет два основных достоинства:

- Обеспечивает видимость выводимых рисунков в большинстве случаев, исключение — серый фон RGB (127, 127, 127).

- Повторный вывод рисунка на то же место полностью восстанавливает исходное изображение.

Рис. 6.4. Выделение области с помощью рамки

В нашем случае данный прием можно использовать для того, чтобы показать, на какое расстояние пользователь перетащил мышку при нажатой левой кнопке. Будем просто соединять прямой линией начальную точку операции и текущую точку, в которой находится мышка. Для этого заведем специальную функцию (листинг 6.9).

Листинг 6.9. Рисование отрезка прямой инверсным цветом

```
void CPainterView::DrawMoveLine(CPoint first_point, CPoint second_point)
{
   // Получим доступ к контексту устройства
   CClientDC dc(this);
   // Подготовим контекст устройства
   OnPrepareDC(&dc);
   // Установим режим рисования инверсным цветом
   int OldMode=dc.SetROP2(R2_NOT);
   // Рисуем прямую между двумя точками
   dc.MoveTo(first_point);   dc.LineTo(second_point);
   // Восстанавливаем прежний режим рисования
   dc.SetROP2(OldMode);
}
```

В функции DrawMoveLine() режим рисования инверсным цветом устанавливается методом SetROP2() класса CDC. Кроме инверсного режима рисования, с помощью этого метода можно установить и большое число других способов взаимодействия цвета выводимых рисунков с уже "закрашенными" пикселами экрана.

Различные режимы рисования представляют собой бинарные растровые операции, являющиеся всевозможными Булевыми комбинациями двух переменных с использованием бинарных операторов AND, OR, XOR и NOT. Про режимы рисования можно почитать в MSDN, они хорошо описаны также в книгах [7, 16].

Обратите внимание, в этой функции использован другой способ получения доступа к контексту устройства. Раньше в случае такой надобности мы вызывали функцию GetDC(), а затем ReleaseDC(), например, в функции OnLButtonUp(). С помощью же класса CClientDC мы можем получить доступ к дескриптору клиентской части окна, связанного с объектом-обликом, указатель на который передается конструктору в качестве аргумента. Конструктор объекта класса CClientDC вызывает GetDC(), а деструктор ReleaseDC(). Поэтому вызывать их явно не надо.

Для того чтобы линия у нас постоянно отслеживала перемещения курсора, добавим в класс CPainterView функцию обработчик сообщения WM_MOUSEMOVE (листинг 6.10).

Листинг 6.10. Метод CPainterView::OnMouseMove(). Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CPoint   LogPoint=point;
   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства метод базового класса
   OnPrepareDC(pDC);
   // Переведем физические координаты точки в логические
   pDC->DPtoLP(&LogPoint);
   // Освободим контекст устройства
   ReleaseDC(pDC);
   switch(m_CurOper)
   {
       case OP_LINE:
```

```
            if(((CPolygon*)pDoc->m_ShapesList.GetTail())->
                                    m_PointsArray.GetSize()<=0) break;
            DrawMoveLine(m_FirstPoint, m_CurMovePoint);
            m_CurMovePoint=LogPoint;
            DrawMoveLine(m_FirstPoint, m_CurMovePoint);
         break;
         case OP_POINT:
         case OP_CIRCLE:
         case OP_SQUARE:
             if(nFlags==MK_LBUTTON)
                DrawMoveLine(m_FirstPoint, m_CurMovePoint);
             m_CurMovePoint=LogPoint;
             if(nFlags==MK_LBUTTON)
                DrawMoveLine(m_FirstPoint, m_CurMovePoint);
             break;
   }
   CScrollView::OnMouseMove(nFlags, point);
}
```

Эта функция отрабатывает сообщения о перемещении мыши. Внутри функции мы отрабатываем различные ситуации. Если пользователь рисует полигон, соединяем последнюю вершину полигона с точкой нахождения мыши. Если пользователь рисует какую-то фигуру, то соединяем точку начала операции с текущей точкой.

Обратите внимание, что рисование отрезка выполняется в два этапа. Сначала отрезок выводится на то место, где он был нарисован в прошлый раз. Затем рисуется на новом месте.

6.6. Реализация преобразований на плоскости

Использование систем уравнений (5.19) и (5.24), рассмотренных в *главе 5*, позволяет нам запрограммировать преобразования фигур на плоскости. Это будет коротенькая функция, которую целесообразно сделать глобальной. Назовем ее `Transform()`, прототип поместим в файл Global.h, а реализацию — в файл Global.cpp. Функция приведена в листинге 6.11.

Листинг 6.11. Функция `Transform()`. Файл Global.cpp

```
CPoint Transform(const CPoint &point,
                 const CPoint &point0, double ang, int a, int b)
```

```
{
   CPoint res;
   // Перевод в радианы
   ang=ang*atan(1.0)/45.0;
   res.x=(int)floor(point0.x+(point.x-point0.x)*cos(ang)-
                    (point.y-point0.y)*sin(ang)+a+0.5);
   res.y=(int)floor(point0.y+(point.x-point0.x)*sin(ang)+
                    (point.y-point0.y)*cos(ang)+b+0.5);
   return res;
};
```

Параметры функции:

- `point` — точка, над которой выполняется преобразование;
- `point0` — точка, вокруг которой выполняется операция поворота;
- `ang` — угол поворота в градусах;
- `a` — расстояние переноса по оси *X*;
- `b` — расстояние переноса по оси *Y*.

Возвращаемое значение — координаты преобразованной точки.

Для того чтобы объекты-фигуры определенных нами классов могли сами над собой выполнять заданное преобразование, включим в класс `CBasePoint` метод `Transform()`. Положение таких фигур, как "Точка", "Круг" и "Квадрат" задается единственной точкой, поэтому метод `Transform()` в классе `CBasePoint` отрабатывает только операцию переноса (листинг 6.12).

Листинг 6.12. Метод `CBasePoint::Transform()`. Файл Shapes.cpp

```
void CBasePoint::Transform(const CPoint &point0, double ang,
                           int a, int b)
{
   CPoint res=::Transform(CPoint(x, y), CPoint(0,0), 0, a, b);
   x=res.x; y=res.y;
};
```

Форма и положение фигуры "Полигон" определяются значениями координат его вершин. Поэтому для класса `CPolygon` метод `Transform()` переопределен таким образом, чтобы преобразование выполнялось над всеми его вершинами (листинг 6.13).

Листинг 6.13. Метод `CPolygon::Transform()`. Файл Shapes.cpp

```
void CPolygon::Transform(const CPoint &point0, double ang, int a, int b)
{
   for(int i=0; i<m_PointsArray.GetSize(); i++)
      m_PointsArray[i]=::Transform(m_PointsArray[i],
                                   m_PointsArray[0], ang, a, b);
};
```

Обратите внимание, в качестве точки, относительно которой выполняется поворот, передаются координаты начальной вершины полигона, а переданная как параметр точка `point0` игнорируется. В принципе можно использовать и точку `point0`, только тогда нужно предусмотреть в программе средства для ее задания.

6.7. Определение реакций на нажатие клавиш

Как мы уже отмечали, обычно редактирование изображений выполняется в два этапа:

1. Выделение фигуры или области рисунка (группы фигур).
2. Преобразования над выделенной частью рисунка.

Будем полагать, что у нас уже имеется выделенная фигура, и мы хотим выполнить над ней какое-либо двумерное преобразование. В "продвинутых" графических редакторах все множество преобразований, как правило, можно выполнить, виртуозно щелкая мышкой, при этом для ускорения многих операций широко используются сочетания "горячих" клавиш. У нас же редактор начинающий, поэтому мы не станем забивать себе голову хитрой обработкой щелчков мыши, а ограничимся определением реакций на нажатие клавиш. Пусть стрелки "вверх/вниз/влево/вправо" будут использоваться для выполнения операции переноса, а стрелки "влево/вправо" при нажатой клавише <Shift> — для операции поворота.

Как вы уже наверно заметили, в программировании, в противовес китайской пословице "тысячу способов узнать легко, одного результата добиться — трудно", часто множество путей ведут к достижению одной цели.

Обработку нажатий клавиш можно выполнять разными способами, отличающимися уровнем автоматизации.

Первый способ назначения "горячих" клавиш заключается в использовании таблицы акселераторов. Он применим для ускорения вызова команд меню. Таблица акселераторов создается генератором приложений и уже содержит

описание "горячих" клавиш для ряда стандартных команд. Чтобы определить комбинацию клавиш для какой-либо новой команды, достаточно дважды щелкнуть мышью на пустой строке таблицы, выбрать в появившемся диалоге идентификатор команды и назначить клавиши, которые станут "горячими" (рис. 6.5). В принципе, можно назначить "горячие" клавиши для идентификатора и не связанного с командой меню.

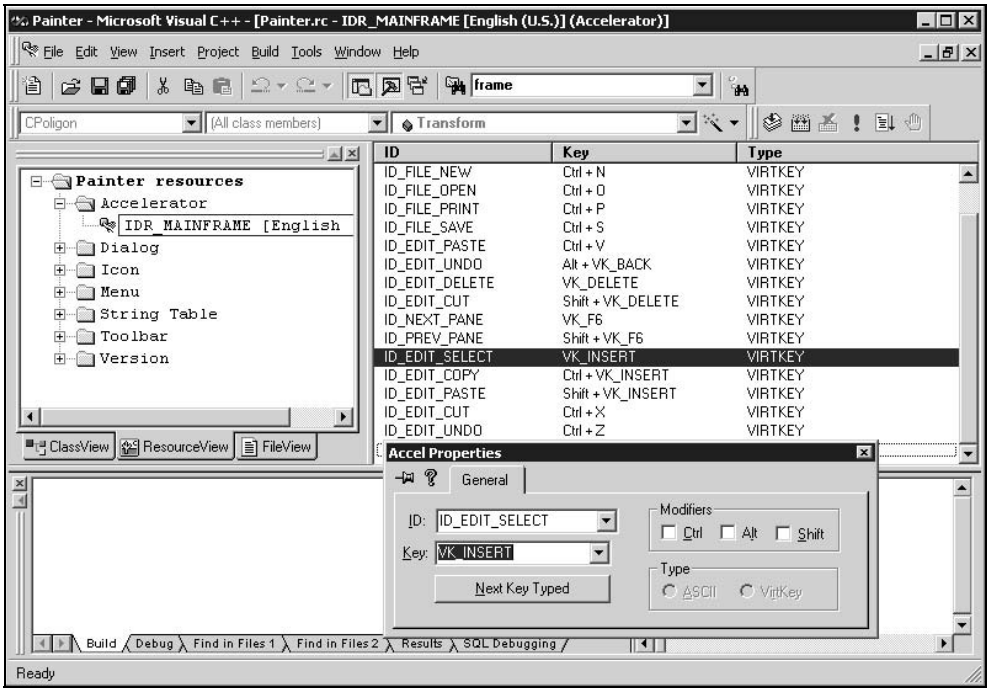


Рис. 6.5. Назначение клавиши <Insert> в качестве "горячей" для вызова команды **Edit | Select**

Другой способ заключается в определении функций-обработчиков сообщений `WM_KEYDOWN` и `WM_KEYUP` (напомню, что сделать это можно с помощью ClassWizard). Поскольку для преобразований мы не завели специальных команд меню, используем этот способ для определения реакций на нажатие клавиш. Обрабатывать сообщения поручим классу `CPainterView`, а реагировать на сообщения — классам самих фигур. Для этого добавим в класс `CPainterView` функции-обработчики сообщений: "нажали клавишу", "отпустили клавишу" (листинг 6.14). Задача обработчика в классе `CPainterView` — получить код нажатой клавиши и передать его методу `OnKeyDown` (листинг 6.15) выделенного объекта-фигуры.

Листинг 6.14. Функции-обработчики сообщений от клавиатуры. Файл CPainterView.cpp

```
void CPainterView::OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   BOOL modified=FALSE;
   UINT   nMyFlags=0;
   if(pDoc->m_pSelShape!=NULL)
   modified=pDoc->m_pSelShape->OnKeyDown(nChar, nRepCnt, nFlags,
                                                        m_nMyFlags);
   switch(nChar)
   {
       case 16: m_nMyFlags=m_nMyFlags|SHIFT_HOLD; break; // Shift
       case 17: m_nMyFlags=m_nMyFlags|CTRL_HOLD; break; // Ctrl
   }
   if(modified)
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
   }
   CScrollView::OnKeyDown(nChar, nRepCnt, nFlags);
}

void CPainterView::OnKeyUp(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)
{
   switch(nChar)
   {
       case 16: m_nMyFlags=m_nMyFlags^SHIFT_HOLD; break; // Shift
       case 17: m_nMyFlags=m_nMyFlags^CTRL_HOLD;  break; // Ctrl
 }
   CScrollView::OnKeyUp(nChar, nRepCnt, nFlags);
}
```

В методе `CPainterView::OnKeyDown()` выполняются следующие действия:

- вызывается метод `OnKeyDown()` для активной фигуры;
- обрабатывается код нажатой клавиши: если нажата клавиша <Shift> или <Ctrl>, устанавливаются соответствующие биты в переменной `CPainterView::m_nMyFlags`;
- сообщается о необходимости перерисовки окна.

В методе `CPainterView::OnKeyUp()` при отпускании клавиш <Shift> и <Ctrl> обнуляются соответствующие биты переменной `CPainterView::m_nMyFlags`.

Клавиша <Ctrl> у нас пока не задействована, но, возможно, она пригодится нам далее, поэтому ее состояние тоже отслеживаем.

Так как мы поручаем объекту-фигуре самому реагировать на нажатие клавиш, то мы должны определить соответствующий метод. Поскольку все наши классы фигур имеют общего предка — класс `CBasePoint`, то новый метод (назовем его `OnKeyDown`) целесообразно ввести в этот базовый класс (листинг 6.15). Таким образом, все наши фигуры автоматически "научатся" реагировать на нажатие клавиш.

Листинг 6.15. Метод `CBasePoint::OnKeyDown()`. Файл Shapes.cpp

```
BOOL CBasePoint::OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags,
                           UINT nMyFlags)
{
   BOOL res=TRUE;
   if(nMyFlags & SHIFT_HOLD) //поворот
   switch(nChar)
   {
       case 37:
          Transform(CPoint(0,0), -ROTATE_STEP, 0, 0);
          break;
       case 39:
          Transform(CPoint(0,0), ROTATE_STEP, 0, 0);
          break;
       default:
          res=FALSE;
   }
   else //перенос
   switch(nChar)
   {
       case 38: // вверх
          Transform(CPoint(0,0), 0, 0, MOVE_STEP);
          break;
       case 40: // вниз
          Transform(CPoint(0,0), 0, 0, -MOVE_STEP);
          break;
       case 37: // влево
          Transform(CPoint(0,0), 0, -MOVE_STEP, 0);
```

```
            break;
         case 39: // вправо
            Transform(CPoint(0,0), 0, MOVE_STEP, 0);
            break;
         default:
            res=FALSE;
   }
   return res;
}
```

В функции `OnKeyDown()` в зависимости от кода нажатой клавиши выбираются параметры, и вызывается метод `Transform()` выделенного объекта.

Обратите внимание, в метод `Transform()` передаются фиксированные значения переноса (`MOVE_STEP`) и поворота (`ROTATE_STEP`), определенные с помощью директивы `#define` в файле Shapes.h:

```
#define MOVE_STEP   100
#define ROTATE_STEP 5
```

Таким образом, каждое нажатие "горячей" клавиши влечет за собой либо перемещение объекта на 1 мм, либо поворот на 5 градусов.

Метод `CBasePoint::OnKeyDown()` возвращает значение `TRUE`, если состояние фигуры изменилось (нажание было обработано) или `FALSE`, если ничего не изменилось. Соответственно метод `CPainterView::OnKeyDown()` узнает, надо ли выполнять перерисовку.

6.8. Изменение порядка наложения фигур

Часто бывает полезным изменить порядок наложения фигур на рисунке. При нашей организации хранения объектов-фигур добавить такую возможность довольно легко. Достаточно менять местами адреса объектов в списке. Как правило, при изменении порядка наложения фигур ("уровня") на рисунке используют следующие команды.

- Переместить на самый верхний уровень. Так как вывод фигур происходит с начала списка, для выполнения этой команды нам надо переместить элемент списка с указателем на выделенную фигуру в самый конец списка. Тогда она будет выводиться последней поверх всех остальных фигур.
- Переместить на самый нижний уровень — достаточно переместить элемент списка с указателем на выделенную фигуру в самое начало списка.

- Переместить на уровень вверх — достаточно поменять местами элемент списка с указателем на выделенную фигуру со следующим элементом списка.
- Переместить на уровень вниз — достаточно поменять местами элемент списка с указателем на выделенную фигуру с предыдущим элементом списка.

Все эти операции реализуем в функции `ChangeOrder()`, которую сделаем методом класса `CPainterDoc` (листинг 6.16). В качестве параметра она принимает код команд, которые определим в файле PainterDoc.h:

```
#define TOP       0
#define BOTTOM    1
#define STEPUP    2
#define STEPDOWN  3
```

Листинг 6.16. Функция `CPainterDoc::ChangeOrder()`. Файл PainterDoc.cpp

```
BOOL CPainterDoc::ChangeOrder(int code)
{
   if(m_pSelShape==NULL) return FALSE;
   CBasePoint *pShape=NULL;
   // Указатель на элемент списка
   POSITION pos=NULL, pastpos=NULL;
   // Начнем поиск с "хвоста" списка
   if(m_ShapesList.GetCount()>0) pos=m_ShapesList.GetTailPosition();
   // Найдем позицию объекта в списке
   while(pos!=NULL)
   {
       if(m_pSelShape==m_ShapesList.GetAt(pos)) break;
       m_ShapesList.GetPrev(pos);
   }
   if(pos!=NULL) // Нашли элемент с указателем на выделенный объект
   switch(code)
   {
      case TOP:
         m_ShapesList.RemoveAt(pos);
         m_ShapesList.AddTail(m_pSelShape);
         break;
      case BOTTOM:
         m_ShapesList.RemoveAt(pos);
```

```
            m_ShapesList.AddHead(m_pSelShape);
            break;
        case STEPUP:
            pastpos=pos;
            m_ShapesList.GetNext(pos);
            if(pos!=NULL)
            {
                m_ShapesList.RemoveAt(pastpos);
                m_ShapesList.InsertAfter(pos, m_pSelShape);
            }
            break;
        case STEPDOWN:
            pastpos=pos;
            m_ShapesList.GetPrev(pos);
            if(pos!=NULL)
            {
                m_ShapesList.RemoveAt(pastpos);
                m_ShapesList.InsertBefore(pos, m_pSelShape);
            }
            break;
    }
    return TRUE;
};
```

Для того чтобы пользователь мог выполнить операции по изменению "уровня" выбранной фигуры, добавим в меню соответствующие команды (рис. 6.6).

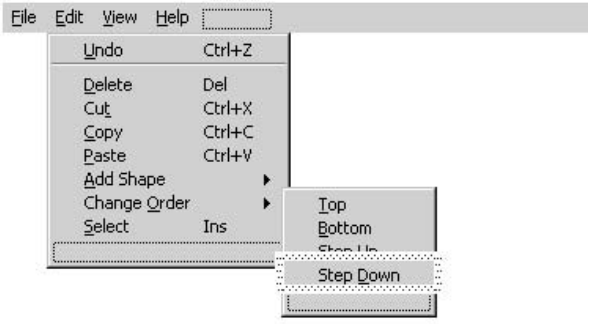


Рис. 6.6. Меню программы с добавленными командами изменения "уровня" выбранной фигуры

Функции-обработчики этих команд добавим в класс `CPainterView` (листинг 6.17).

Листинг 6.17. Функции-обработчики команд изменения "уровня" выбранной фигуры

```
void CPainterView::OnEditChangeorderTop()
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->ChangeOrder(TOP))
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
   }
}

void CPainterView::OnEditChangeorderStepup()
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->ChangeOrder(STEPUP))
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
   }
}

void CPainterView::OnEditChangeorderStepdown()
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->ChangeOrder(STEPDOWN))
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
```

```
    }
}

void CPainterView::OnEditChangeorderBottom()
{
    CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
    if(pDoc->ChangeOrder(BOTTOM))
    {
        // Указываем, что документ изменен
        pDoc->SetModifiedFlag();
        // Указываем, что окно надо перерисовать
        Invalidate();
    }
}
```

Результат применения команды "на уровень вверх" к выделенному кругу (см. рис. 6.2) приведен на рис. 6.7 — теперь круг рисуется поверх квадрата.

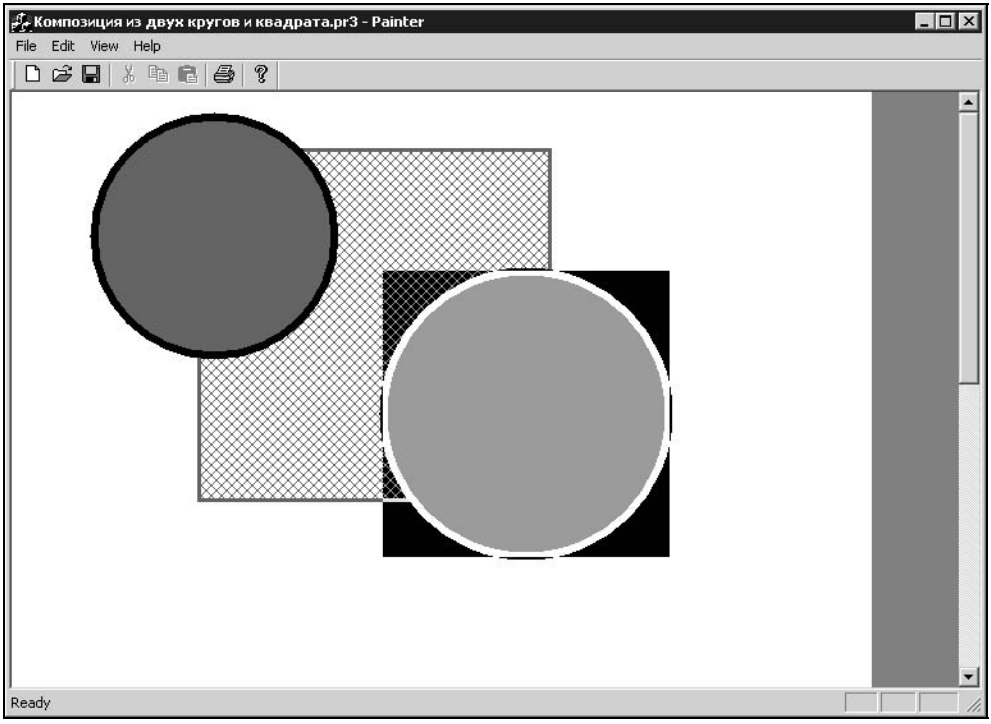


Рис. 6.7. Изменение уровня выделенного круга

6.9. Удаление фигур

Набор команд по редактированию должен обязательно включать команду удаления. Для реализации этой команды добавим в класс `CPainterDoc` метод `DeleteSelected()`, который будет удалять из списка выбранный объект-фигуру (листинг 6.18).

Листинг 6.18. Метод `CPainterDoc::DeleteSelected()`. Файл PainterDoc.cpp

```
BOOL CPainterDoc::DeleteSelected()
{
   if(m_pSelShape==NULL) return FALSE;
   CBasePoint *pShape=NULL;
   // Указатель на элемент списка
   POSITION pos=NULL, pastpos=NULL;
   // Начиная с "хвоста" списка
   if(m_ShapesList.GetCount()>0) pos=m_ShapesList.GetTailPosition();
   // Найдем позицию объекта в списке
   while(pos!=NULL)
   {
       if(m_pSelShape==m_ShapesList.GetAt(pos)) break;
       m_ShapesList.GetPrev(pos);
   }
   if(pos!=NULL) // Нашли его позицию
   {
       m_ShapesList.RemoveAt(pos);
       delete m_pSelShape;
       m_pSelShape=NULL;
       return TRUE;
   }
   return FALSE;
};
```

Вызов этого метода будет осуществляться из функции-обработчика `CPainterView::OnEditDelete()`, команды **Delete**, которую добавим в меню **Edit** программы (листинг 6.19).

Листинг 6.19. Функция `CPainterView::OnEditDelete()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnEditDelete()
{
```

```
    // TODO: Add your command handler code here
    CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
    if(pDoc->DeleteSelected())
    {
        // Указываем, что документ изменен
        pDoc->SetModifiedFlag();
        // Указываем, что окно надо перерисовать
        Invalidate();
    }
}
```

Обратите внимание, удаление элемента, хранящего указатель на объект-фигуру, из списка фигур, конечно, приведет к тому, что фигура не будет присутствовать на рисунке, однако, чтобы предотвратить утечку памяти, мы также удаляем и сам объект-фигуру (см. листинг 6.18).

6.10. Преобразование формата

Так как мы ликвидировали в нашем объекте-документе массив точек, который ранее использовался для хранения полигонов, процедура сохранения рисунков будет выглядеть иначе, чем в предыдущей версии программы. Поэтому мы должны организовать загрузку таким образом, чтобы ранее созданные рисунки читались верно. Для того чтобы различать версии программ, у нас имеется идентификатор формата. Теперь, когда у нас есть специальный класс для описания полигональных фигур, мы можем использовать его, для того чтобы загрузить в него данные, ранее хранившиеся в статическом массиве (листинг 6.20).

Листинг 6.20. Функция `CPainterDoc::Serialize()`. Файл PainterDoc.cpp

```
void CPainterDoc::Serialize(CArchive& ar)
{
    CString version;
    // Количество точек
    WORD Index=0, i=0, version_n=0;
    CPoint point;

    CBasePoint *pPolygon=NULL;
    if (ar.IsStoring()) // Сохраняем
    {
        // версию формата наших рисунков
```

```
    version_n=3;
    version.Format("pr%d", version_n);
    ar << version;
    // Режим отображения
    ar << m_wMap_Mode;
    // Размер листа
    ar << m_wSheet_Width;
    ar << m_wSheet_Height;
}
else // Загружаем
{
    // Версию формата
    ar >> version;
    version_n=atoi((LPCTSTR)version.Right(1));
    switch(version_n) // В зависимости от версии формата
    {
        case 2:
           pPolygon=new CPolygon;
           pPolygon->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);
           ar >> Index;
           // Загружаем значения координат точек
           for(i=0; i<Index; i++)
           {
               ar >> point;
               ((CPolygon*)pPolygon)->m_PointsArray.Add(point);
           }
        case 3:
           // Режим отображения
           ar >> m_wMap_Mode;
           // Размер листа
           ar >> m_wSheet_Width;
           ar >> m_wSheet_Height;
           break;
        default:
           AfxMessageBox("Неизвестный формат", MB_OK);
           return;
    }//switch(version)
}

// Выполняем сериализацию списка фигур
```

```
    m_ShapesList.Serialize(ar);
    // Добавляем объект-полигон в "голову" списка
    if(pPolygon!=NULL)
       m_ShapesList.AddHead(pPolygon);
}
```

6.11. Листинг программы

В программу было внесено большое количество изменений, поэтому не лишним будет привести текст основных файлов полностью:

- PainterDoc.h — содержит интерфейс класса документа приложения;
- PainterDoc.cpp — содержит реализацию методов класса документа приложения;
- PainterView.h — содержит интерфейс класса облика приложения;
- PainterView.cpp — содержит реализацию методов класса облика приложения;
- Shapes.h — содержит интерфейсы классов, описывающих различные фигуры;
- Shapes.cpp — содержит реализацию методов классов, интерфейсы которых описаны в Shapes.h;
- Global.h — содержит описание прототипов глобальных функций приложения;
- Global.cpp — содержит реализацию глобальных функций приложения.

6.11.1. Файл PainterDoc.h

```
// PainterDoc.h : interface of the CPainterDoc class
//
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

#if !defined(AFX_PAINTERDOC_H__F8B9924B_79CF_11D5_BB4A↵
_20804AC10000__INCLUDED_)
#define AFX_PAINTERDOC_H__F8B9924B_79CF_11D5_BB4A_20804AC10000__INCLUDED_

#if _MSC_VER > 1000
#pragma once
#endif // _MSC_VER > 1000


#define TOP       0
```

```
#define BOTTOM    1
#define STEPUP    2
#define STEPDOWN  3

class CBasePoint;
class CPainterDoc : public CDocument
{
protected:
   CPainterDoc();
   DECLARE_DYNCREATE(CPainterDoc)

// Данные
public:
   // Ширина листа
   WORD m_wSheet_Width;
   // Высота листа
   WORD m_wSheet_Height;
   // Режим отображения
   WORD m_wMap_Mode;

   // Список указателей на объекты-фигуры
   CTypedPtrList<CObList, CBasePoint*> m_ShapesList;
   // Указатель на выбранную фигуру
   CBasePoint* m_pSelShape;

// Методы
public:
   // Очистка списка объектов
   void ClearShapesList();
   // Выбор активной фигуры
   CBasePoint* SelectShape(CPoint point);
   // Изменение порядка следования активной фигуры в списке фигур
   BOOL ChangeOrder(int code);
   // Удалить выделенную фигуру
   BOOL DeleteSelected();

// Overrides
   // ClassWizard generated virtual function overrides
   //{{AFX_VIRTUAL(CPainterDoc)
```

```
   public:
   virtual BOOL OnNewDocument();
   virtual void Serialize(CArchive& ar);
   //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
public:
   virtual ~CPainterDoc();
#ifdef _DEBUG
   virtual void AssertValid() const;
   virtual void Dump(CDumpContext& dc) const;
#endif

protected:

// Generated message map functions
protected:
   //{{AFX_MSG(CPainterDoc)
   afx_msg void OnFilePageproperty();
   //}}AFX_MSG
   DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

//{{AFX_INSERT_LOCATION}}
// Microsoft Visual C++ will insert additional declarations immediately
before the previous line.

#endif // !defined(AFX_PAINTERDOC_H__F8B9924B_79CF_11D5_BB4A↳
_20804AC10000__INCLUDED_)
```

6.11.2. Файл PainterDoc.cpp

```
// PainterDoc.cpp : implementation of the CPainterDoc class
//

#include "stdafx.h"
#include "Painter.h"

#include "PainterDoc.h"
```

```
#include "PainterView.h"
#include "PagePropertyDlg.h"
#include "Shapes.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterDoc

IMPLEMENT_DYNCREATE(CPainterDoc, CDocument)

BEGIN_MESSAGE_MAP(CPainterDoc, CDocument)
   //{{AFX_MSG_MAP(CPainterDoc)
   ON_COMMAND(ID_FILE_PAGEPROPERTY, OnFilePageproperty)
   //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterDoc construction/destruction

CPainterDoc::CPainterDoc()
{
   // Режим отображения 1 лог. ед. = 0.01 мм
   m_wMap_Mode = MM_HIMETRIC;
   // Размер листа формата A4
   m_wSheet_Width = 21000;
   m_wSheet_Height = 29700;
   // Нет выбранной фигуры
   m_pSelShape=NULL;
}

CPainterDoc::~CPainterDoc()
{
   // Очистили список фигур
   ClearShapesList();
```

```
}

BOOL CPainterDoc::OnNewDocument()
{
   if (!CDocument::OnNewDocument())
      return FALSE;

   // TODO: add reinitialization code here
   // (SDI documents will reuse this document)
   // Нет выбранной фигуры
    m_pSelShape=NULL;
   // Очистили список фигур
   ClearShapesList();
   // Перерисовали
   UpdateAllViews(NULL);
   return TRUE;
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterDoc serialization

void CPainterDoc::Serialize(CArchive& ar)
{
   CString version;
   // Количество точек
   WORD Index=0, i=0, version_n=0;
   CPoint point;

   CBasePoint *pPolygon=NULL;
   if (ar.IsStoring()) // Сохраняем
   {
       // Версию формата наших рисунков
       version_n=3;
       version.Format("pr%d", version_n);
       ar << version;
       // Режим отображения
       ar << m_wMap_Mode;
       // Размер листа
       ar << m_wSheet_Width;
```

```
        ar << m_wSheet_Height;
    }
    else // Загружаем
    {
        // версию формата
        ar >> version;
        version_n=atoi((LPCTSTR)version.Right(1));
        switch(version_n) // В зависимости от версии формата
        {
            case 2:
               pPolygon=new CPolygon;
               pPolygon->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);
               ar >> Index;
               // Загружаем значения координат точек
               for(i=0; i<Index; i++)
               {
                   ar >> point;
                   ((CPolygon*)pPolygon)->m_PointsArray.Add(point);
               }
            case 3:
               // Режим отображения
               ar >> m_wMap_Mode;
               // Размер листа
               ar >> m_wSheet_Width;
               ar >> m_wSheet_Height;
               break;
            default:
               AfxMessageBox("Неизвестный формат", MB_OK);
               return;
        }//switch(version)
    }
    // Выполняем сериализацию списка фигур
    m_ShapesList.Serialize(ar);
    // Добавляем объект-полигон в "голову" списка
    if(pPolygon!=NULL)
       m_ShapesList.AddHead(pPolygon);
}

//////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
// CPainterDoc diagnostics

#ifdef _DEBUG
void CPainterDoc::AssertValid() const
{
   CDocument::AssertValid();
}

void CPainterDoc::Dump(CDumpContext& dc) const
{
   CDocument::Dump(dc);
}
#endif //_DEBUG

////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterDoc commands

void CPainterDoc::OnFilePageproperty()
{
   // TODO: Add your command handler code here
   // Создаем объект — диалог свойств листа
   CPagePropertyDlg PPDlg;
   // Инициализируем параметры диалога текущими значениями
   // Делим на 100, т. к. в диалоге размеры в мм
   PPDlg.m_uWidth=m_wSheet_Width/100;
   PPDlg.m_uHeight=m_wSheet_Height/100;
   // Вызываем диалог
   if(PPDlg.DoModal()==IDOK)
   {   // Запоминаем новые значения
      // Умножаем на 100, т. к. 1 лог. ед. = 0.01 мм
      m_wSheet_Width=PPDlg.m_uWidth*100;
      m_wSheet_Height=PPDlg.m_uHeight*100;
      // Обновляем облик
      UpdateAllViews(NULL);
   }
}

void CPainterDoc::ClearShapesList()
{
```

```
    // Очистили список объектов
    POSITION pos=NULL;
    while(m_ShapesList.GetCount()>0) // пока в списке есть фигуры
    delete m_ShapesList.RemoveHead();// удаляем первую из них
}

CBasePoint* CPainterDoc::SelectShape(CPoint point)
{
    // Объект-область
    CRgn Rgn;
   // Указатель на элемент списка
   POSITION pos=NULL;
   // Начиная с "хвоста" списка
   if(m_ShapesList.GetCount()>0) pos=m_ShapesList.GetTailPosition();
   // Проверим, попадает ли точка point в какую-либо из фигур
   while(pos!=NULL)
   {
       m_pSelShape=m_ShapesList.GetPrev(pos);
       // Очистим объект—область
       Rgn.DeleteObject();
       m_pSelShape->GetRegion(Rgn);
       // Точка попадает в фигуру — возвращаем указатель на фигуру
       if(Rgn.PtInRegion(point) ) return m_pSelShape;
   }
   // Если добрались до этого места, значит, не попали ни в какую фигуру
   return (m_pSelShape=NULL);
};

BOOL CPainterDoc::ChangeOrder(int code)
{
   if(m_pSelShape==NULL) return FALSE;
   CBasePoint *pShape=NULL;
   // Указатель на элемент списка
   POSITION pos=NULL, pastpos=NULL;
   // Начнем поиск с "хвоста" списка
   if(m_ShapesList.GetCount()>0) pos=m_ShapesList.GetTailPosition();
   // Найдем позицию объекта в списке
   while(pos!=NULL)
   {
```

```
        if(m_pSelShape==m_ShapesList.GetAt(pos)) break;
        m_ShapesList.GetPrev(pos);
    }
    if(pos==NULL) return FALSE;
       // Нашли элемент с указателем на выделенный объект
       // Меняем позицию элемента в списке
    switch(code)
    {
        case TOP:
           m_ShapesList.RemoveAt(pos);
           m_ShapesList.AddTail(m_pSelShape);
           break;
        case BOTTOM:
           m_ShapesList.RemoveAt(pos);
           m_ShapesList.AddHead(m_pSelShape);
           break;
        case STEPUP:
           pastpos=pos;
           m_ShapesList.GetNext(pos);
           if(pos!=NULL)
           {
               m_ShapesList.RemoveAt(pastpos);
               m_ShapesList.InsertAfter(pos, m_pSelShape);
           }
           break;
        case STEPDOWN:
           pastpos=pos;
           m_ShapesList.GetPrev(pos);
           if(pos!=NULL)
          {
              m_ShapesList.RemoveAt(pastpos);
              m_ShapesList.InsertBefore(pos, m_pSelShape);
          }
          break;
    }
    return TRUE;
};

BOOL CPainterDoc::DeleteSelected()
```

```
{
   if(m_pSelShape==NULL) return FALSE;
   CBasePoint *pShape=NULL;
   // Указатель на элемент списка
   POSITION pos=NULL, pastpos=NULL;
   // Начиная с "хвоста" списка
   if(m_ShapesList.GetCount()>0) pos=m_ShapesList.GetTailPosition();
   // Найдем позицию объекта в списке
   while(pos!=NULL)
   {
       if(m_pSelShape==m_ShapesList.GetAt(pos)) break;
       m_ShapesList.GetPrev(pos);
   }
   if(pos!=NULL) // Нашли его позицию
   {
      m_ShapesList.RemoveAt(pos);
      delete m_pSelShape;
      m_pSelShape=NULL;
      return TRUE;
   }
   return FALSE;
};
```

6.11.3. Файл PainterView.h

```
// PainterView.h : interface of the CPainterView class
//
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

#if !defined(AFX_PAINTERVIEW_H__F8B9924D_79CF_11D5_BB4A↵
_20804AC10000__INCLUDED_)
#define
AFX_PAINTERVIEW_H__F8B9924D_79CF_11D5_BB4A_20804AC10000__INCLUDED_

#if _MSC_VER > 1000
#pragma once
#endif // _MSC_VER > 1000

// Определение операций
#define OP_NOOPER   0
```

```
#define OP_LINE     1
#define OP_POINT    2
#define OP_CIRCLE   3
#define OP_SQUARE   4
#define OP_SELECT   10
class CPainterView : public CScrollView
{
protected: // create from serialization only
   CPainterView();
   DECLARE_DYNCREATE(CPainterView)

// Данные
public:
   // Текущая операция
   int m_CurOper;
   // Начальная и текущая точки операции
   CPoint m_FirstPoint, m_CurMovePoint;
   // Индикатор нажатия клавиш Shift, Ctrl
   UINT m_nMyFlags;

// Методы
   CPainterDoc* GetDocument();
public:
  void AddShape(int shape, CPoint first_point, CPoint second_point);
   void MarkSelectedShape(CDC *pDC);
   void DrawMoveLine(CPoint first_point, CPoint second_point);

// Overrides
   // ClassWizard generated virtual function overrides
   //{{AFX_VIRTUAL(CPainterView)
   public:
   virtual void OnDraw(CDC* pDC);  // overridden to draw this view
   virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs);
   virtual void OnPrepareDC(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo = NULL);
   protected:
   virtual BOOL OnPreparePrinting(CPrintInfo* pInfo);
   virtual void OnBeginPrinting(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo);
   virtual void OnEndPrinting(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo);
   virtual void OnUpdate(CView* pSender, LPARAM lHint, CObject* pHint);
```

```
   //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
public:
   virtual ~CPainterView();
#ifdef _DEBUG
   virtual void AssertValid() const;
   virtual void Dump(CDumpContext& dc) const;
#endif

protected:

// Generated message map functions
protected:
   //{{AFX_MSG(CPainterView)
   afx_msg void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point);
   afx_msg BOOL OnEraseBkgnd(CDC* pDC);
   afx_msg void OnEditAddshapePoint();
   afx_msg void OnEditAddshapeCircle();
   afx_msg void OnEditAddshapeSquare();
   afx_msg void OnEditSelect();
   afx_msg void OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point);
   afx_msg void OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point);
   afx_msg void OnEditAddshapePolyline();
   afx_msg void OnEditAddshapePolygon();
   afx_msg void OnLButtonDblClk(UINT nFlags, CPoint point);
   afx_msg void OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags);
   afx_msg void OnKeyUp(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags);
   afx_msg void OnEditChangeorderTop();
   afx_msg void OnEditChangeorderStepup();
   afx_msg void OnEditChangeorderStepdown();
   afx_msg void OnEditChangeorderBottom();
   afx_msg void OnEditDelete();
   //}}AFX_MSG
   DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

#ifndef _DEBUG  // debug version in PainterView.cpp
inline CPainterDoc* CPainterView::GetDocument()
```

```
   { return (CPainterDoc*)m_pDocument; }
#endif

//////////////////////////////////////////////////////////////////////

//{{AFX_INSERT_LOCATION}}
// Microsoft Visual C++ will insert additional declarations immediately
before the previous line.

#endif // !defined(AFX_PAINTERVIEW_H__F8B9924D_79CF_11D5_BB4A↵
_20804AC10000__INCLUDED_)
```

6.11.4. Файл PainterView.cpp

```
// PainterView.cpp : implementation of the CPainterView class
//

#include "stdafx.h"
#include "Painter.h"

#include "PainterDoc.h"
#include "PainterView.h"
#include "Shapes.h"
#include <math.h>

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

//////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView

IMPLEMENT_DYNCREATE(CPainterView, CScrollView)

BEGIN_MESSAGE_MAP(CPainterView, CScrollView)
   //{{AFX_MSG_MAP(CPainterView)
   ON_WM_LBUTTONDOWN()
   ON_WM_ERASEBKGND()
```

```
    ON_COMMAND(ID_EDIT_ADDSHAPE_POINT, OnEditAddshapePoint)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_ADDSHAPE_CIRCLE, OnEditAddshapeCircle)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_ADDSHAPE_SQUARE, OnEditAddshapeSquare)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_SELECT, OnEditSelect)
    ON_WM_LBUTTONUP()
    ON_WM_MOUSEMOVE()
    ON_COMMAND(ID_EDIT_ADDSHAPE_POLYLINE, OnEditAddshapePolyline)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_ADDSHAPE_POLYGON, OnEditAddshapePolygon)
    ON_WM_LBUTTONDBLCLK()
    ON_WM_KEYDOWN()
    ON_WM_KEYUP()
    ON_COMMAND(ID_EDIT_CHANGEORDER_TOP, OnEditChangeorderTop)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_CHANGEORDER_STEPUP, OnEditChangeorderStepup)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_CHANGEORDER_STEPDOWN, OnEditChangeorderStepdown)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_CHANGEORDER_BOTTOM, OnEditChangeorderBottom)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_DELETE, OnEditDelete)
    //}}AFX_MSG_MAP
    // Standard printing commands
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT, CView::OnFilePrint)
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_DIRECT, CView::OnFilePrint)
    ON_COMMAND(ID_FILE_PRINT_PREVIEW, CView::OnFilePrintPreview)
END_MESSAGE_MAP()

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView construction/destruction

CPainterView::CPainterView()
{
    // TODO: add construction code here
    m_CurOper=OP_NOOPER;
    m_bShifDown=FALSE;
}

CPainterView::~CPainterView()
{
}

BOOL CPainterView::PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs)
{
```

```
   // TODO: Modify the Window class or styles here by modifying
   //  the CREATESTRUCT cs
   return CView::PreCreateWindow(cs);
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView drawing

void CPainterView::OnDraw(CDC* pDC)
{
   CPainterDoc* pDoc = GetDocument();
   ASSERT_VALID(pDoc);
   // TODO: add draw code for native data here
   // Выводим все фигуры, хранящиеся в списке
   POSITION pos=NULL;
   CBasePoint* pShape=NULL;
   // Если в списке есть объекты
   if(pDoc->m_ShapesList.GetCount()>0)
      // Получим позицию первого объекта
      pos=pDoc->m_ShapesList.GetHeadPosition();
    while(pos!=NULL)
    {
       // Получим указатель на первый объект
       pShape=pDoc->m_ShapesList.GetNext(pos);
       // Нарисуем объект
       if(pShape!=NULL) pShape->Show(pDC);
    }
    // Выделяем активную фигуру
    if(m_CurOper==OP_SELECT)   MarkSelectedShape(pDC);
}

void CPainterView::DrawMoveLine(CPoint first_point, CPoint second_point)
{
   // Получим доступ к контексту устройства
   CClientDC dc(this);
   // Подготовим контекст устройства
   OnPrepareDC(&dc);
   // Установим режим рисования инверсным цветом
   int OldMode=dc.SetROP2(R2_NOT);
```

```
    // Рисуем прямую между двумя точками
    dc.MoveTo(first_point);   dc.LineTo(second_point);
    // Восстанавливаем прежний режим рисования
    dc.SetROP2(OldMode);
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView printing

BOOL CPainterView::OnPreparePrinting(CPrintInfo* pInfo)
{
    return DoPreparePrinting(pInfo);
}

void CPainterView::OnBeginPrinting(CDC* /*pDC*/, CPrintInfo* /*pInfo*/)
{
    // TODO: add extra initialization before printing
}

void CPainterView::OnEndPrinting(CDC* /*pDC*/, CPrintInfo* /*pInfo*/)
{
    // TODO: add cleanup after printing
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView diagnostics

#ifdef _DEBUG
void CPainterView::AssertValid() const
{
    CView::AssertValid();
}

void CPainterView::Dump(CDumpContext& dc) const
{
    CView::Dump(dc);
}

CPainterDoc* CPainterView::GetDocument() // non-debug version is inline
```

```
{
   ASSERT(m_pDocument->IsKindOf(RUNTIME_CLASS(CPainterDoc)));
   return (CPainterDoc*)m_pDocument;
}
#endif //_DEBUG

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CPainterView message handlers

void CPainterView::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CPoint   LogPoint=point;

   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства
   OnPrepareDC(pDC);

   // Переведем физические координаты точки в логические
   pDC->DPtoLP(&LogPoint);
   // Освободим контекст устройства
   ReleaseDC(pDC);

   // Запоминаем точку
   m_CurMovePoint=m_FirstPoint=LogPoint;
   switch(m_CurOper)
   {
       case OP_LINE:
          // Последним в списке должен быть полигон
          ((CPolygon*)pDoc->m_ShapesList.GetTail())->
                              m_PointsArray.Add(LogPoint);
          // Указываем, что окно надо перерисовать
          Invalidate();
          break;
   }

   // Даем возможность стандартному обработчику
```

```
   // тоже поработать над этим сообщением
   CScrollView::OnLButtonDown(nFlags, point);
}

void CPainterView::OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point)
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CPoint   LogPoint=point;

   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства метод базового класса
   OnPrepareDC(pDC);
   // Переведем физические координаты точки в логические
   pDC->DPtoLP(&LogPoint);
   // Освободим контекст устройства
   ReleaseDC(pDC);
   switch(m_CurOper)
   {
      case OP_POINT:
      case OP_CIRCLE:
      case OP_SQUARE:
         AddShape(m_CurOper, m_FirstPoint, LogPoint);
         // Указываем, что окно надо перерисовать
         Invalidate();
         break;
      case OP_SELECT:
         pDoc->SelectShape(LogPoint);
         // Указываем, что окно надо перерисовать
         Invalidate();
         break;
   }

   // Даем возможность стандартному обработчику
   // тоже поработать над этим сообщением
   CScrollView::OnLButtonUp(nFlags, point);
}

void CPainterView::OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point)
```

```
{
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CPoint   LogPoint=point;
   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства
   OnPrepareDC(pDC);
   // Переведем физические координаты точки в логические
   pDC->DPtoLP(&LogPoint);
   // Освободим контекст устройства
   ReleaseDC(pDC);
   switch(m_CurOper)
   {
       case OP_LINE:
          if(((CPolygon*)pDoc->m_ShapesList.GetTail())->
             m_PointsArray.GetSize()<=0) break;
          DrawMoveLine(m_FirstPoint, m_CurMovePoint);
          m_CurMovePoint=LogPoint;
          DrawMoveLine(m_FirstPoint, m_CurMovePoint);
          break;
       case OP_POINT:
       case OP_CIRCLE:
       case OP_SQUARE:
          if(nFlags==MK_LBUTTON) DrawMoveLine(m_FirstPoint,
                                              m_CurMovePoint);
          m_CurMovePoint=LogPoint;
          if(nFlags==MK_LBUTTON) DrawMoveLine(m_FirstPoint,
                                              m_CurMovePoint);
          break;
   }
   CScrollView::OnMouseMove(nFlags, point);
}
void CPainterView::OnLButtonDblClk(UINT nFlags, CPoint point)
{
   switch(m_CurOper)
   {
       case OP_LINE:
          m_CurOper=OP_NOOPER;
```

```
            break;
      }
      CScrollView::OnLButtonDblClk(nFlags, point);
}

void CPainterView::OnUpdate(CView* pSender, LPARAM lHint, CObject* pHint)
{
      // Получили указатель на объект-документ
      CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
      CSize sizeTotal;
      // Ширина
      sizeTotal.cx = pDoc->m_wSheet_Width;
      // Высота
      sizeTotal.cy = pDoc->m_wSheet_Height;
      // Установим режим и размер листа
      SetScrollSizes(pDoc->m_wMap_Mode, sizeTotal);
      // Вызываем метод базового класса
      CScrollView::OnUpdate(pSender, lHint, pHint);
}

void CPainterView::OnPrepareDC(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo)
{
      // Вызов метода базового класса
      CScrollView::OnPrepareDC(pDC, pInfo);
      // Получим указатель на документ
      CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
      // Создадим точку в левом нижнем углу листа
      CPoint OriginPoint(0, -pDoc->m_wSheet_Height);
      // Переведем точку в координаты физического устройства
      pDC->LPtoDP(&OriginPoint);
      // Установим эту точку
      // в качестве начала координат физического устройства
      pDC->SetViewportOrg(OriginPoint);
      // Ограничим область, доступную для рисования
      pDC->IntersectClipRect( 0,0, pDoc->m_wSheet_Width,
                                   pDoc->m_wSheet_Height);
}

BOOL CPainterView::OnEraseBkgnd(CDC* pDC)
```

```
{
   // Вызвали метод базового класса
    BOOL Res=CScrollView::OnEraseBkgnd(pDC);
   // Создали кисть серого цвета
   CBrush br( GetSysColor( COLOR_GRAYTEXT ) );
   // Выполнили заливку неиспользуемой области окна
   FillOutsideRect( pDC, &br );
   return Res;
}

void CPainterView::OnEditAddshapePoint()
{
   m_CurOper=OP_POINT;
}

void CPainterView::OnEditAddshapeCircle()
{
   m_CurOper=OP_CIRCLE;
}

void CPainterView::OnEditAddshapeSquare()
{
   m_CurOper=OP_SQUARE;
}

void CPainterView::AddShape(int shape, CPoint first_point,
                                       CPoint second_point)
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CBasePoint *pShape=NULL;
   // Расчет размера
   int size=0;
   size=(int) floor( sqrt((second_point.x-first_point.x)*
                          (second_point.x-first_point.x)+
                          (second_point.y-first_point.y)*
                          (second_point.y-first_point.y)) +0.5);
   switch(shape)
   {
       case OP_LINE:
          break;
```

```
        case OP_POINT:
            // Создаем объект — точку
            pShape=new CBasePoint(second_point.x, second_point.y, 100);
            // Светло-серая заливка
            pShape->SetBrush(RGB(200,200,200));
            break;
        case OP_CIRCLE:
            // Создаем объект — круг
            pShape=new CBasePoint(first_point.x, first_point.y, size);
            // Черная линия шириной 2 мм
            pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 200, PS_GEOMETRIC);
            // Темно-серая заливка
            pShape->SetBrush(RGB(100,100,100));
            break;
        case OP_SQUARE:
            // Создаем объект — квадрат
            pShape=new CSquare(first_point.x, first_point.y, size*2);
            // Красная линия шириной 1 мм
            pShape->SetPen(RGB(200,0,0), 100, PS_GEOMETRIC);
            // Темно-серая диагональная штриховка
            pShape->SetBrush(RGB(100,100,100),0,HS_DIAGCROSS);
            break;
    }
    if(pShape!=NULL) // Создали фигуру
    {
        // Добавляем в конец списка
        pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
        // Последняя фигура становится активной
        pDoc->m_pSelShape=pShape;
        // Указываем, что документ изменен
        pDoc->SetModifiedFlag();
    }
}

void CPainterView::OnEditSelect()
{
    m_CurOper=OP_SELECT;
}

void CPainterView::MarkSelectedShape(CDC *pDC)
```

```
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CRgn Rgn;
   if(pDoc->m_pSelShape==NULL) return;
   pDoc->m_pSelShape->GetRegion(Rgn);
   // Пробуем получить прямоугольник, описывающий фигуру
   CRect Rect;
   int res=Rgn.GetRgnBox(&Rect);
   if(res!= ERROR && res!=NULLREGION)
   pDC-> InvertRect(&Rect);
}

void CPainterView::OnEditAddshapePolyline()
{
   CBasePoint *pShape=new CPolygon;
   // Черная линия шириной 0.5 мм
   pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Добавляем в конец списка
   pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
   // Последняя фигура становится активной
   pDoc->m_pSelShape=pShape;
   // Указываем, что документ изменен
   pDoc->SetModifiedFlag();
   m_CurOper=OP_LINE;
}

void CPainterView::OnEditAddshapePolygon()
{
   CBasePoint *pShape=new CPolygon;
   // Темно-зеленая заливка
   pShape->SetBrush(RGB(0,100,0));
   // Черная линия шириной 0.5 мм
   pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);

   // Так как pShape указатель на CBasePoint,
   // а метод SetPolygon() имеется только у класса CPolygon,
   // требуется преобразование типа указателя
   ((CPolygon*)pShape)->SetPolygon(TRUE);

   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
```

```
    // Добавляем в конец списка
    pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
    // Последняя фигура становится активной
    pDoc->m_pSelShape=pShape;
    // Указываем, что документ изменен
    pDoc->SetModifiedFlag();
    m_CurOper=OP_LINE;
}
void CPainterView::OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)
{
    CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
    BOOL modified=FALSE;
    UINT   nMyFlags=0;
    if(pDoc->m_pSelShape!=NULL)
    modified=pDoc->m_pSelShape->OnKeyDown(nChar, nRepCnt, nFlags,
                                                          m_nMyFlags);
    switch(nChar)
    {
        case 16: m_nMyFlags=m_nMyFlags|SHIFT_HOLD; break; // Shift
        case 17: m_nMyFlags=m_nMyFlags|CTRL_HOLD; break; // Ctrl
    }
    if(modified)
    {
        // Указываем, что документ изменен
        pDoc->SetModifiedFlag();
        // Указываем, что окно надо перерисовать
        Invalidate();
    }
    CScrollView::OnKeyDown(nChar, nRepCnt, nFlags);
}

void CPainterView::OnKeyUp(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)
{
    switch(nChar)
    {
        case 16: m_nMyFlags=m_nMyFlags^SHIFT_HOLD; break; // Shift
        case 17: m_nMyFlags=m_nMyFlags^CTRL_HOLD;  break; // Ctrl
 }
    CScrollView::OnKeyUp(nChar, nRepCnt, nFlags);
```

```
}

void CPainterView::OnEditChangeorderTop()
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->ChangeOrder(TOP))
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
   }
}

void CPainterView::OnEditChangeorderStepup()
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->ChangeOrder(STEPUP))
   {
      // Указываем, что документ изменен
      pDoc->SetModifiedFlag();
      // Указываем, что окно надо перерисовать
      Invalidate();
   }
}

void CPainterView::OnEditChangeorderStepdown()
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->ChangeOrder(STEPDOWN))
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
   }
}

void CPainterView::OnEditChangeorderBottom()
```

```
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->ChangeOrder(BOTTOM))
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
   }
}

void CPainterView::OnEditDelete()
{
   // TODO: Add your command handler code here
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   if(pDoc->DeleteSelected())
   {
       // Указываем, что документ изменен
       pDoc->SetModifiedFlag();
       // Указываем, что окно надо перерисовать
       Invalidate();
   }
}
```

6.11.5. Файл Shapes.h

```
// файл Shapes.h
////////////////////////////////////////////////////
// Класс базовая точка
#define MOVE_STEP 100
#define ROTATE_STEP 5
#define SHIFT_HOLD  1
#define CTRL_HOLD   2

class CBasePoint: public CPoint, public CObject
{
   DECLARE_SERIAL(CBasePoint)
   CPen   m_Pen;   // перо
   CBrush m_Brush; // кисть
```

```
protected:
   // Метод сериализации
   virtual void Serialize(CArchive& ar);
   // Подготавливает контекст устройства
   virtual BOOL PrepareDC(CDC *pDC);
   // Восстанавливает контекст устройства
   virtual BOOL RestoreDC(CDC *pDC);
public:
   // Данные
   WORD    m_wSize;     // размер фигуры
   int     m_iPenStyle; // стиль линий
   int         m_iPenWidth;     // ширина линий
   COLORREF    m_rgbPenColor;   // цвет линий
   int         m_iBrushStyle;   // стиль заливки
   COLORREF    m_rgbBrushColor; // цвет заливки
   DWORD       m_dwPattern_ID;  // идентификатор шаблона заливки
public:
   // Конструкторы
   CBasePoint();                       // конструктор без параметров
   CBasePoint(int x, int y, WORD s);  // конструктор с параметрами
   ~CBasePoint(){};                    // деструктор
   // Методы
   // Отображает фигуру на экране
   virtual void Show(CDC *pDC);
   // Сообщает область захвата
   virtual void GetRegion(CRgn &Rgn);
   // Устанавливает параметры линий
   virtual BOOL SetPen(COLORREF color, int width =1, int style=PS_SOLID);
   // Устанавливает параметры заливки
   virtual BOOL SetBrush(COLORREF color, DWORD pattern =0, int style=-1);
   // Выполняет преобразование на плоскости
   virtual void Transform(const CPoint &point0,
                          double ang, int a, int b);
   // Реакция на нажатие клавиши
   virtual BOOL OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags,
                          UINT nMyFlags);

};

////////////////////////////////////////////////
```

```
// Класс квадрат
class CSquare: public CBasePoint
{
    DECLARE_SERIAL(CSquare)
protected:
   // Метод сериализации
   void Serialize(CArchive& ar);
public:
   // Конструкторы
   CSquare(int x, int y, WORD s);
   CSquare();
   ~CSquare(){};
// Методы
   // Отображает фигуру на экране
   void Show(CDC *pDC);
   // Сообщает область захвата
   void GetRegion(CRgn &Rgn);
};

////////////////////////////////////////////////
// Класс полигон
class CPolygon: public CBasePoint
{
   DECLARE_SERIAL(CPolygon)
// Режим рисования TRUE — заполненный полигон, FALSE — ломаная линия
   BOOL   m_bPolygon;
protected:
   // Метод сериализации
   void Serialize(CArchive& ar);
public:
   // Динамический массив точек-вершин
   CArray <CPoint, CPoint> m_PointsArray;
   // Конструкторы
   CPolygon();
   ~CPolygon();
// Методы
   // Отображает фигуру на экране
   void Show(CDC *pDC);
   // Сообщает область захвата
```

```
   void GetRegion(CRgn &Rgn);
   // Устанавливает режим рисования полигона
   void SetPolygon(BOOL p) {m_bPolygon=p;};
   // Выполняет преобразование на плоскости
   void Transform(const CPoint &point0,
                          double ang, int a, int b);
};
```

6.11.6. Файл Shapes.cpp

```
// файл Shapes.cpp
////////////////////////////////////////
// Реализация классов
#include "stdafx.h"
#include "shapes.h"
#include "global.h"

////////////////////////////////////////
// Реализация методов класса CBasePoint
CBasePoint::CBasePoint(): CPoint(0, 0)
{
   m_wSize=1;
   m_iPenStyle=PS_SOLID;
   m_iPenWidth=1;
   m_rgbPenColor=RGB(0,0,0);
   m_iBrushStyle=-1; // не используем штриховку
   m_rgbBrushColor=RGB(0,0,0);
   m_dwPattern_ID=0; // нет шаблона заливки
};

CBasePoint::CBasePoint(int x, int y, WORD s):CPoint(x, y)
{
   m_wSize=s;
   m_iPenStyle=PS_SOLID;
   m_iPenWidth=1;
   m_rgbPenColor=RGB(0,0,0);
   m_iBrushStyle=-1; // не используем штриховку
   m_rgbBrushColor=RGB(0,0,0);
   m_dwPattern_ID=0; // нет шаблона заливки
```

```
};

IMPLEMENT_SERIAL(CBasePoint, CObject , VERSIONABLE_SCHEMA|1)
void CBasePoint::Serialize(CArchive &ar)
{
   if(ar.IsStoring()) // сохранение
   {
       // Сохраняем параметры объекта
       ar<<x;
       ar<<y;
       ar<<m_wSize;
       ar<<m_iPenStyle;
       ar<<m_iPenWidth;
       ar<<m_rgbPenColor;
       ar<<m_iBrushStyle;
       ar<<m_rgbBrushColor;
       ar<<m_dwPattern_ID;
   }
   else   // чтение
   {
       // Получили версию формата
       int Version=ar.GetObjectSchema();
       // В зависимости от версии
       // можно выполнить различные варианты загрузки
       // Загружаем параметры объекта
       ar>>x;
       ar>>y;
       ar>>m_wSize;
       ar>>m_iPenStyle;
       ar>>m_iPenWidth;
       ar>>m_rgbPenColor;
       ar>>m_iBrushStyle;
       ar>>m_rgbBrushColor;
       ar>>m_dwPattern_ID;

       SetPen(m_rgbPenColor, m_iPenWidth, m_iPenStyle);
```

```
        SetBrush(m_rgbBrushColor, m_dwPattern_ID, m_iBrushStyle );
    }
};
BOOL CBasePoint::SetPen(COLORREF color, int width /*=1*/,
                        int style/*=PS_SOLID*/)
{
    m_iPenStyle=style;
    m_iPenWidth=width;
    m_rgbPenColor=color;
    if(HPEN(m_Pen)!=NULL)   // Если перо уже существует
    if(!m_Pen.DeleteObject()) return FALSE; // удалили старое перо
    // Создаем новое перо и возвращаем результат
    return m_Pen.CreatePen( m_iPenStyle, m_iPenWidth, m_rgbPenColor);
};
BOOL CBasePoint::SetBrush(COLORREF color, DWORD pattern /*=0*/,
                          int style/*=-1*/)
{
    m_iBrushStyle=style;
    m_dwPattern_ID=pattern;
    m_rgbBrushColor=color;
    int res=1;
    if(HBRUSH(m_Brush)!=NULL)   // Если кисть уже существует
    if(!m_Brush.DeleteObject()) return FALSE; // удалили старую кисть
    if(m_dwPattern_ID>0)   // есть шаблон заливки
    {
       CBitmap Pattern;
       if(!Pattern.LoadBitmap(m_dwPattern_ID)) return FALSE;
       return m_Brush.CreatePatternBrush(&Pattern);
    }
    if(m_iBrushStyle>=0)   // указан стиль штриховки
    return m_Brush.CreateHatchBrush( m_iBrushStyle, m_rgbBrushColor);
    // Создаем сплошную кисть и возвращаем результат
    return m_Brush.CreateSolidBrush(m_rgbBrushColor);
};

BOOL CBasePoint::PrepareDC(CDC *pDC)
```

```
{
   // Сохраняем состояние контекста устройства
   if(!pDC->SaveDC()) return FALSE;
   // Устанавливаем перо и кисть
   if(HPEN(m_Pen)!=NULL)
   pDC->SelectObject(&m_Pen);
   if(HBRUSH(m_Brush)!=NULL)
   pDC->SelectObject(&m_Brush);
   return TRUE;
};

BOOL CBasePoint::RestoreDC(CDC *pDC)
{
   // Восстанавливаем состояние контекста устройства
   return pDC->RestoreDC(-1);
};

void CBasePoint::Show(CDC* pDC)
{
   // Устанавливаем перо и кисть
   PrepareDC(pDC);
   // Рисуем кружок, обозначающий точку
   pDC->Ellipse(x-m_wSize, y-m_wSize, x+m_wSize, y+m_wSize);
   // Восстанавливаем контекст
   RestoreDC(pDC);
}

void CBasePoint::GetRegion(CRgn &Rgn)
{
   Rgn.CreateEllipticRgn(x-m_wSize, y-m_wSize, x+m_wSize, y+m_wSize);
}

void CBasePoint::Transform(const CPoint &point0,
                           double ang, int a, int b)
{
   CPoint res=::Transform(CPoint(x, y), CPoint(0,0), 0, a, b);
```

```
   x=res.x; y=res.y;
};

BOOL CBasePoint::OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags,
                           UINT nMyFlags)
{
   BOOL res=TRUE;
   if(nMyFlags & SHIFT_HOLD) //поворот
   switch(nChar)
   {
       case 37:
          Transform(CPoint(0,0), -ROTATE_STEP, 0, 0);
          break;
       case 39:
          Transform(CPoint(0,0), ROTATE_STEP, 0, 0);
          break;
       default:
          res=FALSE;
   }
   else // перенос
   switch(nChar)
   {
       case 38: // вверх
          Transform(CPoint(0,0), 0, 0, MOVE_STEP);
          break;
       case 40: // вниз
          Transform(CPoint(0,0), 0, 0, -MOVE_STEP);
          break;
       case 37: // влево
          Transform(CPoint(0,0), 0, -MOVE_STEP, 0);
          break;
       case 39: // вправо
          Transform(CPoint(0,0), 0, MOVE_STEP, 0);
          break;
       default:
          res=FALSE;
```

```
    }
    return res;
}

//////////////////////////////////////
// Реализация методов класса CSquare

CSquare::CSquare(int x, int y, WORD s): CBasePoint(x, y, s)
{
    m_wSize=s;
}

CSquare::CSquare(): CBasePoint()
{
    m_wSize=40;
}

IMPLEMENT_SERIAL(CSquare, CObject, 1)
void CSquare::Serialize(CArchive &ar)
{
    CBasePoint::Serialize(ar);
}
void CSquare::Show(CDC* pDC)
{
    int s=m_wSize/2;
    // Устанавливаем перо и кисть
    PrepareDC(pDC);
    // Рисуем квадрат
    pDC->Rectangle(x-s, y-s, x+s, y+s);
    // Восстанавливаем контекст
    RestoreDC(pDC);
}

void CSquare::GetRegion(CRgn &Rgn)
{
    int s=m_wSize/2;
    Rgn.CreateRectRgn(x-s, y-s, x+s, y+s);
```

```
}

//////////////////////////////////////
// Реализация методов класса CPolygon

CPolygon::CPolygon(): CBasePoint()
{
   m_wSize=0;
   m_bPolygon=FALSE;
}

CPolygon::~CPolygon()
{
   m_PointsArray.RemoveAll( );
}

IMPLEMENT_SERIAL(CPolygon, CObject, 1)
void CPolygon::Serialize(CArchive &ar)
{
   if(ar.IsStoring()) // сохранение
   {
       // Сохраняем параметры объекта
       ar<<m_bPolygon;
   }
   else// чтение
   {
      // Получили версию формата
      int Version=ar.GetObjectSchema();
      // В зависимости от версии
      // можно выполнить различные варианты загрузки
      // Загружаем параметры объекта
      ar>>m_bPolygon;
   }
   m_PointsArray.Serialize(ar);
   CBasePoint::Serialize(ar);
}
void CPolygon::Show(CDC* pDC)
```

```
{
   // Устанавливаем перо и кисть
   PrepareDC(pDC);
   // Рисуем
   if(m_bPolygon)
      pDC->Polygon(m_PointsArray.GetData(), m_PointsArray.GetSize());
   else
      pDC->Polyline( m_PointsArray.GetData(), m_PointsArray.GetSize());
   // Восстанавливаем контекст
   RestoreDC(pDC);
}

void CPolygon::GetRegion(CRgn &Rgn)
{
   Rgn. CreatePolygonRgn(m_PointsArray.GetData(),
                         m_PointsArray.GetSize(), ALTERNATE);
}

void CPolygon::Transform(const CPoint &point0, double ang, int a, int b)
{
   for(int i=0; i<m_PointsArray.GetSize(); i++)
      m_PointsArray[i]=::Transform(m_PointsArray[i],
                                   m_PointsArray[0], ang, a, b);
};
```

6.11.7. Файл Global.h

```
// файл Global.h
//////////////////////////////////////
// Прототипы глобальных функций
CPoint Transform(const CPoint &point, const CPoint &point0, double ang,
int a, int b);
```

6.11.8. Файл Global.cpp

```
// файл Global.cpp
//////////////////////////////////////
```

```
// Реализация глобальных функций
#include "stdafx.h"
#include "global.h"
#include <math.h>

CPoint Transform(const CPoint &point,
                 const CPoint &point0, double ang, int a, int b)
{
   CPoint res;
   // Перевод в радианы
   ang=ang*atan(1.0)/45.0;
   res.x=(int)floor(point0.x+(point.x-point0.x)*cos(ang)-
                              (point.y-point0.y)*sin(ang)+a+0.5);
   res.y=(int)floor(point0.y+(point.x-point0.x)*sin(ang)+
                   (point.y-point0.y)*cos(ang)+b+0.5);
   return res;
};
```

6.12. Заключение

Текст программы приведен на компакт-диске в каталоге \Sources\Painter3.

Теперь, когда у нас имеются средства редактирования, откроем рисунок \Pics\Painter\Грузовик.pr2, заменим груду ящиков в его кузове на новогодние елки, дополним рисунок деталями, в общем, насладимся новыми возможностями нашей программы (рис. 6.8).

Многие полезные команды редактирования остались нереализованными.

Что еще можно реализовать:

- пару команд **Copy/Paste** — для этого нужно описать в классах фигур конструкторы копирования;
- операции выбора цвета линий и заливки для фигур — специальный диалог или панель инструментов;
- операции "отменить" и "повторить" — каким-то образом надо запоминать состояние рисунка и (или) выполняемые операции.

Можно также развивать удобство интерфейса программы, например, сделать контекстное меню, которое вызывалось бы при нажатии правой кнопки мыши.

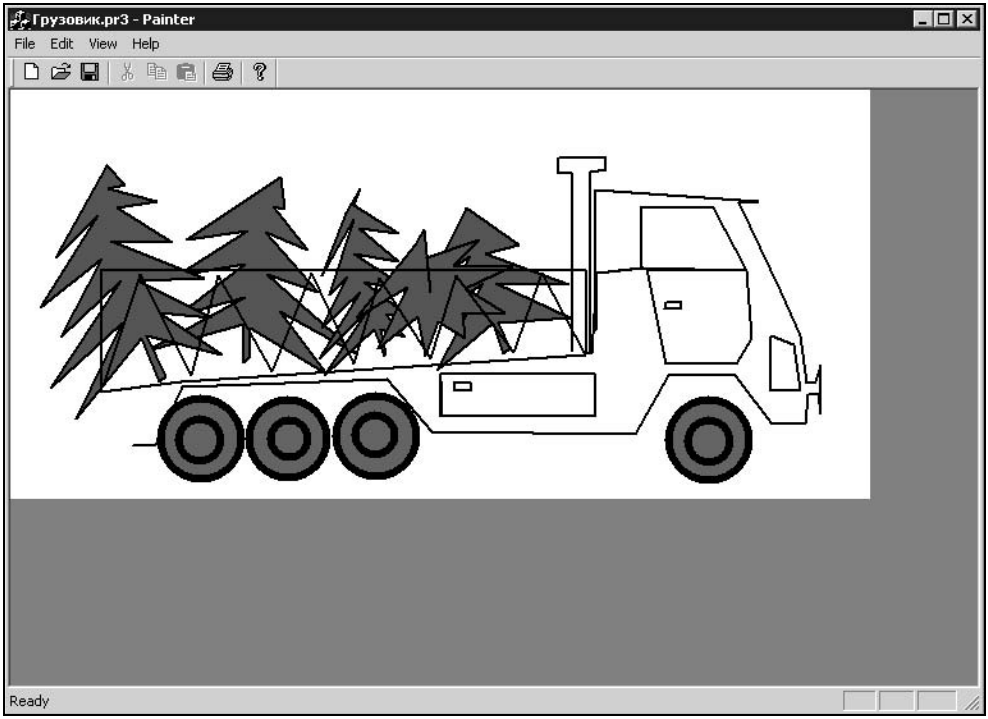
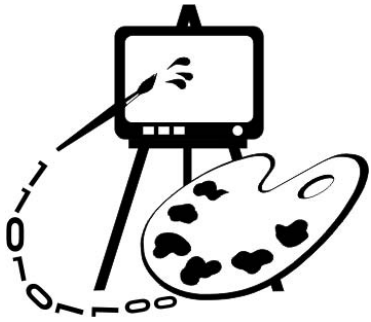


Рис. 6.8. Результат редактирования рисунка Грузовик.pr2

В общем, неограниченный простор для творчества. Однако, поскольку эти вопросы непосредственно не связаны с предметом книги, мы их рассматривать не будем. Вместо этого, в следующей главе мы перейдем к рассмотрению преобразований в трехмерном пространстве.

Глава 7

Преобразования в трехмерном пространстве



В этой главе рассматриваются:

- преобразования в трехмерном пространстве;
- параллельная и перспективная проекции;
- основные подходы к решению задачи удаления невидимых элементов изображений;
- программная реализация преобразований в трехмерном пространстве (программа Painter 4);
- построение трехмерной поверхности $z = f(x, y)$;
- построение линий уровня на поверхности.

7.1. Перенос и поворот в трехмерном пространстве

Переносом в трехмерном пространстве называют преобразование точки $P(x, y, z)$ в точку $P'(x', y', z')$ в соответствии с уравнениями:

$$\begin{cases} x' = x + a_1 \\ y' = y + a_2 \\ z' = z + a_3 \end{cases},$$

где a_1, a_2, a_3 — константы.

В матричном виде данная операция будет выглядеть следующим образом:

$$[x', y', z', 1] = [x, y, z, 1]T\ ,\ T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_1 & a_2 & a_3 & 1 \end{bmatrix} \qquad (7.1)$$

Поворот вокруг координатных осей может быть записан и без использования однородных координат. Для краткости записи так и поступим. В правой координатной системе (рис. 7.1) поворот вокруг оси z на угол α описывается следующей матрицей преобразования:

$$[x', y', z', 1] = [x, y, z, 1] R_z, \quad R_z = \begin{bmatrix} c & s & 0 \\ -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \tag{7.2}$$

где $c = \cos\alpha$ и $s = \sin\alpha$.

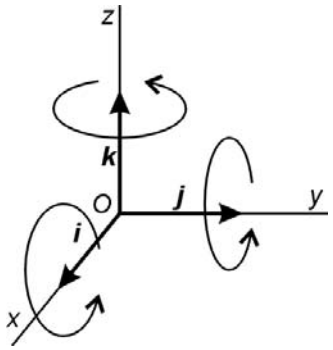


Рис. 7.1. Правая система координат

Для построения матриц поворота вокруг осей x и y (матриц R_x и R_y) можно использовать матрицу R_z. Данные матрицы получаются путем циклического переноса строк и столбцов по следующей схеме (рис. 7.2) $R_z \to R_x \to R_y \to R_z$.

$$R_z = \begin{bmatrix} c & s & 0 \\ -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \to \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ c & s & 0 \\ -s & c & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c & s \\ 0 & -s & c \end{bmatrix} \to \begin{bmatrix} 0 & -s & c \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & c & s \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} c & 0 & -s \\ 0 & 1 & 0 \\ s & 0 & c \end{bmatrix}$$

Рис. 7.2. Схема преобразования матриц

При необходимости изменения координатной системы используют инвертированные матрицы:

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -a_1 & -a_2 & -a_3 & 1 \end{bmatrix}, \qquad R_z^{-1} = \begin{bmatrix} c & -s & 0 \\ s & c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \tag{7.3}$$

$$R_x^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c & -s \\ 0 & s & c \end{bmatrix}, \qquad R_y^{-1} = \begin{bmatrix} c & 0 & s \\ 0 & 1 & 0 \\ -s & 0 & c \end{bmatrix}.$$

7.2. Параллельная проекция

Для выполнения преобразований необходимы точка наблюдения, объект и экран. Экран находится между наблюдателем и объектом (рис. 7.3). Если камера (глаз) находится в точке E, то для каждой точки P объекта, прямая PE пересекает экран в точке P'. Систему координат, в которой определяется положение объекта, положение точки наблюдения и экрана, а также размеры экрана будем называть *мировой*. Задача заключается в преобразовании мировых координат множества точек $P(x, y, z)$, принадлежащих объекту, в координаты точек изображения на экране $P'(X, Y)$, где (x, y, z) — мировые координаты точки P объекта, а (X, Y) — экранные координаты ее проекции (точки P'). Преобразование координат включает в себя этапы, схематично изображенные на рис. 7.4.

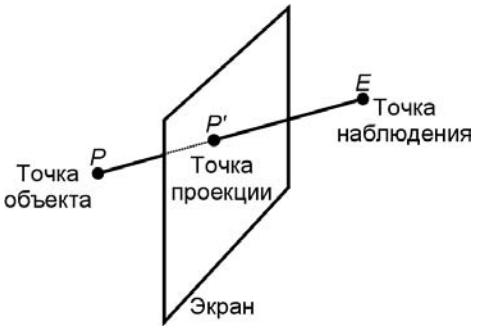


Рис. 7.3. Проекция точки объекта на экран

Рис. 7.4. Схема преобразования координат

Сначала мировые координаты преобразовываются в видовые координаты (с началом в точке *E*). Затем может быть выполнено перспективное преобразование, добавляющее эффект перспективы в зависимости от расстояния от объекта до экрана и расстояния от точки наблюдения до экрана. При построении параллельной проекции перспективное преобразование не выполняется, и видовые координаты ($x_в$, $y_в$) точки *P* используются в качестве экранных координат (*X*, *Y*) точки *P′*.

7.2.1. Видовое преобразование

Пусть система мировых координат правая, и ее начало, точка *O*, совпадает с центром объекта. Точка *E* задана в сферических координатах (ρ, θ, φ) относительно точки *O*:

$$x_E = \rho\sin\varphi\cos\theta,\ y_E = \rho\sin\varphi\sin\theta,\ z_E = \rho\cos\varphi. \qquad (7.4)$$

Вектор *EO* определяет направление наблюдения (рис. 7.5).

Система видовых координат показана на рис. 7.6. Кроме положения в пространстве, она отличается от мировых координат тем, что является левосторонней (мировая — правосторонняя). В матричном виде запись преобразования мировых координат в видовые координаты будет такой:

$$[x_e, y_e, z_e, 1] = [x, y, z, 1]V\ . \qquad (7.5)$$

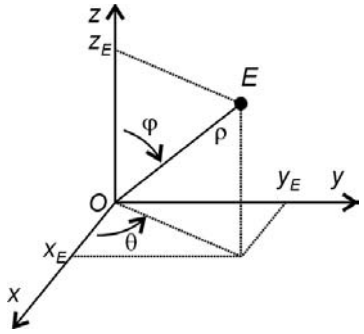


Рис. 7.5. Полярные координаты точки *E*

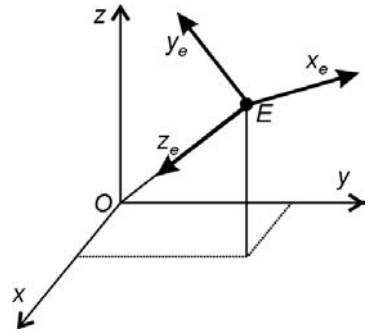


Рис. 7.6. Система видовых координат

Для получения матрицы V требуется перемножение матриц четырех элементарных преобразований. При этом выполняются следующие действия:

1. Перенос из точки O в точку E (рис. 7.7). Матрица данного преобразования:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_e & -y_e & -z_e & 1 \end{bmatrix}. \qquad (7.6)$$

2. Поворот координатной системы вокруг оси z на угол $\frac{\pi}{2} - \theta$ (рис. 7.7, 7.8).

   В результате ось y совпадет по направлению с горизонтальной составляющей вектора OE, а ось x будет перпендикулярна этой составляющей. Так как поворот выполняется в *отрицательном* направлении, матрица данного преобразования будет совпадать с матрицей поворота *точки* на такой же угол в *положительном* направлении:

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(\pi/2-\theta) & \sin(\pi/2-\theta) & 0 \\ -\sin(\pi/2-\theta) & \cos(\pi/2-\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -\cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \qquad (7.7)$$

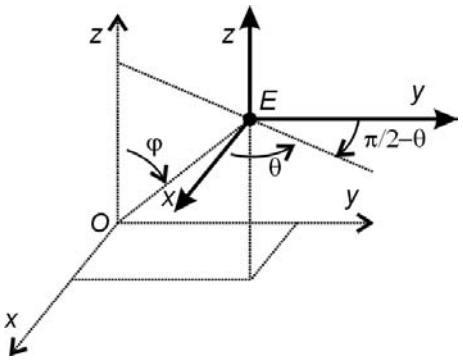


Рис. 7.7. Перенос в точку *E*

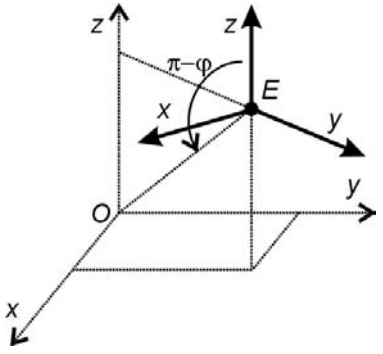


Рис. 7.8. Поворот вокруг оси *z*

3. Поворот системы вокруг оси x в положительном направлении на угол $\pi - \varphi$, что соответствует повороту точки на угол $-(\pi - \varphi) = \varphi - \pi$ (рис. 7.8, 7.9). Матрица данного преобразования будет такой:

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi-\pi) & \sin(\varphi-\pi) \\ 0 & -\sin(\varphi-\pi) & \cos(\varphi-\pi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & -\cos\varphi \end{bmatrix}. \qquad (7.8)$$

4. Изменение направления оси x: $x' = -x$ (рис. 7.10). Матрица данного преобразования:

$$\boldsymbol{M}_{yz} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{7.9}$$

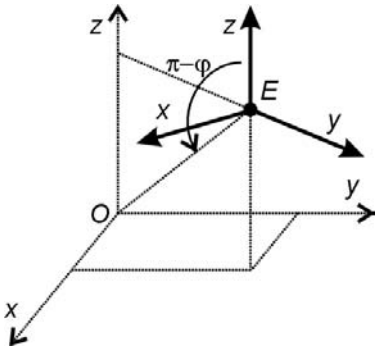


Рис. 7.9. Поворот вокруг оси *x*

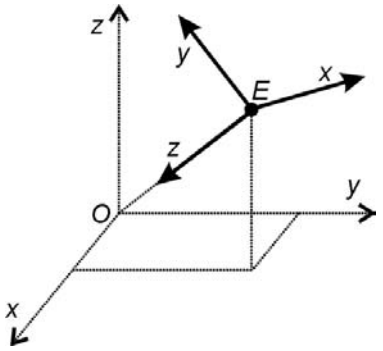


Рис. 7.10. Изменение направления оси *x*

Матрицу $\boldsymbol{V}$ найдем путем перемножения матриц (7.6—7.9):

$$\boldsymbol{V} = \boldsymbol{T}\boldsymbol{R}_z^*\boldsymbol{R}_x^*\boldsymbol{M}_{yz}^* \tag{7.10}$$

(* — означает расширение матрицы 3x3 до размера 4x4 путем добавления строки и столбца [0, 0, 0, 1]).

Результат перемножения (7.10) — матрица преобразования мировых координат в видовые координаты:

$$\boldsymbol{V} = \begin{bmatrix} -\sin\theta & -\cos\varphi\cos\theta & -\sin\varphi\cos\theta & 0 \\ \cos\theta & -\cos\varphi\sin\theta & -\sin\varphi\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\varphi & -\cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{7.11}$$

Видовые координаты точки находятся путем перемножения ее мировых координат (в однородной записи) на матрицу $\boldsymbol{V}$ (7.11).

Видовые координаты $(x_в, y_в)$ — ортогональная (параллельная) проекция точки $P(x, y, z)$. Координаты $(x_в, y_в)$ можно непосредственно использовать для формирования изображения на экране.

7.2.2. Перспективные преобразования

Рассмотрим рис. 7.11. Пусть координата y точки P равна нулю. Из подобия треугольников ΔEPO и $\Delta EP'Q$ следует:

$$\frac{P'Q}{EQ} = \frac{PO}{EO} \Rightarrow \frac{X}{d} = \frac{x}{z} \Rightarrow X = d\frac{x}{z}. \qquad (7.12, а)$$

Аналогично для Y найдем:

$$Y = d\frac{y}{z}. \qquad (7.12, б)$$

Так как ось z совпадает с EO — направлением взгляда на точку O — центр объекта, то начало системы экранных координат будет находиться в точке Q, в которой EO пересекает экран. Для помещения объекта в центр экрана можно дополнить выражения (7.12) соответствующим смещением:

$$X = d\frac{x}{z} + \frac{W}{2},\ Y = d\frac{y}{z} + \frac{H}{2}, \qquad (7.13)$$

где W, H — ширина и высота экрана, соответственно.

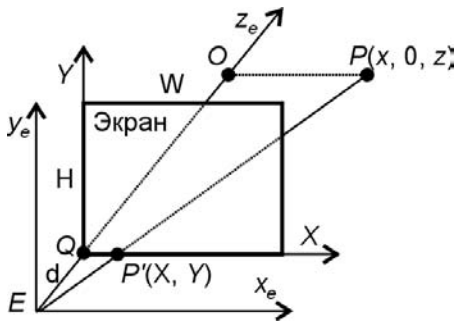


Рис. 7.11. Перспективное преобразование

7.3. Два основных подхода к удалению невидимых линий и поверхностей

Для построения более-менее реалистичного изображения трехмерных сцен необходимо уметь удалять невидимые части объектов (ребра и грани). Существует два основных подхода к решению данной задачи.

Первый подход заключается в непосредственном сравнении объектов друг с другом для выяснения того, какие части объектов являются видимыми. В данном случае работа ведется в пространстве объектов. Этот подход используется в алгоритмах, рассмотренных в *разд. 7.3.1* и *7.3.2*.

Второй подход заключается в определении для каждого пиксела экрана ближайшего к нему объекта (вдоль направления проецирования). При этом работа ведется в пространстве экранных координат. Этот подход используется в алгоритмах, рассмотренных в *разд. 7.3.3, 7.3.4* и *7.3.5*.

7.3.1. Алгоритм отсечения нелицевых граней

Пусть для каждой грани некоторой фигуры задан единичный вектор внешней нормали. Если вектор нормали грани составляет с направлением проецирования (направлением взгляда на объект) тупой угол, то такая грань не может быть видна и называется нелицевой. В случае, когда данный угол является острым, грань видна и называется лицевой (рис. 7.12).

В случае, когда трехмерная сцена представляет собой один выпуклый многогранник, удаление нелицевых граней полностью решает задачу удаления невидимых граней.

В общем случае описанная проверка не решает задачу полностью, но позволяет значительно сократить количество рассматриваемых граней.

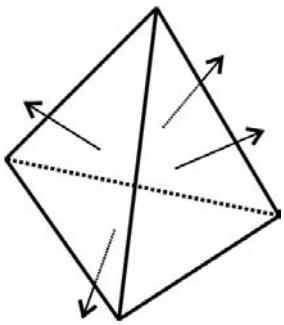


Рис. 7.12. Определение нелицевых граней

7.3.2. Алгоритм Робертса

Требуется, чтобы каждая грань была выпуклым многогранником. Поскольку такое условие наиболее просто обеспечивается для граней объекта в виде треугольников, то первым делом выполняется триангуляция — разбиение граней на треугольники. Далее составляется список граней (треугольников) и список ребер. Затем проверяется видимость ребер многогранника путем тестирования их на перекрытие гранями.

Сначала отбрасываются все ребра, обе определяющие грани которых являются нелицевыми. Оставшиеся ребра проверяются на перекрытие гранями. Возможны следующие случаи:

- грань не закрывает ребро (рис. 7.13) — переход к проверке перекрытия следующей гранью;

- грань полностью закрывает ребро (рис. 7.14) — на этом проверка видимости ребра заканчивается;

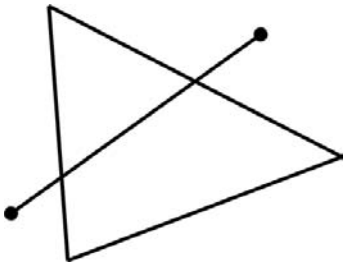


Рис. 7.13. Грань не закрывает ребро

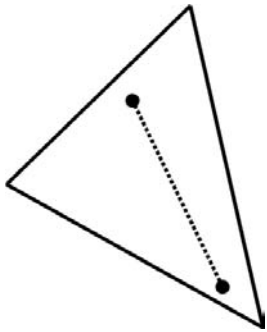


Рис. 7.14. Грань полностью закрывает ребро

- грань частично закрывает ребро (рис. 7.15) — в этом случае ребро разбивается на несколько частей, само ребро удаляется из списка, но в список добавляются те его части, которые не перекрываются гранью.

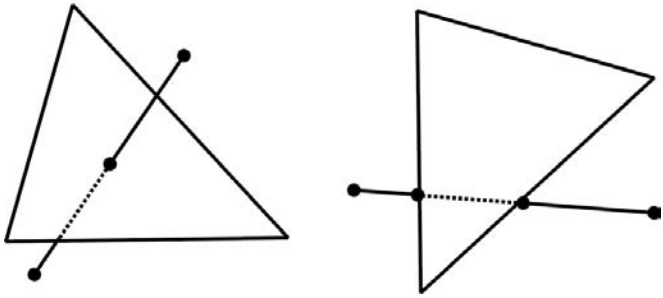


Рис. 7.15. Варианты частичного перекрытия ребра гранью

Количество проверок можно значительно сократить, если воспользоваться принципом "разделяй и властвуй". Идея заключается в следующем. Экран разделяется на несколько равных частей. Для каждой части составляется список граней, в который заносятся только те грани, проекции которых попадают в эту часть экрана. При определении видимости ребра, сначала устанавливается, в какие части экрана попадает его проекция, и далее осуществляется проверка на перекрытие лишь гранями, содержащимися в списках данных частей.

7.3.3. Алгоритм z-буфера

Каждому пикселу экрана сопоставляется расстояние до проецируемого на него объекта (z-буфер). Для вывода на экран произвольной грани она сначала переводится в свое растровое представление на экране, и для каждого

пиксела определяется его "глубина". В случае если это значение меньше значения, хранящегося в z-буфере (изначально $+\infty$), то его значение заносится в z-буфер. В конце концов, рисуются лишь пикселы-проекции ближайших к экрану объектов.

В связи с простотой и одновременно значительной трудоемкостью данного алгоритма распространены его аппаратные реализации.

Этот алгоритм используется в библиотеке OpenGL для решения задачи загораживания при работе с невыпуклыми объектами. Алгоритм применяется в примере использования OpenGL, приведенном в *главе 12*.

7.3.4. Алгоритм Варнака

Алгоритм основан на разделении экрана на части (рис. 7.16). Экран делится сначала на 4 равные части. При этом возможны следующие ситуации:

1. Часть экрана полностью накрывается проекцией ближайшей грани.
2. Часть экрана не накрывается проекцией ни одной грани.
3. Ни первое, ни второе условия не выполняются.

В первом случае часть экрана полностью закрашивается цветом грани. Во втором случае — цветом фона. В третьем случае данная часть разбивается еще на 4 части, для каждой из которых вновь выполняется проверка. Разбиение можно продолжать, пока размер части не будет соответствовать одному пикселу. Если разбиение дошло до одного пиксела, то пиксел закрашивается цветом ближайшей к нему грани.

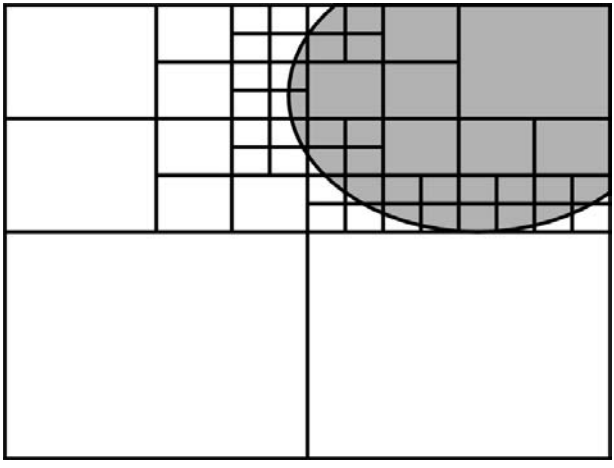


Рис. 7.16. Деление экрана на части

7.3.5. Алгоритм построчного сканирования

Допустим, что все изображение на экране представляет собой набор вертикальных линий (столбцов пикселов). Рассмотрим сечение трехмерной сцены плоскостью, проходящей через такую линию и центр проекции (точку наблюдения). Результатом такого сечения будет набор отрезков, которые необходимо спроецировать на экран. Исходная задача свелась к удалению невидимых отрезков на каждой линии.

Данный алгоритм может быть использован при визуализации перемещения по лабиринту (рис. 7.17). В случае если расстояние между полом и потолком одинаково по всей сцене, а стены вертикальны, задача может рассматриваться как двумерная.

Проведем через точку наблюдения и столбец пикселов экрана прямую линию. Видимым будет ближайшее пересечение со стенами лабиринта. Решая задачу в двумерном пространстве, определяем расстояние до ближайшей стены. Изображение в каждом столбце пикселов может состоять из трех частей: пола, стены и потолка. Часть линии закрашиваем цветом пола, часть — цветом стены, часть — цветом потолка. В зависимости от расстояния между стеной и точкой наблюдения можно менять интенсивность цветов.

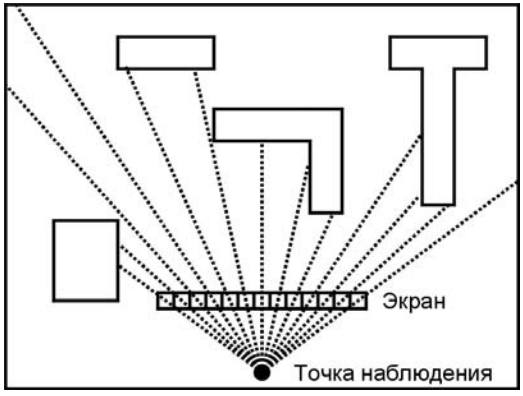


Рис. 7.17. Вид сверху на лабиринт

7.4. Программная реализация преобразований в трехмерном пространстве

Реализуем рассмотренный материал на практике — добавим в проект Painter возможности создания и манипуляции трехмерными объектами. Это будет версия 4 программы Painter.

Для задания точки в трехмерном пространстве определим структуру данных `POINT3D`, а для задания положения точки наблюдения и параметров построения проекции — структуру `Perspective` (листинг 7.1).

Листинг 7.1. Структуры данных для работы с трехмерными фигурами. Файл Shapes.h

```
struct POINT3D
{
   double x, y, z;
};

// Параметры  трехмерной сцены
struct  Perspective
{
   POINT3D O; // Точка, вокруг которой выполняем поворот
   double rho, theta, phi, // полярные координаты точки наблюдения (E)
          d;   // Расстояние от E до экрана
// 1- вкл. перспективные преобразования; 0-выкл.
   WORD with_perspective;
   LONGdx, dy; // Смещение проекции на экране
};
```

Будем представлять трехмерные фигуры в виде "проволочного каркаса". Каждая "проволочка" будет являться полигоном в трехмерном пространстве — объектом класса `C3DPolygon`. Класс `C3DPolygon` определим, как производный от класса `CPolygon` (листинг 7.2). Для хранения трехмерных координат фигуры в классе `C3DPolygon` определим динамический массив точек `m_3DPointsArray`. От класса `CPolygon` новый класс унаследует массив двумерных точек `m_PointsArray` и методы для работы с ним. В этом массиве будем сохранять экранные координаты фигуры, т. е. координаты проекции точек из массива `m_3DPointsArray` на экран. Для того чтобы рассчитать экранные координаты введем метод `MakeProjection()`. Отображать же фигуру на экране будет унаследованный метод `CPolygon::Show()`.

Листинг 7.2. Интерфейс класса `C3DPolygon`. Файл Shapes.h

```
class C3DPolygon: public CPolygon
{
   DECLARE_SERIAL(C3DPolygon)
 protected:   // Метод сериализации
```

```
   void Serialize(CArchive& ar);
 public:
   // Конструкторы
   C3DPolygon(){};
   ~C3DPolygon(){};
// Данные
   // Динамический массив точек-вершин в мировых координатах
   CArray <POINT3D, POINT3D> m_3DPointsArray;
// Методы
   // Добавить точку
   void AddPoint(POINT3D point) {m_3DPointsArray.Add(point);};
   // Расчет экранных координат
   void MakeProjection(Perspective P);
};
```

Для того чтобы собрать все "проволочки" — объекты класса `C3DPolygon` в одну фигуру, определим класс `C3DShape`, в котором будем хранить список указателей на трехмерные полигоны (листинг 7.3).

Листинг 7.3. Интерфейс класса `C3DShape`. Файл Shapes.h

```
class C3DShape: public CBasePoint
{
    DECLARE_SERIAL(C3DShape)
 protected: // Виртуальный метод сериализации
   void Serialize(CArchive& ar);
 public:
   // Конструкторы
   C3DShape();
   ~C3DShape();
// Данные
   Perspective m_Percpective; // параметры обзора
   // список указателей на полигоны
   CTypedPtrList<CObList, C3DPolygon*> m_PtrPolygonList;
// Методы
   // Расчет проекции
   void MakeProjection();
   // Отображение фигуры на экране
   void Show(CDC *pDC);
```

```
    // Сообщает область захвата
    void GetRegion(CRgn &Rgn);
    // Добавить полигон
    void AddPolygon(C3DPolygon *pPolygon);
    // Реакция на нажатие клавиши
    BOOL OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags, UINT nMyFlags);
};
```

Кроме списка трехмерных полигонов в классе `C3DShape` определены также параметры наблюдения фигуры — переменная `m_Percpective`. На основе этих параметров в методе `MakeProjection()` выполняется расчет экранных координат каждого полигона из списка `m_PtrPolygonList`. Поэтому, если рисунок содержит несколько трехмерных фигур, на каждую из них можно смотреть по-разному. Если такая ситуация не устраивает, то можно определить единые параметры наблюдения для всего рисунка (трехмерной сцены) и передавать их в качестве параметра в метод `C3DShape::MakeProjection()` для каждой трехмерной фигуры сцены.

Рассмотрим теперь, как реализованы методы новых классов.

Все, что потребовалось сделать в функции сохранения/загрузки `C3DPolygon::Serialize()` трехмерного полигона, — это вызвать метод базового класса `CPolygon` (листинг 7.4).

Листинг 7.4. Метод `C3DPolygon::Serialize()`. Файл Shapes.cpp

```
IMPLEMENT_SERIAL(C3DPolygon, CPolygon, -1)
void C3DPolygon::Serialize(CArchive &ar)
{
    CPolygon::Serialize(ar);
    if(ar.IsStoring())
    {   }
    else
    {   }
    m_3DPointsArray.Serialize(ar);
};
```

Расчет экранных координат выполняется в методе `C3DPolygon::MakeProjection()` так: сначала рассчитываются коэффициенты матрицы преобразования (7.11), затем для всех точек из массива `m_3DPointsArray` находятся их экранные проекции и выполняется перспективное преобразование (листинг 7.5).

Листинг 7.5. Метод C3DPolygon::Serialize(). Файл Shapes.cpp

```
void C3DPolygon::MakeProjection(Perspective P)
{
   // Перевод в радианы
   P.theta=P.theta*atan(1.0)/45.0; P.phi=P.phi*atan(1.0)/45.0;
   // Расчет коэффициентов матрицы преобразования
   // Если установлен режим отображения MM_TEXT,
   // при котором начало координат в верхнем левом углу,
   // требуется лишь заменить знак у коэффициентов второго столбца
   // матрицы преобразования на противоположный
   // (перевернуть ось Y)
   double st=sin(P.theta), ct=cos(P.theta), sp=sin(P.phi), cp=cos(P.phi),
          v11=-st,   v12=-cp*ct,   v13=-sp*ct,
          v21=ct,    v22=-cp*st,   v23=-sp*st,
                     v32=sp,       v33=-cp,
          v41=P.dx,  v42=P.dy,     v43=P.rho;
   double x, y, z;
   double TempZ=0;
   // Расчет видовых координат точек
   m_PointsArray.SetSize(m_3DPointsArray.GetSize());
   for(int i=0; i<m_3DPointsArray.GetSize(); i++)
   {
       x=m_3DPointsArray[i].x-P.O.x;
       y=m_3DPointsArray[i].y-P.O.y;
       z=m_3DPointsArray[i].z-P.O.z;
       TempZ=v13*x+v23*y+v33*z+v43;
       m_PointsArray[i].x=(LONG)(v11*x+v21*y+v41+0.5);
       m_PointsArray[i].y=(LONG)(v12*x+v22*y+v32*z+v42+0.5);
       // Перспективные преобразования
       if(P.with_perspective)
       {
           m_PointsArray[i].x=(LONG)(P.d*m_PointsArray[i].x/TempZ +0.5);
           m_PointsArray[i].y=(LONG)(P.d*m_PointsArray[i].y/TempZ +0.5);
       }
       m_PointsArray[i].x+=(LONG)(P.O.x +0.5);
       m_PointsArray[i].y+=(LONG)(P.O.y +0.5);
   }
};
```

В конструкторе трехмерного объекта определяем положение точки наблюдения и расстояние до экрана (см. рис. 7.5, 7.11), а в деструкторе освобождаем память, занятую фигурой (листинг 7.6.).

Листинг 7.6. Конструктор класса `C3DShape`. Файл Shapes.cpp

```
C3DShape::C3DShape(): CBasePoint()
{
   m_Percpective.O.x=0;
   m_Percpective.O.y=0;
   m_Percpective.O.z=0;
   m_Percpective.rho=50000; // 50 см в режиме MM_HIMETRIC
   m_Percpective.theta=30;
   m_Percpective.phi=30;
   m_Percpective.d=25000; // 25 см в режиме MM_HIMETRIC
   m_Percpective.with_perspective=TRUE;
   m_Percpective.dx=0;
   m_Percpective.dy=0;
}

C3DShape::~C3DShape()
{
   while(m_PtrPolygonList.GetCount()>0)
       delete m_PtrPolygonList.RemoveHead();
};
```

Метод `C3DShape::Serialize()` трехмерной фигуры (листинг 7.7) выполняет сохранение/загрузку параметров наблюдения и вызывает метод `Serialize()` для списка трехмерных полигонов.

Листинг 7.7. Метод `C3DShape::Serialize()`. Файл Shapes.cpp

```
IMPLEMENT_SERIAL(C3DShape, CBasePoint, -1)
void C3DShape::Serialize(CArchive &ar)
{
   if(ar.IsStoring())
   {
       ar << m_Percpective.O.x;
       ar << m_Percpective.O.y;
       ar << m_Percpective.O.z;
```

```
        ar << m_Percpective.rho;
        ar << m_Percpective.theta;
        ar << m_Percpective.phi;
        ar << m_Percpective.d;
        ar << m_Percpective.with_perspective;
        ar << m_Percpective.dx;
        ar << m_Percpective.dy;
    }
    else
    {
        ar >> m_Percpective.O.x;
        ar >> m_Percpective.O.y;
        ar >> m_Percpective.O.z;
        ar >> m_Percpective.rho;
        ar >> m_Percpective.theta;
        ar >> m_Percpective.phi;
        ar >> m_Percpective.d;
        ar >> m_Percpective.with_perspective;
        ar >> m_Percpective.dx;
        ar >> m_Percpective.dy;
    }
    m_PtrPolygonList.Serialize(ar);
};
```

Метод `C3DShape::Show()` трехмерной фигуры (листинг 7.8) вызывает одноименный метод для всех полигонов, образующих фигуру.

Листинг 7.8. Метод `C3DShape::Show()`. Файл Shapes.cpp

```
void C3DShape::Show(CDC *pDC)
{
    // Вывод всех полигонов
    POSITION Pos=NULL;
    if(m_PtrPolygonList.GetCount()>0)
       Pos=m_PtrPolygonList.GetHeadPosition();
    while(Pos!=NULL)
       m_PtrPolygonList.GetNext(Pos)->Show(pDC);
};
```

Метод `C3DShape::GetRegion()` трехмерной фигуры (листинг 7.9) конструирует прямоугольный регион, охватывающий проекцию фигуры на экран.

Листинг 7.9. Метод `C3DShape::GetRegion()`. Файл Shapes.cpp

```
void C3DShape::GetRegion(CRgn &Rgn)
{
   // Конструируем  область захвата C3DShape,
   // в виде прямоугольника, охватывающего изображение
   // фигуры на экране
   CRect Frame; // охватывающий прямоугольник
   POSITION Pos=NULL;
   int i=0;
   CPolygon *pPolygon=NULL;
   if(m_PtrPolygonList.GetCount()>0)
      Pos=m_PtrPolygonList.GetHeadPosition();
   // Инициализируем прямоугольник значениями
   // первой точки первого полигона
   if(Pos!=NULL && (pPolygon=m_PtrPolygonList.GetAt(Pos))!=NULL &&
      pPolygon->m_PointsArray.GetSize()>0)
   {
       Frame.left=Frame.right=pPolygon->m_PointsArray[0].x;
       Frame.top=Frame.bottom=pPolygon->m_PointsArray[0].y;
   }
   else return;
   // Получаем габариты фигуры
   while(Pos!=NULL)
   {
       pPolygon=m_PtrPolygonList.GetNext(Pos);
       for(i=0; i<pPolygon->m_PointsArray.GetSize(); i++)
       {
           if(pPolygon->m_PointsArray[i].x<Frame.left)
              Frame.left=pPolygon->m_PointsArray[i].x;
           if(pPolygon->m_PointsArray[i].x>Frame.right)
              Frame.right=pPolygon->m_PointsArray[i].x;
           if(pPolygon->m_PointsArray[i].y>Frame.bottom)
              Frame.bottom=pPolygon->m_PointsArray[i].y;
           if(pPolygon->m_PointsArray[i].y<Frame.top)
              Frame.top=pPolygon->m_PointsArray[i].y;
       };
   }
   // Создаем область
```

```
   Rgn.CreateRectRgn(Frame.left, Frame.top, Frame.right, Frame.bottom);
}
```

Метод `C3DShape::AddPolygon()` предназначен для добавления новых "проволочек", образующих трехмерную фигуру, в список полигонов `m_PtrPolygonList`. В этом методе выполняется также расчет центра фигуры, вокруг которого затем будут производиться трехмерные преобразования (листинг 7.10).

Листинг 7.10. Метод `C3DShape::AddPolygon()`. Файл Shapes.cpp

```
void C3DShape::AddPolygon(C3DPolygon *pPolygon)
{
   m_PtrPolygonList.AddTail(pPolygon); // добавили в список
   // расчет центра
   POSITION Pos=NULL;
   C3DPolygon* pCurPolygon=NULL;
   WORD Count=0, i=0;
   if(m_PtrPolygonList.GetCount()>0)
      Pos=m_PtrPolygonList.GetHeadPosition();
   while(Pos!=NULL)
   {
       pCurPolygon=(C3DPolygon*)m_PtrPolygonList.GetNext(Pos);
       for(i=0; i<pCurPolygon->m_3DPointsArray.GetSize(); i++)
       {
           m_Percpective.O.x+=pCurPolygon->m_3DPointsArray[i].x;
           m_Percpective.O.y+=pCurPolygon->m_3DPointsArray[i].y;
           m_Percpective.O.z+=pCurPolygon->m_3DPointsArray[i].z;
       }
       Count+=i;
   }
   m_Percpective.O.x/=Count;
   m_Percpective.O.y/=Count;
   m_Percpective.O.z/=Count;
};
```

Метод `C3DShape::MakeProjection()` совсем прост, он только и делает, что вызывает одноименный метод для каждого трехмерного полигона, которому передает параметры наблюдения фигуры (листинг 7.11). Этот метод требуется вызывать, как только фигура создана (перед первым выводом фигуры на экран), а также каждый раз, после того как изменятся параметры наблюдения фигуры.

Листинг 7.11. Метод `C3DShape::MakeProjection()`. Файл Shapes.cpp

```
void C3DShape::MakeProjection()
{
   POSITION Pos=NULL;
   if(m_PtrPolygonList.GetCount()>0)
   Pos=m_PtrPolygonList.GetHeadPosition();
   while(Pos!=NULL)
      ((C3DPolygon*)m_PtrPolygonList.GetNext(Pos))->
                                        MakeProjection(m_Percpective);
};
```

Мы переопределили метод `OnKeyDown()` в классе `C3DShape` для того, чтобы иметь возможность изменять параметры наблюдения фигуры (листинг 7.12). В этом методе мы задействовали проверку состояния клавиши <Ctrl>: если она нажата, то клавишами "вверх", "вниз" можно изменить расстояние до экрана, на который выполняется проецирование фигуры.

Листинг 7.12. Метод `C3DShape::OnKeyDown()`. Файл Shapes.cpp

```
BOOL C3DShape::OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags, UINT nMyFlags)
{
   BOOL res=TRUE;
   if(nMyFlags & SHIFT_HOLD)
   switch(nChar)
   {
       // Up точка наблюдения выше
       case 38: m_Percpective.phi-=ROTATE_STEP; break;
       // Down точка наблюдения ниже
       case 40: m_Percpective.phi+=ROTATE_STEP; break;
       // Left точка наблюдения левее
       case 37: m_Percpective.theta-=ROTATE_STEP; break;
       // Right точка наблюдения правее
       case 39: m_Percpective.theta+=ROTATE_STEP; break;
       default: res=FALSE;
   }
   else
   if(nMyFlags & CTRL_HOLD)
   switch(nChar)
   {
```

```
        case 38: m_Percpective.d+=MOVE_STEP; break; // Up экран дальше
        case 40: m_Percpective.d-=MOVE_STEP; break; // Down экран ближе
        default: res=FALSE;
    }
    else // Перенос
    {
        switch(nChar)
        {
            case 38: m_Percpective.dy+= MOVE_STEP; break; // вверх
            case 40: m_Percpective.dy-= MOVE_STEP; break; // вниз
            case 37: m_Percpective.dx-= MOVE_STEP; break; // влево
            case 39: m_Percpective.dx+= MOVE_STEP; break; // вправо
            // Клавиша P вкл/выкл перспективные преобразования
            case 80:
          m_Percpective.with_perspective=!m_Percpective.with_perspective;
                break;
            default:res=FALSE;
        }
    }
    if(res)
       // Расчет проекции
       MakeProjection();
    return res;
};
```

7.5. Рисуем трехмерную поверхность

Ну что же, нам осталось только добавить в интерфейс программы Painter команды рисования какой-нибудь трехмерной фигуры. В целом этот процесс ничем не отличается от внедрения команд рисования рассмотренных ранее фигур, поэтому подробно на нем останавливаться не станем. Отличие заключается в том, что нам требуется сконструировать трехмерную фигуру из отдельных полигонов. Можно, конечно, написать специальные классы для создания конкретных фигур (куб, шар и т. д.). Однако для иллюстрации достаточно ввести в класс `CPainterView` специальную функцию (листинг 7.13). Предлагаю нарисовать трехмерную поверхность. Поэтому функцию назовем `AddSurface()`. Эта функция вызывается из метода `CPainterView::AddShape()` (листинг 7.14). В качестве параметров функция `AddSurface()` принимает точку и размер. Поверхность рассчитывается как функция `ZFunction()` на сетке из `_GRID_DENSITY*_GRID_DENSITY` узлов

в квадрате со стороной `size*2`, с центром в точке `first_point`. Функция `ZFunction()` определена в файле Global.cpp (листинг 7.15). Поверхность строится из полигонов-"проволочек", параллельных оси *X* и оси *Y*. Поверхность отображается на экране с учетом параметров наблюдения, заданных в конструкторе `3DShape`.

Листинг 7.13. Метод `CPainterView::AddSurface()`. Файл PainterView.cpp

```
const int _GRID_DENSITY=30;
CBasePoint* CPainterView::AddSurface(CPoint first_point, int size)
{
   C3DShape *pShape=NULL;
   pShape=new C3DShape();
   // Рассчитываем поверхность в заданной области
   double dx=(double)size*2/_GRID_DENSITY,
   dy=(double)size*2/_GRID_DENSITY;
   // Создаем 3D объект — поверхность, как набор 3D-полигонов
   POINT3D point3d;
   C3DPolygon *p3DPolygon=NULL;
   for(int i=0, j=0; i<_GRID_DENSITY; i++)
   {
       p3DPolygon=new C3DPolygon();
       for(j=0; j<_GRID_DENSITY; j++)
       {
           point3d.x=first_point.x+dx*i — size;
           point3d.y=first_point.y+dy*j — size;
           point3d.z=ZFunction(fabs(first_point.x-point3d.x),
                               fabs(first_point.y-point3d.y));
           p3DPolygon->AddPoint(point3d);
       }
       pShape->AddPolygon(p3DPolygon);
   }

   for(j=0; j<_GRID_DENSITY; j++)
   {
       p3DPolygon=new C3DPolygon();
       for(i=0; i<_GRID_DENSITY; i++)
       {
```

```
            point3d.x=first_point.x+dx*i – size;
            point3d.y=first_point.y+dy*j – size;
            point3d.z=ZFunction(fabs(first_point.x-point3d.x),
                      fabs(first_point.y-point3d.y));
            p3DPolygon->AddPoint(point3d);
         }
      pShape->AddPolygon(p3DPolygon);
      }
      pShape->MakeProjection();
      return pShape;
};
```

Листинг 7.14. Метод `CPainterView::AddShape()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::AddShape(int shape, CPoint first_point, CPoint second_point)
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CBasePoint *pShape=NULL;
   // Расчет размера
   int size=0;
   size=(int) floor( sqrt((second_point.x-first_point.x)*
                          (second_point.x-first_point.x)+
                          (second_point.y-first_point.y)*
                          (second_point.y-first_point.y)) +0.5);
   switch(shape)
   {
       case OP_LINE:
          break;
       case OP_POINT:
          // Создаем объект – точку
          pShape=new CBasePoint(second_point.x, second_point.y, 100);
          // Светло-серая заливка
          pShape->SetBrush(RGB(200,200,200));
          break;
       case OP_CIRCLE:
          // Создаем объект – круг
          pShape=new CBasePoint(first_point.x, first_point.y, size);
          // Черная линия шириной 2 мм
          pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 200, PS_GEOMETRIC);
```

```
            // Темно-серая заливка
            pShape->SetBrush(RGB(100,100,100));
            break;
         case OP_SQUARE:
            // Создаем объект — квадрат
            pShape=new CSquare(first_point.x, first_point.y, size*2);
            // Красная линия шириной 1 мм
            pShape->SetPen(RGB(200,0,0), 100, PS_GEOMETRIC);
            // Темно-серая диагональная штриховка
            pShape->SetBrush(RGB(100,100,100),0,HS_DIAGCROSS);
            break;
         case OP_SURFACE:
            // Создаем объект — поверхность
            pShape=AddSurface(first_point, size);
            break;
      }
      if(pShape!=NULL) // Создали фигуру
      {
          // Добавляем в конец списка
          pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
         // Последняя фигура становится активной
         pDoc->m_pSelShape=pShape;
         // Указываем, что документ изменен
         pDoc->SetModifiedFlag();
      }
}
```

Листинг 7.15. Функция `ZFunction()`. Файл Global.cpp

```
double ZFunction(double x, double y)
{
   return (x*x+y*y)/10000;
};
```

Работа программы с функцией рисования поверхностей показана на рис. 7.18.

Для иллюстрации эффекта перспективы на рис. 7.19 и 7.20 показаны две трехмерные плоскости ($z = 10\,000$) с включенным и выключенным режимами расчета перспективных преобразований.

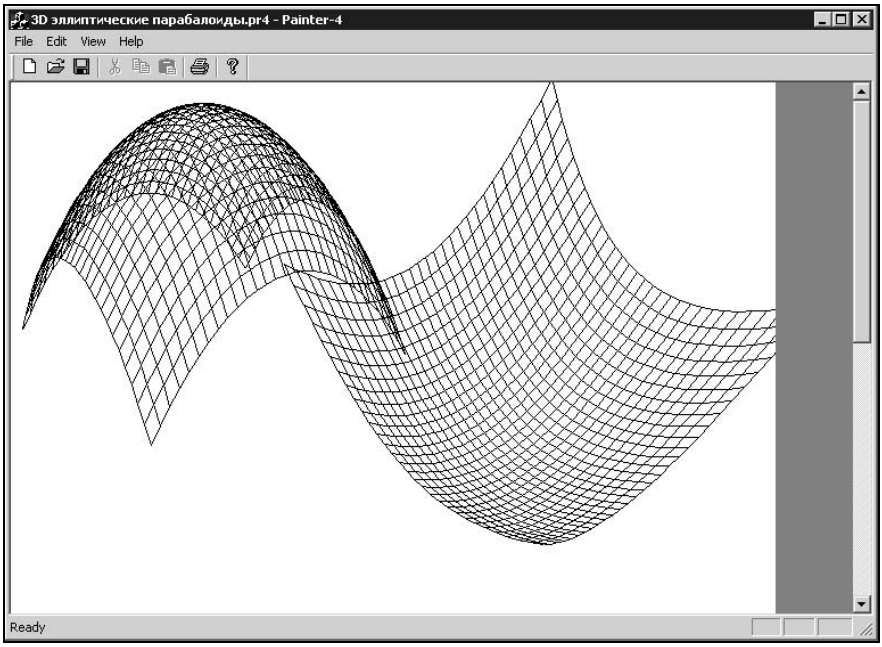


Рис. 7.18. Рисунок с трехмерными поверхностями

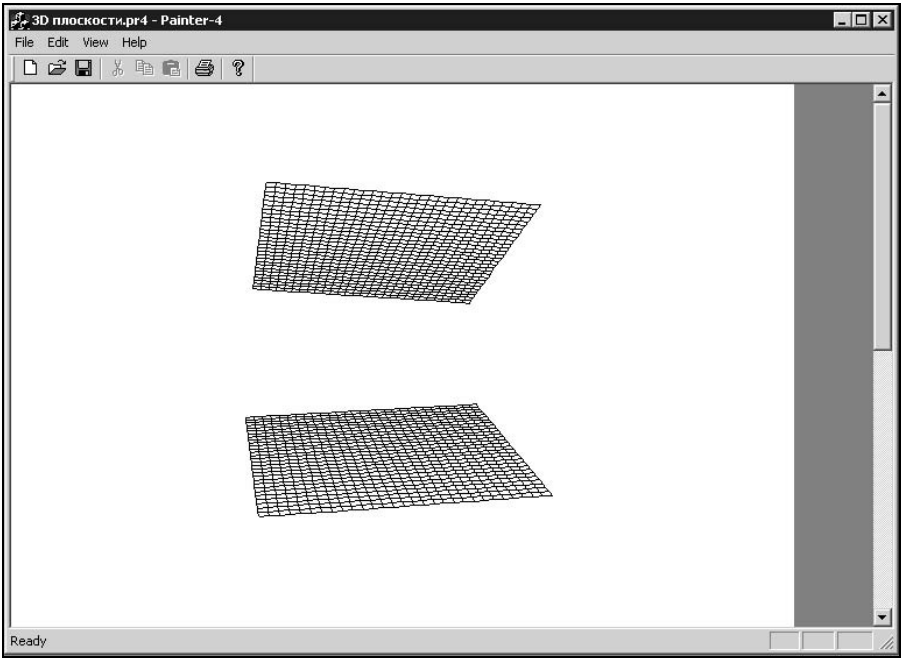


Рис. 7.19. Плоскости с включенным режимом расчета перспективных преобразований

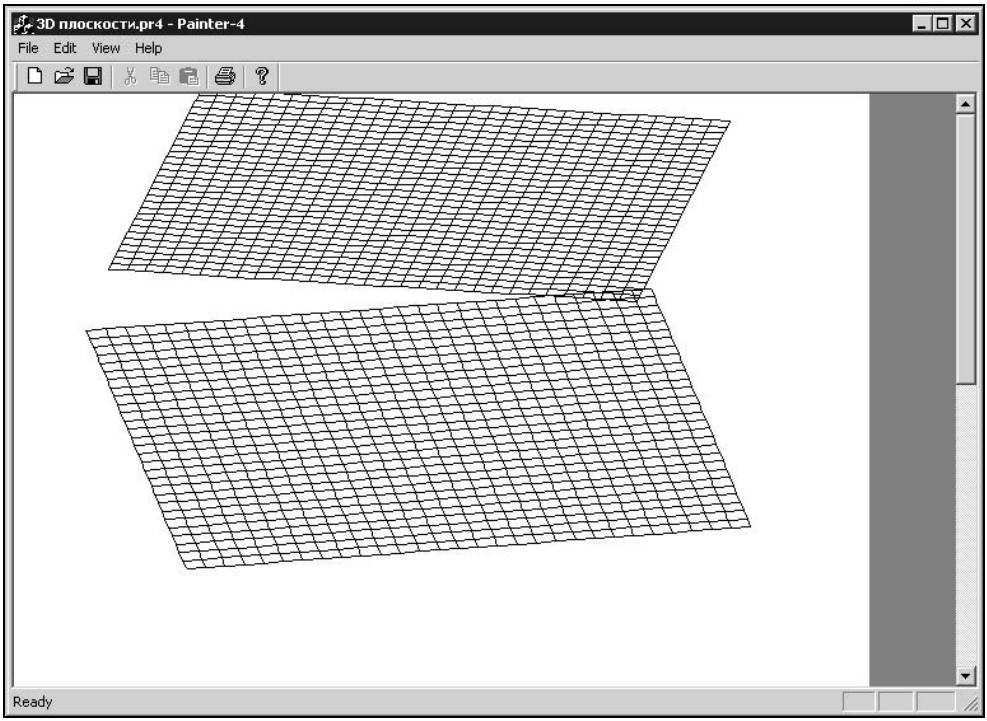


Рис. 7.20. Плоскости с выключенным режимом расчета перспективных преобразований

7.5.1. Построение линий уровня на поверхности

При визуализации данных, полученных экспериментальным или расчетным путем, часто встречается задача построения линий уровня на поверхностях. В частности, линии уровня знакомы нам по географическим картам, на которых они служат для обозначения высоты местности над уровнем моря.

Используя класс трехмерных фигур, мы тоже вполне можем решить данную задачу. Все, что для этого нам потребуется, — это завести еще несколько функций, и немного модифицировать метод `CPainterView::AddSurface()`.

Пусть поверхность некоторой функции $z = f(x, y)$ задана массивом значений z(x, y), рассчитанных на сетке $x = (X_{min}, ..., X_{max})$, $y = (Y_{min}, ..., Y_{max})$ (рис. 7.21). Для нахождения линии уровня L требуется найти пересечение поверхности $z = f(x, y)$ с плоскостью $z = L$.

В этом случае общий подход к построению линии уровня заключается в следующем:

1. Выполняется триангуляция поверхности, каждая ячейка сетки разбивается на два треугольника (рис. 7.22).

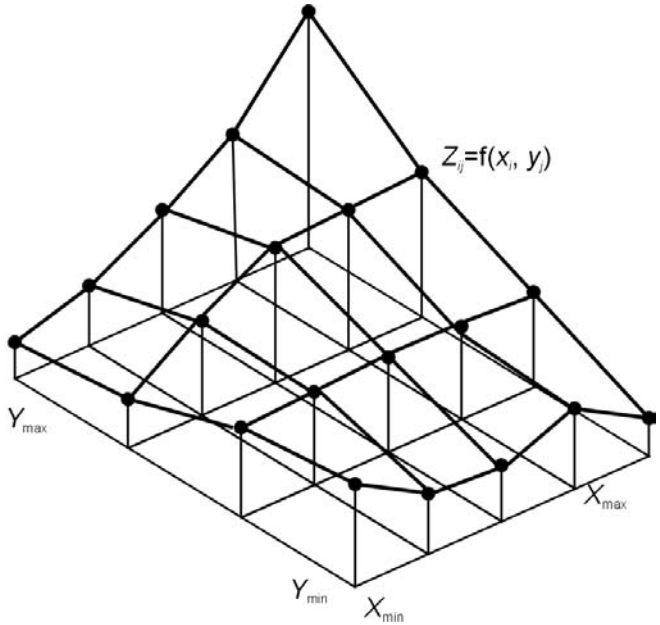


Рис. 7.21. Поверхность $z = f(x, y)$

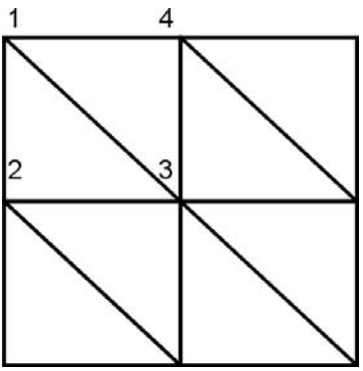


Рис. 7.22. Триангуляция поверхности

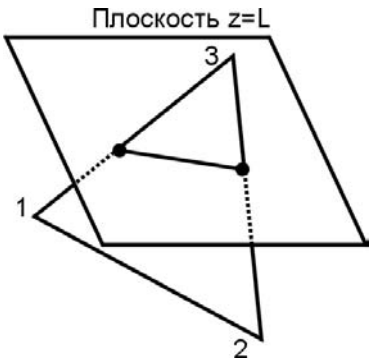


Рис. 7.23. Пересечение треугольника с плоскостью $z = L$

2. Для каждого треугольника находится пересечение с плоскостью L (рис. 7.23).

Этот метод достаточно прост и позволяет получить хорошее изображение линии уровня. Надо отметить, что линия уровня может быть с разрывами. Отдельные составные части линии будем называть *сегментами*. Общая схема построения линии уровня показана на рис. 7.24.

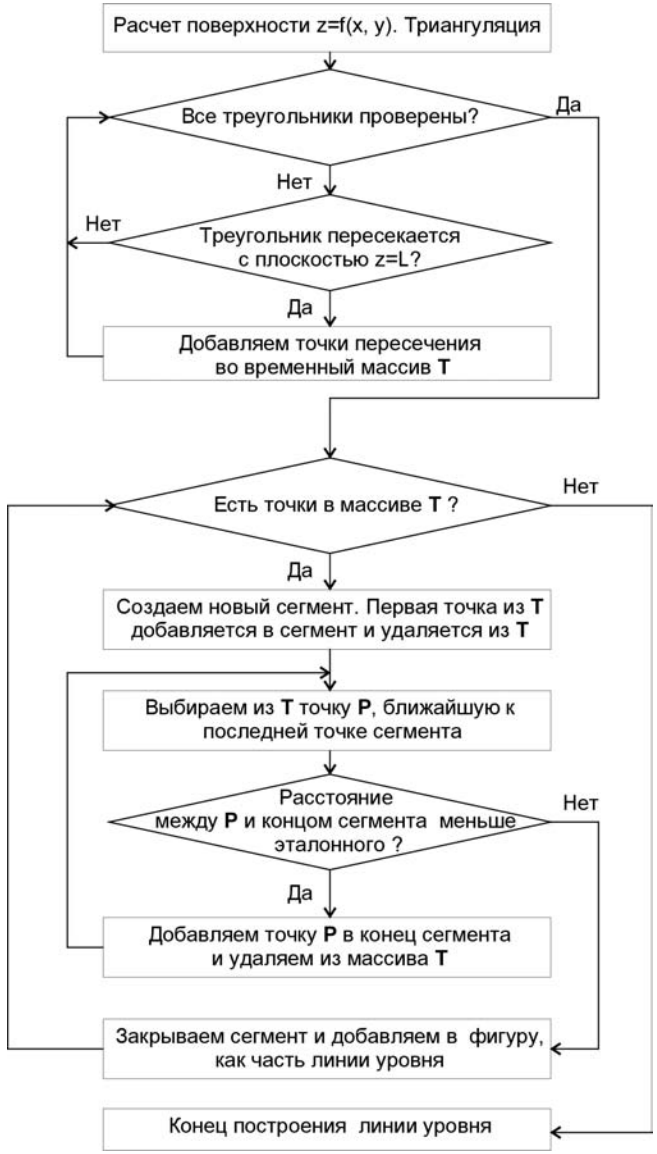


Рис. 7.24. Схема построения линии уровня

Для реализации описанного подхода несколько модифицируем метод `CPainterView::AddSurface()` таким образом, чтобы значения узлов сетки поверхности запоминались в массиве, который затем будем использовать для построения поверхности (листинг 7.16). Кроме того, будем определять минимальное и максимальное значения `z`, которые затем используем для расчета нескольких промежуточных уровней.

Листинг 7.16. Модифицированный метод `CPainterView::AddSurface()`. Файл PainterView.cpp

```
const int _GRID_DENSITY=30;
const int _LEVELS_DENSITY=5;
CBasePoint* CPainterView::AddSurface(CPoint first_point, int size)
{
   C3DShape *pShape=NULL;
   pShape=new C3DShape();

   // Рассчитываем поверхность в заданной области
   // dx, dy — шаг сетки
   double dx=(double)size*2/_GRID_DENSITY,
          dy=(double)size*2/_GRID_DENSITY;
   // Массив точек поверхности используется для временного хранения
   POINT3D point3d[_GRID_DENSITY*_GRID_DENSITY];
   // Создаем 3D объект — поверхность, как набор 3D-полигонов
   C3DPolygon *p3DPolygon=NULL;
   // Добавляем "проволочки" вдоль оси Y
   for(int i=0, j=0; i<_GRID_DENSITY; i++)
   {
       p3DPolygon=new C3DPolygon();
       for(j=0; j<_GRID_DENSITY; j++)
       {
           point3d[j*_GRID_DENSITY+i].x=first_point.x+dx*i - size;
           point3d[j*_GRID_DENSITY+i].y=first_point.y+dy*j - size;
           point3d[j*_GRID_DENSITY+i].z=
           ZFunction(fabs(first_point.x-point3d[j*_GRID_DENSITY+i].x),
                     fabs(first_point.y-point3d[j*_GRID_DENSITY+i].y));
           p3DPolygon->AddPoint(point3d[j*_GRID_DENSITY+i]);
       }
       pShape->AddPolygon(p3DPolygon);
   }
   double minz=point3d[0].z, maxz=point3d[0].z;
   // Добавляем "проволочки" вдоль оси X
   for(j=0; j<_GRID_DENSITY; j++)
   {
       p3DPolygon=new C3DPolygon();
       for(i=0; i<_GRID_DENSITY; i++)
```

```
        {
            p3DPolygon->AddPoint(point3d[j*_GRID_DENSITY+i]);
            // Определяем пределы изменения Z
            if(point3d[j*_GRID_DENSITY+i].z<minz)
               minz=point3d[j*_GRID_DENSITY+i].z;
            if(point3d[j*_GRID_DENSITY+i].z>maxz)
               maxz=point3d[j*_GRID_DENSITY+i].z;
        }
        pShape->AddPolygon(p3DPolygon);
    }
    // Строим линии уровня
    double l_step=(maxz-minz)/_LEVELS_DENSITY;
    int color_step=200/_LEVELS_DENSITY; // изменение цвета
    for(i=0; i<_LEVELS_DENSITY; i++)
    AddRsection(pShape, point3d, _GRID_DENSITY, _GRID_DENSITY,
      minz + l_step/2 + l_step*i, RGB(0,0, 55+color_step*i));
    // Рассчитать проекцию на экран
    pShape->MakeProjection();
    return pShape;
};
```

В методе `CPainterView::AddSurface()` вызывается функция `AddRsection()`. Каждый вызов этой функции добавляет в объект класса `C3DShape` линию заданного уровня. В качестве аргументов в функцию передаются: указатель на объект, в который будет добавлена линия уровня, массив узлов сетки, задающих поверхность, количество узлов сетки, значение уровня и цвет. Внутри функции для каждого треугольника находится его пересечение с плоскостью $z = L$. Точки пересечения каждого треугольника с плоскостью добавляются в общий временный массив. Этот массив затем сортируется, и из него формируется один или несколько (так как линия уровня может быть прерывистая) трехмерных полигонов — объектов класса `C3DPolygon`. Функция `AddRsection()`, функция нахождения пересечения треугольника с плоскостью `AddTriangleSection()`, а также функции `CutCross()` для расчета координат пересечения отрезка с плоскостью и `Dist()` для расчета расстояния между двумя точками приведены в листинге 7.17. Данные функции являются глобальными, их прототипы определены в файле Shapes.h.

Листинг 7.17. Функции для построения линий уровня. Файл Shapes.cpp

```
int AddRsection(C3DShape *pShape, POINT3D *pSur, int x_size, int y_size,
double level, COLORREF color)
{
```

```
if(x_size<2 || y_size<2) return 0;
// Полигон для временного хранения точек линии уровня
C3DPolygon *pTempPolygon=new C3DPolygon();
if(pTempPolygon==NULL) return 0;
// Разбиваем поверхность на треугольники и пробуем найти пересечение
// для каждого треугольника и плоскости level.
// Точки пересечения добавляем в pTempPolygon
for(int x=0, y=0; y<y_size-1; y++)
   for(int x=0;  x<x_size-1; x++)
   {
       AddTriangleSection(pTempPolygon, &pSur[y*x_size+x],
              &pSur[(y+1)*x_size+x+1], &pSur[y*x_size+x+1], level);
       AddTriangleSection(pTempPolygon, &pSur[y*x_size+x],
              &pSur[(y+1)*x_size+x], &pSur[(y+1)*x_size+x+1], level);
   }
// Из полученного набора точек создаем аккуратные полигончики
// Для упрощения работы с точками получим ссылку на данные
// Это, конечно, не лучшая иллюстрация принципов ООП, зато удобно :)
CArray <POINT3D, POINT3D> &TempPointsArray=
                                  pTempPolygon->m_3DPointsArray;
int pos=0, posmin=0;
POINT3D EndSegPoint;
double D=0, dcur=0, dmin=0; // расстояние между точками
C3DPolygon *pSeg;
BOOL fContinueSeg=TRUE; // флаг "продолжить текущий сегмент"
// Вычисляем эталонное расстояние между точками —
// диагональ сетки на плоскости
POINT3D P1=pSur[0], P2=pSur[x_size+1];  P1.z=P2.z=0;
D=Dist(&P1, &P2);
// Пока во временном массиве осталась хотя бы пара точек
// создаем из массива сегменты сечения
while(TempPointsArray.GetSize()-1>0)
{
    // Новый сегмент — полигон
    pSeg=new C3DPolygon(); fContinueSeg=TRUE;
    if(pSeg==NULL) return 0;
    // Установим цвет
    pSeg->SetPen(color);
    // Первая точка - начало и конец сегмента
    pSeg->AddPoint(TempPointsArray[0]);
```

```
EndSegPoint=TempPointsArray[0];
// Удаляем точку из общего массива точек
TempPointsArray.RemoveAt(0);
// Продолжаем полигон
while(fContinueSeg )
{
   posmin=0;
   dmin=D*2;
   // С начала массива
   // Выбираем ближайшую к концу сегмента точку
   for(pos=0; pos<TempPointsArray.GetSize(); pos++)
   {
       dcur=Dist(&EndSegPoint, &TempPointsArray[pos]);
       if(dcur<dmin) // запоминаем позицию(номер) ближайшей точки
           {dmin=dcur; posmin=pos;}
   }
   if(dmin<=D) // расстояние до ближайшей точки меньше эталонного,
   {
       // но все-таки точка не совпадает с концом сегмента,
       // поэтому добавим ее в сегмент
       if(dmin>D/1000)
       {
           // Ближайшую точку в сегмент
           pSeg->AddPoint(TempPointsArray[posmin]);
           // Новая точка становится концом сегмента
           EndSegPoint=TempPointsArray[posmin];
       }
       // Удаляем эту точку
       TempPointsArray.RemoveAt(posmin);
   }
   else // не нашли близкой к концу точки - закрываем сегмент
      fContinueSeg=FALSE;
};
// Проверим, может стоит замкнуть сегмент
if(pSeg->m_3DPointsArray.GetSize()>2)
   if(Dist(&pSeg->m_3DPointsArray[0],
     &pSeg->m_3DPointsArray[pSeg->m_3DPointsArray.GetSize()-1])<D)
      pSeg->AddPoint(pSeg->m_3DPointsArray[0]);

// Добавляем полигон в фигуру
```

```
        pShape->AddPolygon(pSeg);
    }
    // Временный полигон нам больше не нужен
    delete pTempPolygon;
    return 1;
}

void AddTriangleSection(C3DPolygon *p3DPolygon, POINT3D *pP1,
                        POINT3D *pP2, POINT3D *pP3, double level)
{
    int  f1,f2,f3;
    double x1,x2,x3,y1,y2,y3;
    POINT3D P1, P2;
    if(!((pP1->z==level)&&(pP2->z==level)&&(pP3->z==level)) &&
       !((pP1->z>level)&&(pP2->z>level)&&(pP3->z>level)) &&
       !((pP1->z<level)&&(pP2->z<level)&&(pP3->z<level)) )
    if((pP1->z==level)&&(pP2->z==level)) // сторона в плоскости — добавляем
    {
       p3DPolygon->AddPoint(*pP1);
       p3DPolygon->AddPoint(*pP2);
    }
    else
    if((pP2->z==level)&&(pP3->z==level)) // сторона в плоскости — добавляем
    {
        p3DPolygon->AddPoint(*pP2);
        p3DPolygon->AddPoint(*pP3);
    }
    else
    if((pP3->z==level)&&(pP1->z==level)) // сторона в плоскости — добавляем
    {
        p3DPolygon->AddPoint(*pP3);
        p3DPolygon->AddPoint(*pP1);
    }
    else
    {   // Находим пересечение каждой стороны треугольника с плоскостью
        f1=CutCross(level,pP1, pP2, x1, y1);
        f2=CutCross(level,pP2, pP3, x2, y2);
        f3=CutCross(level,pP3, pP1, x3, y3);
        if(f1&&f2)
```

```
        {
            P1.x=x1; P1.y=y1; P1.z=level;
            P2.x=x2; P2.y=y2; P2.z=level;
            p3DPolygon->AddPoint(P1);
            p3DPolygon->AddPoint(P2);
        }
        if(f2&&f3)
        {
            P1.x=x2; P1.y=y2; P1.z=level;
            P2.x=x3; P2.y=y3; P2.z=level;
            p3DPolygon->AddPoint(P1);
            p3DPolygon->AddPoint(P2);
        }
        if(f1&&f3)
        {
            P1.x=x1; P1.y=y1; P1.z=level;
            P2.x=x3; P2.y=y3; P2.z=level;
            p3DPolygon->AddPoint(P1);
            p3DPolygon->AddPoint(P2);
        }
    }// ~else
}

int CutCross(double level, POINT3D *pP1, POINT3D *pP2,
             double &x, double &y)
{
    if( (pP1->z<level && pP2->z<level) || // отрезок под плоскостью level
       (pP1->z>level && pP2->z>level) ||  // отрезок над плоскостью level
       (pP1->z==pP2->z)  )                // отрезок в плоскости level
      {x=pP1->x; y=pP1->y; return 0;}
    else
    {
        x=pP2->x-(pP1->x-pP2->x)*(level-pP2->z)/(pP2->z-pP1->z);
        y=pP2->y-(pP1->y-pP2->y)*(level-pP2->z)/(pP2->z-pP1->z);
        return 1;
    }
}

double Dist(POINT3D *pP1, POINT3D* pP2)
```

```
{
   if(pP1==NULL||pP2==NULL) return 0;
   return sqrt(pow(pP1->x-pP2->x, 2)+
               pow(pP1->y-pP2->y, 2)+
               pow(pP1->z-pP2->z, 2));
};
```

7.6. Заключение

Текст программы находится на компакт-диске в каталоге Sources\Painter4.

Рисунки с поверхностями можно найти на диске в каталоге Pics\Painter файлы: "Этюд с поверхностями.pr4", "Поверхности из линий уровня.pr4" и др. Просмотреть и изменить эти рисунки можно программой Painter версии 4.

Надо отметить, что приведенная реализация построения поверхности далеко не оптимальна. Достаточно лишь того, что каждый узел поверхности дублируется — это, соответственно, удваивает все расчеты и расходуемый объем памяти. Поэтому, если построение поверхностей — важная составляющая вашего приложения, целесообразно придумать более удачную реализацию. Можно начать хотя бы с того, что сконструировать свой класс для работы с поверхностями, глобальные функции, обеспечивающие построение линий уровня сделать членами этого класса. Для линий уровня добавить подписи значений уровней. В результате можно получить средство для визуализации результатов численного моделирования (рис. 7.25).

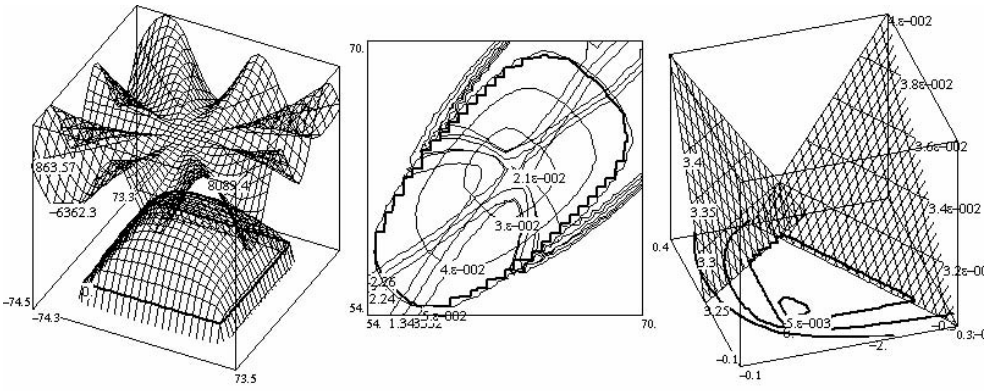


Рис. 7.25. Использование поверхностей и линий уровня для визуализации расчетных данных в программе проектирования технических устройств

Поэкспериментируйте с различными функциями $z = f(x, y)$ — это может оказаться интересным. Что хорошо, так это то, что в нашей программе уже

реализованы методы по сохранению, загрузке трехмерных объектов. Поэтому программа Painter 4 умеет сохранять рисунки с поверхностями. Один из таких шедевров приведен на рис. 7.26.

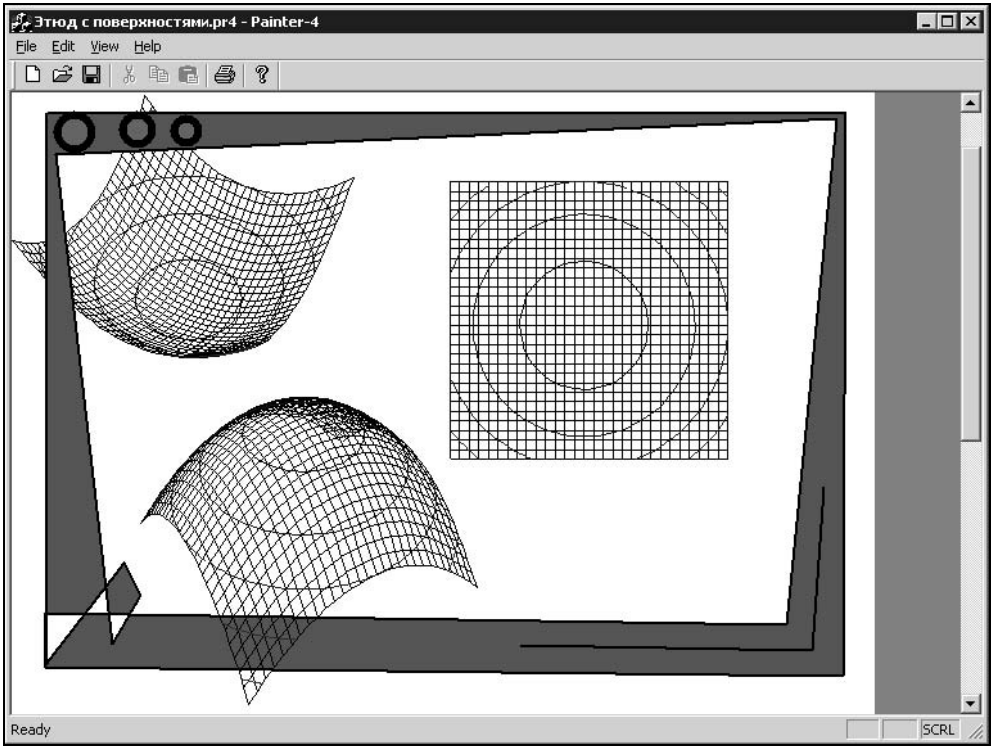
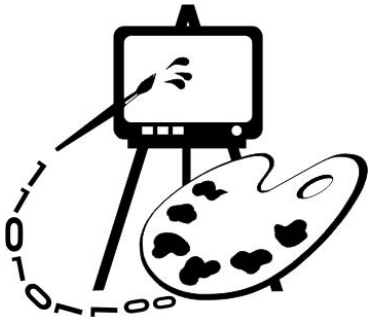


Рис. 7.26. Творение в Painter 4

Дополнительно можно порекомендовать изучить литературу [17]. В этой книге в *главе 12* приводится несколько интересных алгоритмов визуализации данных.

Глава 8

Построение кривых



Ломаная кривая. Нет! Ломаная прямая. Нет!
Ломаная линия. Во!

Студенческий фольклор.

В этой главе рассматриваются:

- определения;
- параметрическое задание кривых;
- некоторые сплайновые кривые;
- программная реализация построения сплайновых кривых (программа Bezier).

Задачи построения кривой, соединяющей набор базовых точек, возникают во многих областях народного хозяйства. Например, бравые капитаны планируют на картах дальних морей маршруты своих судов (порты в данном случае вполне могут играть роль базовых точек). Отважные экспериментаторы проводят свои опыты и получают графики экспериментальных зависимостей, которые затем используют для доказательства своих теоретических предпосылок, а может и в иных, неизвестных нам целях. Талантливые дизайнеры, наметив точками контуры будущего изделия, придают своим эскизам законченные формы, соединяя точки линиями. Короче говоря, на своем жизненном пути, кривые приходится рисовать практически всем. Более того, сам жизненный путь мало у кого бывает прямым. Поэтому рассмотрим некоторые практические приемы построения кривых.

В данной главе мы коснемся лишь прикладного аспекта данной проблемы. Для более подробного ознакомления с математическими основами построения кривых и поверхностей можно порекомендовать книги [13, 14].

8.1. Определения

Сначала дадим несколько общих определений.

- *Сплайн* — кривая, удовлетворяющая некоторым критериям гладкости.

- *Базовые (опорные) точки* — набор точек, на основе которых выполняется построение кривой.
- *Интерполяция* — построение кривой, точно проходящей через набор базовых точек.
- *Аппроксимация* — сглаживание, приближение, т. е. построение гладкой кривой, проходящей не через набор базовых точек, а вблизи них.
- *Экстраполяция* — построение линии за пределами интервала, заданного набором базовых точек.

В простейшем случае интерполяция может быть реализована путем соединения базовых точек отрезками прямых линий (рис. 8.1), этот способ называется *линейной интерполяцией*. Такая кривая точно проходит через набор базовых точек и отлично подходит, например, для иллюстрации динамики курса валют. Однако, если этот набор базовых точек получен в результате некоторого эксперимента, то линейная интерполяция может не очень точно отражать поведение объекта эксперимента на интервалах между базовыми точками. Кроме того, такая интерполяция часто неудовлетворительна с эстетической точки зрения. Поэтому более приемлемой может быть интерполяция с помощью некоторой гладкой кривой.

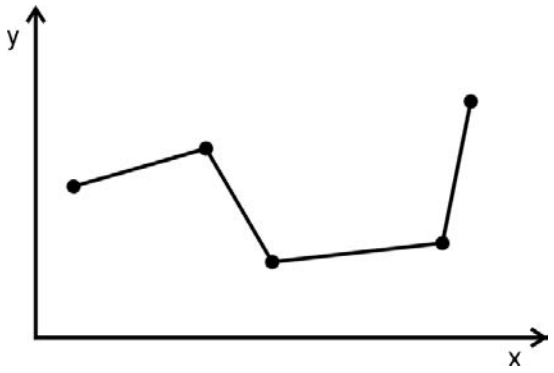


Рис. 8.1. Линейная интерполяция

Критерием гладкости является существование производных функции, описывающей кривую. Какого порядка существует производная — такого порядка и гладкость. Обычно достаточно гладкой считается функция, если она имеет производную первого или второго порядка.

Гладкая интерполяционная кривая на основе набора базовых точек из $n + 1$ штук может быть построена с помощью полинома степени n.

Полиномом называется функция вида:

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ + a_1 x + a_0 = y. \qquad (8.1)$$

В формуле (8.1) неизвестными являются коэффициенты полинома a_i, $i = (0, 1, ..., n)$. Для того чтобы их найти, подставляем в уравнение $n + 1$ раз координаты из набора базовых точек. В результате получаем систему из $n + 1$ линейных относительно a_i уравнений.

Например, если набор точек состоит из трех штук, то степень полинома будет $n = 2$, а коэффициенты a_i можно получить из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} a_2 x_1^2 + a_1 x_1 + a_0 = y_1 \\ a_2 x_2^2 + a_1 x_2 + a_0 = y_2 \\ a_2 x_3^2 + a_1 x_3 + a_0 = y_3 \end{cases}.$$

При этом важно, чтобы координаты одной и той же точки не присутствовали в наборе дважды, иначе система не будет иметь решения.

Недостатки такого подхода (когда весь набор базовых точек описывается одной функцией):

- графикам полиномов высоких степеней характерно сильное "волнение" в промежутках между базовыми точками;
- за пределами интервала базовых точек полиномы имеют тенденцию неограниченно возрастать или убывать;
- чем больше точек в наборе (выше степень полинома), тем больше уравнений для нахождения коэффициентов.

Чтобы избежать всех этих сложностей при построении гладких кривых, используют подход, заключающийся в формировании составной кривой из отдельных частей (сегментов).

Составную кривую второго порядка гладкости можно образовать из дуг обыкновенных полиномов третьей степени. Для расчета коэффициентов такого полинома требуется четыре базовых точки. Таким образом, каждый сегмент составной кривой строится на основе четырех точек. Чтобы обеспечить гладкость в местах стыковки сегментов, построение кривой осуществляется лишь между двумя "внутренними" точками каждой четверки, а сами четверки выбираются с "перекрытием", т. е. первой точкой очередной четверки выбирается вторая точка предыдущей четверки. Например, сегмент 1 (рис. 8.2) строится на основе точек 0, 1, 2, 3, а сегмент 2 на основе точек 1, 2, 3, 4 и т. д. При таком подходе, чтобы построить кривую, начинающуюся в первой точке и заканчивающуюся в последней точке набора, концевые точки дублируются.

Выше предполагалось, что координаты базовых точек заданы в виде $y_i(x_i)$ и расположены в порядке возрастания значения их абсциссы. Например, случай, когда у разных точек набора абсциссы совпадают (рис. 8.3) не

допускался. Поэтому сложные кривые (замкнутые или самопересекающиеся) удобно описывать при помощи параметрических уравнений.

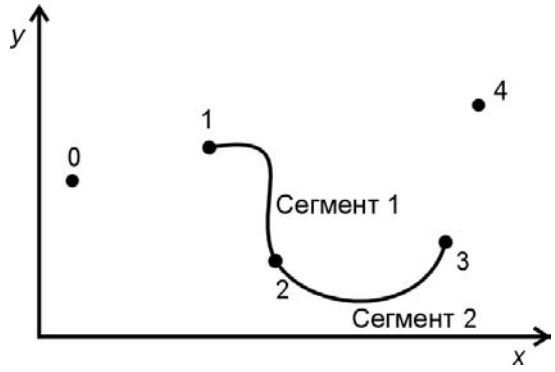


Рис. 8.2. Составная сплайновая кривая

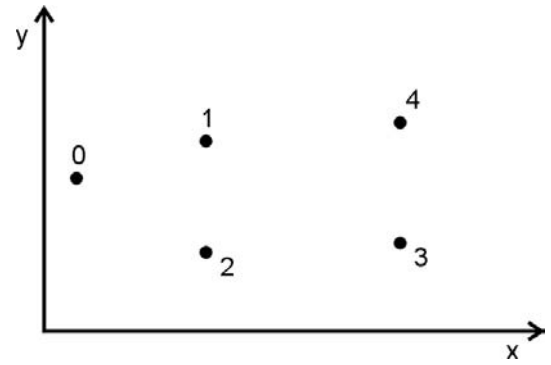


Рис. 8.3. Недопустимый набор точек

8.2. Параметрическое задание кривых

Уравнения вида:

$$x = x(t),\ y = y(t),\ z = z(t),\ \alpha \le t \le \beta \qquad (8.2)$$

называют параметрическим заданием кривой (в данном случае в трехмерном пространстве), при этом переменная t называется параметром.

Обозначим функции $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ вектором $\boldsymbol{R}$: $\boldsymbol{R}(t) = (x(t), y(t), z(t))$, а массив опорных точек вектором $\boldsymbol{P}$: $\boldsymbol{P} = \{P_i(x_i, y_i, z_i),\ i = 0, 1, 2, ..., n\}$. Для каждой координаты рассчитывается своя независимая сплайновая кривая. Позиция точки, соответствующая некоторому заданному t, на каждой из параметрических кривых $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ и составляет положение точки (x, y, z) на сплайновой кривой. При этом значение $t = \alpha$ соответствует начальной точке

сплайновой кривой, $t = \beta$ — конечной. "Пробегая" значения от α до β параметр t задает положение каждой точки сплайновой кривой.

На практике для построения сплайновой кривой обычно используют метод составления линии из отдельных сегментов, описываемых элементарными уравнениями, как правило, третьей степени. При этом поступают следующим образом.

Для построения кривой на участке между точками с номерами i и $i + 1$ берут четверку точек с номерами $i - 1$, i, $i + 1$, $i + 2$.

Задают диапазон изменения параметра $0 \le t \le 1$. Значение параметра $t = 0$ соответствует начальной точке на участке кривой между точками с номерами i и $i + 1$. Значение параметра $t = 1$ соответствует конечной точке на участке кривой между точками с номерами i и $i + 1$. Значения $0 < t < 1$ соответствуют внутренним точкам данного участка.

Разбивают диапазон изменения параметра на m частей (например, $m = 10$).

На основе значений соответствующих координат четверки базовых точек и значения t_k, $k = (0, 1, ..., m)$, рассчитываются m промежуточных точек сплайновой кривой на участке между базовыми точками с номерами i и $i + 1$.

Рассчитанные на предыдущем шаге точки соединяются прямыми линиями. Таким образом, чем выше значение m, тем более точно будет аппроксимирована сплайновая кривая.

Достоинства такого подхода:

- упрощение расчетов;
- использование уравнений невысоких степеней;
- при добавлении точки в базовый набор необходимо пересчитать лишь четыре сегмента кривой.

При построении составной сплайновой кривой важно выполнение некоторых условий гладкости в точках их стыковки. Только в этом случае составная кривая будет обладать достаточно хорошими геометрическими характеристиками. Чтобы учесть это обстоятельство удобно использовать класс так называемых геометрически непрерывных кривых.

Составная кривая называется *геометрически непрерывной*, если вдоль этой кривой единичный вектор ее касательной изменяется непрерывно, и *дважды геометрически непрерывной*, если и вектор кривизны также меняется непрерывно.

8.3. Сплайновые кривые

Существует большое количество разных вариантов сплайновых кривых, отличающихся своими свойствами. Приведем примеры некоторых из них.

8.3.1. Интерполяционная кривая Catmull-Rom

По заданному массиву точек P_0, P_1, P_2, P_3 сплайновая кривая Catmull-Rom определяется при помощи уравнения, имеющего следующий вид:

$$\boldsymbol{R}(t)=\frac{1}{2}\left(-t(1-t)^2P_0+\left(2-5t^2+3t^3\right)P_1+t\left(1+4t-3t^2\right)P_2-t^2(1-t)P_3\right), \quad (8.3)$$

$$0 \le t \le 1.$$

Свойства составной сплайновой кривой Catmull-Rom:

- проходит точно через опорные точки;
- является геометрически непрерывной;
- набор базовых функций однозначно определяет кривую, т. е. нет возможности регулировать ее форму.

Поскольку сплайновая кривая Catmull-Rom является интерполяционной, то она проходит через каждую из базовых точек. Однако при построении составной сплайновой кривой каждый сегмент рассчитывается на участке между парой внутренних точек очередной четверки из набора базовых точек. Поэтому для построения составной сплайновой интерполяционной кривой, начинающейся в первой базовой точке и заканчивающейся в последней базовой точке, достаточно дополнить набор копиями первой и последней точек. Копия начальной точки при этом добавляется в начало набора, а копия последней точки в конец набора.

Построить замкнутую интерполяционную сплайновую кривую можно, дополнив набор базовых точек из n штук точками: $P_{n+1} = P_0$, $P_{n+2} = P_1$, $P_{n+3} = P_2$.

8.3.2. Элементарная Бета-сплайновая кривая

По заданному массиву точек P_0, P_1, P_2, P_3 Бета-сплайновая кривая описывается уравнением:

$$\boldsymbol{R}(t) = b_0(t)P_0 + b_1(t)P_1 + b_2(t)P_2 + b_3(t)P_3, \quad (8.4)$$

$$0 \le t \le 1.$$

Функциональные коэффициенты $b_0(t)$, $b_1(t)$, $b_2(t)$, $b_3(t)$ задаются следующими формулами:

$$b_0(t)=\frac{2\beta_1^3}{\delta}(1-t)^3,$$

$$b_1(t)=\frac{1}{\delta}\left(2\beta_1^3t\left(t^2-3t+3\right)+2\beta_1^2\left(t^3-3t+2\right)+2\beta_1\left(t^3-3t+2\right)+\beta_2\left(2t^3-3t^2+1\right)\right),$$

$$b_2(t)=\frac{1}{\delta}\left(2\beta_1^2t^2\left(-t+3\right)+2\beta_1t\left(-t^2+3\right)+2\beta_2t^2\left(-2t+3\right)+2\left(-t^3+1\right)\right),$$

$$b_3(t) = \frac{2t^3}{\delta},$$

где $\beta_1 > 0$ и $\beta_2 \geq 0$ и $\delta = 2\beta_1{}^3 + 4\beta_1{}^2 + 4\beta_1 + \beta_2 + 2$.

Числовые параметры β_1 и β_2 называются параметрами формы Бета-сплайновой кривой, параметр β_1 называется параметром скоса (смещения), а параметр β_2 — параметром натяжения.

Свойства составной Бета-сплайновой кривой:

- проходит внутри выпуклой оболочки, заданной опорными точками;
- является дважды геометрически непрерывной кривой;
- параметры β_1 и β_2 позволяют регулировать ее форму.

Составная Бета-сплайновая кривая, как правило, не проходит ни через одну из базовых точек. Однако известно, что начальная точка кривой обязательно лежит в треугольнике, образованном тремя начальными базовыми точками, а конечная точка кривой — в треугольнике, образованном тремя конечными базовыми точками. Поэтому для построения составной Бета-сплайновой кривой, начинающейся в первой базовой точке и заканчивающейся в последней базовой точке, достаточно дополнить набор двумя копиями первой точки и двумя копиями последней точки.

Построить замкнутую Бета-сплайновую кривую можно, дополнив набор базовых точек из n штук точками: $P_{n+1} = P_0$, $P_{n+2} = P_1$, $P_{n+3} = P_2$.

8.3.3. Сплайновая кривая Безье

По заданному массиву точек P_0, P_1, P_2, P_3 сплайновая кубическая элементарная кривая Безье описывается уравнением:

$$\boldsymbol{R}(t) = (((1 - t)P_0 + 3tP_1)(1 - t) + 3t^2P_2)(1 - t) + t^3P_3, \qquad (8.5)$$

$$0 \leq t \leq 1.$$

Элементарная кривая начинается в точке P_0 и заканчивается в точке P_3, касаясь при этом отрезков P_0P_1 и P_2P_3.

Свойства составной кривой Безье:

- проходит внутри выпуклой оболочки, заданной опорными точками;
- набор базовых функций однозначно определяет кривую, т. е. нет возможности регулировать ее форму.

Чтобы составная кривая Безье была геометрически непрерывной, необходимо чтобы каждые три точки в месте стыковки сегментов лежали на одной

прямой. Например, пусть имеется шесть базовых точек P_0, ..., P_5. Для построения геометрически непрерывной составной кривой дополним этот набор вспомогательной точкой P_*, взятой на середине отрезка P_2P_3 (рис. 8.4). Составную кривую построим из двух сегментов элементарных кубических кривых Безье для четверок вершин P_0, P_1, P_2, P_* и P_*, P_3, P_4, P_5.

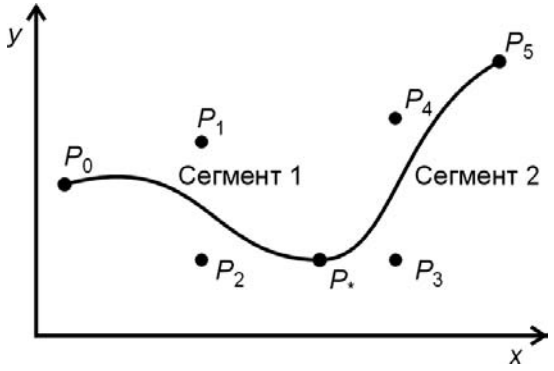


Рис. 8.4. Построение составной кривой Безье

Кубические кривые Безье довольно популярны в компьютерной графике. Например, в графическом редакторе CorelDRAW кривые Безье являются основой для создания всех типов линий. Для любого отрезка можно включить режим "Кривая". Для этого требуется выделить вторую точку отрезка (*узла* в терминологии CorelDRAW) и дать команду "преобразовать в Кривую". В режиме "Кривая" отрезок дополняется парой *контрольных* точек (P_* и P_{**}), равноудаленных от концов отрезка (рис. 8.5). Четверка точек P_0, P_*, P_{**}, P_1 определяет кривую Безье. Позицию точек можно менять, при этом CorelDRAW рассчитывает форму кривой (рис. 8.6).

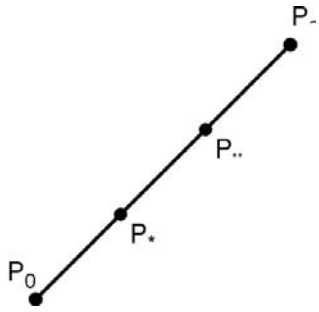


Рис. 8.5. Преобразование отрезка в кривую

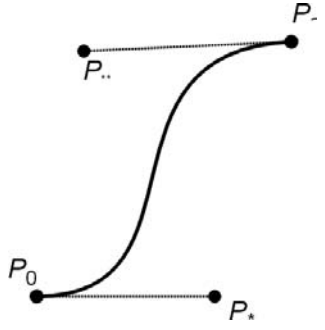


Рис. 8.6. Изменение формы кривой

8.4. Построение сплайновой кривой Безье с помощью средств MFC

Функция построения кривой Безье реализована в классе `CDC` библиотеки MFC. Прототип этой функции следующий:

```
BOOL PolyBezier(const POINT* lpPoints, int nCount);
```

- `lpPoints` — указатель на массив структур данных `POINT` (или объектов `CPoint`), который содержит базовые точки сплайнов;
- `nCount` — число точек в массиве `lpPoints`.

Число `nCount-1` должно быть кратно трем, т. е. при делении `(nCount-1)/3` должно получаться целое число больше нуля. Это связано с тем, что для построения элементарной кривой Безье требуется четыре точки, а при построении составной кривой последняя точка предыдущего сегмента считается начальной точкой следующего сегмента, т. е. для определения формы каждого сегмента требуются три точки (поэтому делим на три), конечная же точка последнего сегмента не дублируется (поэтому `nCount-1`).

8.5. Программная реализация построения сплайновых кривых

Для иллюстрации рассмотренного выше материала напишем маленькую программку. Это будет однодокументное приложение, которое легко создать с помощью генератора AppWizard (*см. разд. 3.1*). Назовем программу в честь кривых Безье "Bezier", однако это не помешает нам реализовать в ней кривые и других типов.

Основная идея программы состоит в следующем: случайным образом генерируется некоторое количество точек на плоскости, которые затем используются в качестве "базовых" для построения сплайновых кривых различных типов. Базовые точки и точки сплайновой кривой будем хранить в классе документа. На класс документа возложим также и функции по расчету сплайновых точек. Класс облика будет только рисовать базовые точки и сплайны, которые рассчитаны в классе документа.

Прежде всего, модифицируем класс документа `CBezierDoc` (листинг 8.1). Добавим в него два динамических массива: `m_BasePointsArray` — для хранения базовых точек кривой и `m_SplinePointsArray` — для хранения точек сплайновой кривой. Генерацию базовых точек поручим функции `GenerateBasePoints()`. Расчет сплайнов будут выполнять методы: `CreateBezier()` — сплайн Безье; `CreateCatmullRom()` — сплайн Catmull-Rom; `CreateBeta()` — Бета-сплайн.

Рисование сплайна Безье будет выполняться методом `PolyBezier` класса `CDC`. Этот метод не заботится о геометрической непрерывности составной

сплайновой кривой, которую он рисует. Поэтому для обеспечения гладкости стыковки сегментов требуется некоторым образом модифицировать набор базовых точек. Гладкой стыковки сегментов можно добиться двумя способами:

- изменить положение базовой точки на стыке сегментов так, чтобы она лежала на прямой между предыдущей и последующей точками набора;
- добавить в набор базовых точек вспомогательную "контрольную" точку *(см. разд. 8.3.3)*.

В файле Beziedoc.h также описаны прототипы функций:

- `GetMiddle()` — возвращает точку-середину отрезка, заданного точками-аргументами;
- `GetCatmullRomPoint()` — возвращает точку Catmull-Rom-сплайна, соответствующую параметру *t* на сегменте, заданном четверкой точек;
- `GetBetaPoint()` — возвращает точку Бета-сплайна, соответствующую параметру *t* на сегменте, заданном четверкой точек. При расчете учитываются параметры формы β_1 и β_2.

Эти функции определены как глобальные из-за своей независимости, т. е. они никак не связаны со спецификой класса `CBezierDoc` и могут быть использованы для работы с любыми данными.

Реализация методов класса `CBezierDoc` и глобальных функций приведена в листинге 8.2.

Листинг 8.1. Класс документа `CBezierDoc`. Файл Beziedoc.h

```
// Количество генерируемых базовых точек
#define NBASEPOINTS 10
// Количество отрезков, аппроксимирующих сплайновую кривую
#define NAPPROXCUTS 10

// Тип сплайна
#define ANYSLPINE   0
#define BEZIER      1

class CBezierDoc : public CDocument
{
protected: // create from serialization only
   CBezierDoc();
   DECLARE_DYNCREATE(CBezierDoc)

// Attributes
public:
```

```
   // Динамический массив базовых точек кривой
   CArray <CPoint, CPoint> m_BasePointsArray;
   CArray <CPoint, CPoint> m_SplinePointsArray;
   // Тип сплайна. Так как кривая Безье у нас рисуется методом
   // класса CDC, надо дать знать, когда его использовать
   // Если m_nSplineType == BEZIER — кривая Безье;
   int m_nSplineType;
   // Operations
public:
   // Генерирует базовые точки
   void GenerateBasePoints();
   // На основе набора базовых точек создает
   // набор точек для построения кривой Безье
   // методом CDC::PolyBezier
   // Для обеспечения гладкости в местах стыковки сегментов кривой Безье:
   // если nMode == 0 ничего не делает;
   // если nMode == 1 дополняет набор базовых точек;
   // если nMode == 2 изменяет положение базовых точек в местах стыковки.
   void CreateBezier(int nMode=0);
   // На основе набора базовых точек рассчитывает Catmull-Rom-сплайн
   void CreateCatmullRom();
   // На основе набора базовых точек рассчитывает Beta-сплайн
   void CreateBeta();

// Overrides
   // ClassWizard generated virtual function overrides
   //{{AFX_VIRTUAL(CBezierDoc)
   //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
public:
   virtual ~CBezierDoc();
   virtual void Serialize(CArchive& ar);   // overridden for document i/o
#ifdef _DEBUG
   virtual void AssertValid() const;
   virtual void Dump(CDumpContext& dc) const;
#endif

protected:

// Generated message map functions
```

```
protected:
   /{{AFX_MSG(CBezierDoc)
   afx_msg void OnEditCreateBezier0();
   afx_msg void OnEditCreateBezier1();
   afx_msg void OnEditCreateBezier2();
   afx_msg void OnEditGeneratebaseline();
   afx_msg void OnEditCteatecatmullrom();
   afx_msg void OnEditCeratebeta();
   //}}AFX_MSG
   DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//Глобальная функция. Возвращает середину отрезка
CPoint GetMiddle(CPoint *pP1, CPoint *pP2);

// Возвращает точку Catmull-Rom-сплайна для параметра t=(0...1)
// на участке между точками 1 и 2 сегмента из четырех точек
// pSegment — указатель на начало сегмента
CPoint GetCatmullRomPoint(CPoint *pSegment, double t);

// Возвращает точку Бета-сплайна для параметра t=(0...1)
// на участке между точками 1 и 2 сегмента из четырех точек
// pSegment — указатель на начало сегмента
// beta1, beta2 — параметры формы
CPoint GetBetaPoint(CPoint *pSegment, double t, double beta1, double beta2);
```

Листинг 8.2. Реализация методов класса `CBezierDoc` и глобальных функций. Файл Beziedoc.cpp

```
void CBezierDoc::GenerateBasePoints()
{
   // Выделим место под базовые точки
   // NBASEPOINTS определено в Beziedoc.h
   m_BasePointsArray.SetSize(NBASEPOINTS);
   // Зададим значения базовых точек случайным образом
   // в пределах клиентского окна программы
   CRect ClientRect;
   POSITION pos = GetFirstViewPosition();
   CView* pView =NULL;
```

```
   if(pos != NULL)
      pView = GetNextView(pos);
      if(pView!=NULL)
         pView->GetClientRect(ClientRect);
      else
         return;
   // Реинициализация генератора случайных чисел
   srand( (unsigned)time( NULL ) );
   int step=ClientRect.Width()/(m_BasePointsArray.GetSize()+1);
   // Задаем значения
   for(int i=0; i<m_BasePointsArray.GetSize(); i++)
   {
      m_BasePointsArray[i].x=step/2+step*i+rand()*step/RAND_MAX;
      m_BasePointsArray[i].y=rand()*ClientRect.Height()/RAND_MAX;
   }
   // Удаляем старый сплайн
   m_SplinePointsArray.RemoveAll();
};

void CBezierDoc::CreateBezier(int nMode/*=0*/)
{
   // Копируем базовые точки
   m_SplinePointsArray.SetSize(m_BasePointsArray.GetSize());
   for(int i=0; i<m_BasePointsArray.GetSize(); i++)
   m_SplinePointsArray[i]=m_BasePointsArray[i];

   switch (nMode)
   {
   case 1:
      // Дополняем массив
      for(i=2; i<m_SplinePointsArray.GetSize()-1; i+=3)
         m_SplinePointsArray.InsertAt(i+1,
         GetMiddle(&m_SplinePointsArray[i], &m_SplinePointsArray[i+1]));
   break;
   case 2:
      // Меняем позицию точек в местах стыковки сегментов
      for(i=2; i<m_SplinePointsArray.GetSize()-2; i+=3)
         m_SplinePointsArray[i+1]=
         GetMiddle(&m_SplinePointsArray[i], &m_SplinePointsArray[i+2]);
```

```
   break;
   }
   m_nSplineType=BEZIER;
};

void CBezierDoc::CreateCatmullRom()
{
   if(m_BasePointsArray.GetSize()<4) return;
   // Добавляем воображаемые базовые точки
   m_BasePointsArray.InsertAt(0, m_BasePointsArray[0]);
   m_BasePointsArray.Add(
            m_BasePointsArray[m_BasePointsArray.GetUpperBound()] );

   m_SplinePointsArray.SetSize(
       (m_BasePointsArray.GetSize()-3)*NAPPROXCUTS+1 );
   // Получим прямой доступ к данным массива базовых точек
   CPoint *pBasePoint=m_BasePointsArray.GetData();
   double t=0.,                // параметр t
          dt=1.0/NAPPROXCUTS; // шаг приращения параметра t
   int n=0,                    // локальный номер точки внутри сегмента
       nSegment=0;             // номер первой точки текущего сегмента
   for(int i=1; i<m_BasePointsArray.GetSize()-2; i++)
   {
      t=0.;
      for(n=0; n<=NAPPROXCUTS; n++, t+=dt)
         m_SplinePointsArray[nSegment+n]=
                              GetCatmullRomPoint(pBasePoint+(i-1), t);
      nSegment+=NAPPROXCUTS;
   }
   // Удаляем воображаемые базовые точки
   m_BasePointsArray.RemoveAt(0);
   m_BasePointsArray.RemoveAt(m_BasePointsArray.GetUpperBound());

   m_nSplineType=ANYSLPINE;
};

void CBezierDoc::CreateBeta()
{
   if(m_BasePointsArray.GetSize()<4) return;
```

```
   double   Beta1=1.0,
            Beta2=0.0;
   // Добавляем воображаемые базовые точки
   m_BasePointsArray.InsertAt(0, m_BasePointsArray[0]);
   m_BasePointsArray.InsertAt(0, m_BasePointsArray[0]);
   m_BasePointsArray.Add(
      m_BasePointsArray[m_BasePointsArray.GetUpperBound()] );
   m_BasePointsArray.Add(
      m_BasePointsArray[m_BasePointsArray.GetUpperBound()] );

   m_SplinePointsArray.SetSize(
                     (m_BasePointsArray.GetSize()-3)*NAPPROXCUTS+1);
   // Получим прямой доступ к данным массива базовых точек
   CPoint *pBasePoint=m_BasePointsArray.GetData();
   double t=0.,                  // параметр t
          dt=1.0/NAPPROXCUTS;    // шаг приращения параметра t
   int n=0,                      // локальный номер точки внутри сегмента
       nSegment=0;               // номер первой точки текущего сегмента
   for(int i=1; i<m_BasePointsArray.GetSize()-2; i++)
   {
      t=0.;
      for(n=0; n<=NAPPROXCUTS; n++, t+=dt)
         m_SplinePointsArray[nSegment+n]=
                  GetBetaPoint(pBasePoint+(i-1), t, Beta1, Beta2);
      nSegment+=NAPPROXCUTS;
   }
   // Удаляем воображаемые базовые точки
   m_BasePointsArray.RemoveAt(0,2);
   m_BasePointsArray.RemoveAt(m_BasePointsArray.GetUpperBound()-1,2);
   m_nSplineType=ANYSLPINE;
};

////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// Глобальная функция. Возвращает середину отрезка
CPoint GetMiddle(CPoint *pP1, CPoint *pP2)
{
   return CPoint(pP1->x+(pP2->x-pP1->x)/2, pP1->y+(pP2->y-pP1->y)/2);
}

// Возвращает точку Catmull-Rom-сплайна для параметра t=(0...1)
```

```
// на участке между точками 1 и 2 четверки точек
CPoint GetCatmullRomPoint(CPoint *pSegment, double t)
{
   double s=1.0-t, t2=t*t, t3=t2*t;
   CPoint Res;
   Res.x=(LONG)(0.5*(-t*s*s*pSegment[0].x+
         (2-5*t2+3*t3)*pSegment[1].x+
         t*(1+4*t-3*t2)*pSegment[2].x-t2*s*pSegment[3].x)+0.5);
   Res.y=(LONG)(0.5*(-t*s*s*pSegment[0].y+
         (2-5*t2+3*t3)*pSegment[1].y+
         t*(1+4*t-3*t2)*pSegment[2].y-t2*s*pSegment[3].y)+0.5);
   return Res;
};

CPoint GetBetaPoint(CPoint *pSegment, double t, double beta1, double beta2)
{
   double s=1.0-t,
         t2=t*t,
         t3=t2*t,
         b12=beta1*beta1,
         b13=b12*beta1,
         delta=2.0*b13+4.0*b12+4.0*beta1+beta2+2.0,
         d=1.0/delta,
         b0=2*b13*d*s*s*s,
         b3=2*t3*d,
         b1=d*(2*b13*t*(t2-3*t+3)+2*b12*(t3-3*t2+2)+
            2*beta1*(t3-3*t+2)+beta2*(2*t3-3*t2+1)),
         b2=d*(2*b12*t2*(-t+3)+2*beta1*t*(-t2+3)+
            beta2*t2*(-2*t+3)+2*(-t3+1) );
   CPoint Res;
   Res.x=(LONG)(b0*pSegment[0].x+b1*pSegment[1].x+
         b2*pSegment[2].x+b3*pSegment[3].x +0.5);
   Res.y=(LONG)(b0*pSegment[0].y+b1*pSegment[1].y+
         b2*pSegment[2].y+b3*pSegment[3].y +0.5);
   return Res;
};
```

Задача изображения на экране базовых точек и сплайновых кривых решается методами класса `CBezierView`. Для этих целей добавим в описание класса

два метода (листинг 8.3): `DrawBaseLine()` — рисует базовые точки и соединяет их прямыми линиями; `DrawSplineLine()` — рисует сплайновую кривую. Реализация этих методов приведена в листинге 8.4.

Листинг 8.3. Интерфейс класса `CBezierView` с новыми методами. Файл Bezievw.h

```
class CBezierView : public CView
{
protected:
   CBezierView();
   DECLARE_DYNCREATE(CBezierView)

// Attributes
public:
   CBezierDoc* GetDocument();
   // Методы
   // Рисует базовую кривую
   void DrawBaseLine(CDC *pDC);
   // Рисует сплайновую кривую
   void DrawSplineLine(CDC *pDC);
...
```

Листинг 8.4. Реализация методов рисования сплайновой кривой. Файл Bezievw.cpp

```
void CBezierView::DrawBaseLine(CDC *pDC)
{
   CBezierDoc* pDoc = GetDocument();
   int nCount=pDoc->m_BasePointsArray.GetSize();
   // Рисуем точки
   for(int i=0; i<nCount; i++)
      pDC->Ellipse( pDoc->m_BasePointsArray[i].x-4,
                    pDoc->m_BasePointsArray[i].y-4,
                    pDoc->m_BasePointsArray[i].x+4,
                    pDoc->m_BasePointsArray[i].y+4);
   // Перо для рисования базовой кривой
   CPen PenBase; PenBase.CreatePen(PS_DOT, 1, RGB(0,0,255));
   CPen *pPenOld=pDC->SelectObject(&PenBase);
   // Соединим прямыми базовые точки
   pDC->Polyline(pDoc->m_BasePointsArray.GetData(), nCount);
```

```
   // Восстановим старое перо
   pDC->SelectObject(pPenOld);
};

void CBezierView::DrawSplineLine(CDC *pDC)
{
   CBezierDoc* pDoc = GetDocument();
   int nCount=pDoc->m_SplinePointsArray.GetSize();
   // Сплайн рисуем красным пером
   CPen PenSpline; PenSpline.CreatePen(PS_SOLID, 2, RGB(255,0,0));
   CPen *pPenOld=pDC->SelectObject(&PenSpline);
   if(pDoc->m_nSplineType==BEZIER)
   {
      // Рисуем кривую Безье методом класса CDC::PolyBezier
      pDC->PolyBezier(pDoc->m_SplinePointsArray.GetData(), nCount/3*3+1);
      // Покажем точки стыковки сегментов
      for(int i=3; i<nCount; i+=3)
      pDC->Ellipse( pDoc->m_SplinePointsArray[i].x-4,
                    pDoc->m_SplinePointsArray[i].y-4,
                    pDoc->m_SplinePointsArray[i].x+4,
                    pDoc->m_SplinePointsArray[i].y+4);
   }
   else
      // Соединим прямыми базовые точки
      pDC->Polyline(pDoc->m_SplinePointsArray.GetData(), nCount);
   // Восстановим старое перо
   pDC->SelectObject(pPenOld);
}
```

Методы `DrawBaseLine()` и `DrawSplineLine()` вызываются из метода `CBezierView::OnDraw()` при необходимости обновления изображения на экране (листинг 8.5).

Листинг 8.5. Метод `CBezierView::OnDraw()`. Файл Bezievw.cpp

```
void CBezierView::OnDraw(CDC* pDC)
{
   CBezierDoc* pDoc = GetDocument();
   ASSERT_VALID(pDoc);

   DrawBaseLine(pDC);
   DrawSplineLine(pDC);
}
```

8.6. Заключение

Текст программы находится на компакт-диске в каталоге Sources\Bezier. Результаты работы программы показаны на рис. 8.7—8.11.

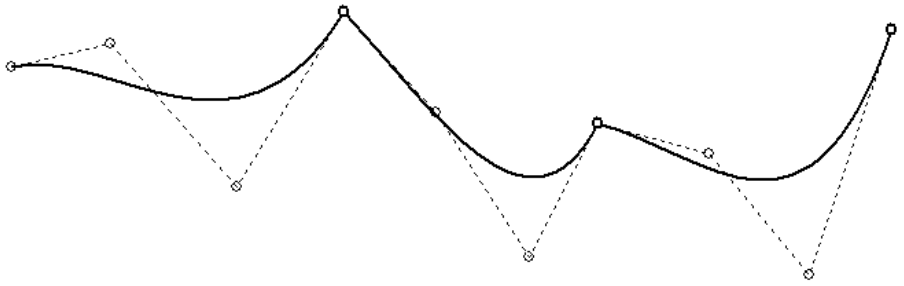


Рис. 8.7. Построение кривой функцией `CDC::PolyBezier()` без изменения набора базовых точек

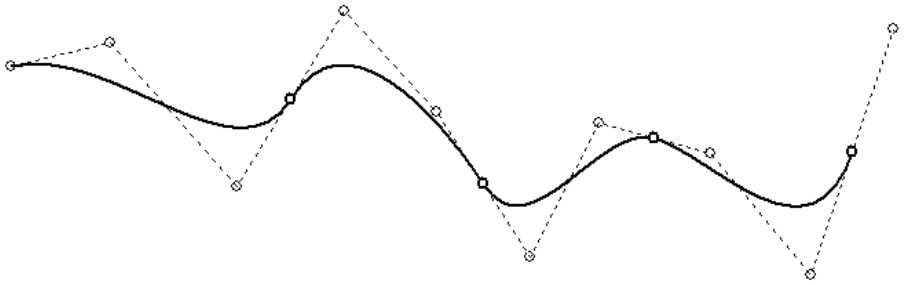


Рис. 8.8. Построение кривой функцией `CDC::PolyBezier()`. Набор базовых точек дополнен вспомогательными контрольными точками в местах стыковки сегментов. В результате количество сегментов увеличилось. Так как число вспомогательных точек оказалось не кратно трем, сплайновая кривая не доходит до последней базовой точки

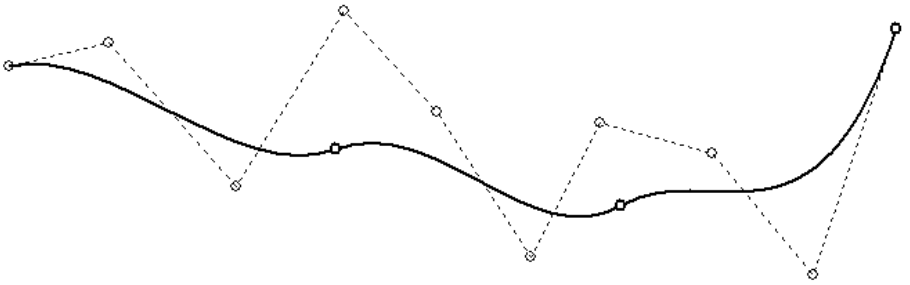


Рис. 8.9. Построение кривой функцией `CDC::PolyBezier()`. Для обеспечения гладкости кривой изменено положение базовых точек на стыках сегментов

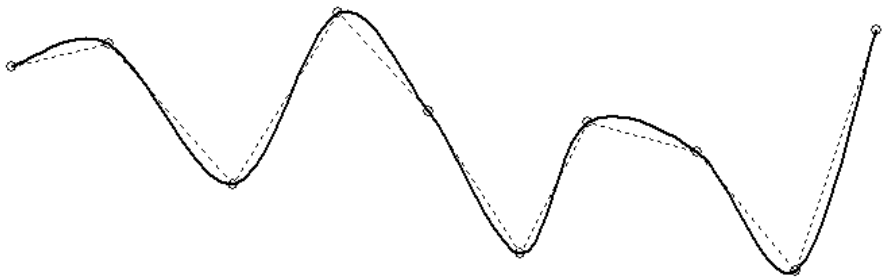


Рис. 8.10. Интерполяционная кривая Catmull-Rom

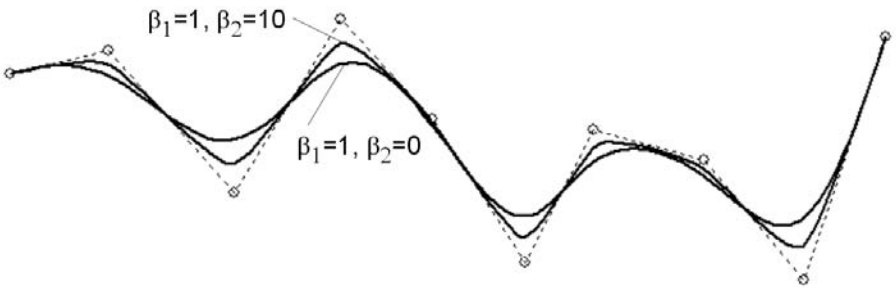
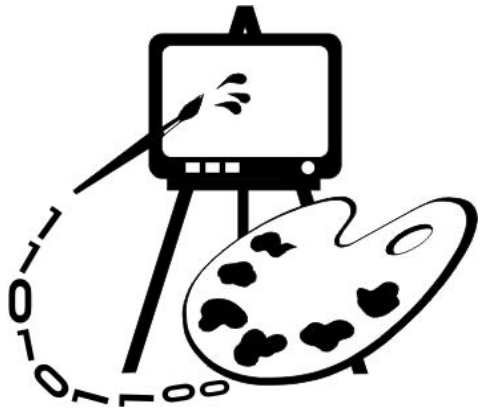


Рис. 8.11. Аппроксимационная Бета-сплайновая кривая

На основе рассмотренных методов можно реализовать в программе Painter новый класс — сплайновая кривая. Такой класс можно породить от класса `CPoligon` и добавить в него методы расчета сплайновых кривых. Кроме того, рассмотренный подход можно использовать для рисования сплайновых кривых в трехмерном пространстве. Однако в случае построения сплайновой поверхности придется использовать другие расчетные формулы. Если у вас возникнет такая задача, рекомендую почитать [14]. Кроме того, для построения поверхностей можно воспользоваться средствами библиотеки OpenGL [17].

Для изучения свойств Бета-сплайновой кривой можно поэкспериментировать со значениями коэффициентов β_1 и β_2.



Часть III

РАБОТА С РАСТРОВОЙ ГРАФИКОЙ

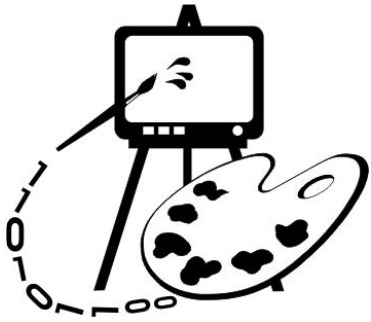
Глава 9. Работа с растровыми ресурсами

Глава 10. Экспорт изображений в BMP-файл

Глава 11. Просмотр и редактирование растровых изображений

Глава 9

Работа с растровыми ресурсами



В этой главе рассматриваются:

- создание пиктограмм;
- создание собственных курсоров;
- использование растровых изображений (программа Painter 4.1).

В *главе 1* упоминалось о разных типах изображений, однако, до сих пор мы работали только с векторной графикой. На самом же деле в компьютерном мире растровые изображения имеют, возможно, даже большее распространение.

Рассмотрим далее, как использование растровых ресурсов позволит оживить аскетический облик программы Painter, и добавит в это приложение новые изобразительные возможности.

9.1. Ресурсы

Ресурсы — это некоторые данные, которые присоединяются к концу выполняемого файла. Обычно ресурсы хранятся на диске и загружаются в память при необходимости. Стандартные ресурсы Windows-приложений представляют собой данные разных типов:

- ускорители (таблицы акселераторов);
- строки;
- диалоговые окна;
- меню;
- информация о версии программы;
- растровые изображения;
- курсоры;
- пиктограммы.

Среда разработки MS Visual C++ предоставляет удобные средства для создания и редактирования ресурсов всех типов. Работу с некоторыми из ресурсов мы уже коротко рассматривали. Остановимся теперь подробней на тех ресурсах, которые представляют собой графические данные.

При создании Windows-приложения AppWizard позволяет автоматически укомплектовать программу стандартным набором ресурсов. Эти ресурсы перечислены на вкладке **Ресурсы** (ResourceView) **Рабочего пространства** (Workspace). Программа Painter также уже содержит ресурсы (рис. 9.1).

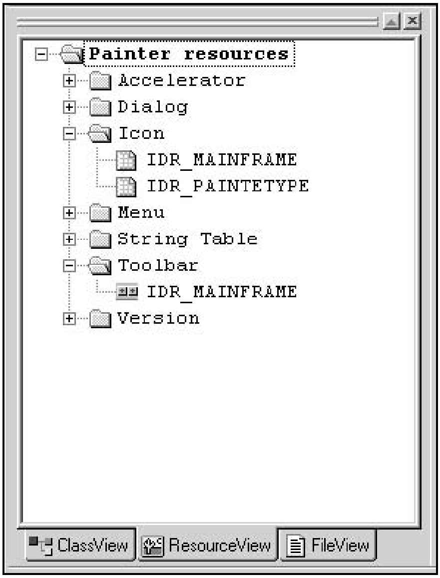


Рис. 9.1. Ресурсы программы Painter

9.2. Пиктограммы приложения

Windows-приложение обычно имеет свою пиктограмму (иконку, значок) — маленькое растровое изображение, которое сопровождает повсюду программу и помогает отличить одно приложение от другого. Стандартные размеры пиктограмм 16×16, 32×32 и 48×48 пикселов. Наиболее часто употребляются размеры 16×16 и 32×32. Пиктограммы различного размера применяются, например, в разных режимах просмотра содержимого каталога в Проводнике Windows. Если программа не содержит пиктограммы нужного размера, то Windows самостоятельно создает ее из той, что имеется. Если же программа вообще не имеет собственной пиктограммы, то Windows использует одну из стандартных пиктограмм в соответствии с типом файла.

Программа Painter уже содержит заготовки значков для самой программы (идентификатор `IDR_MAINFRAME`) и для создаваемых документов (иденти-

фикатор `IDR_PAINTETYPE`). Двойной щелчок мыши на идентификаторе открывает пиктограмму во встроенном растровом редакторе MS Visual C++ (рис. 9.2). Используя инструменты редактирования, расположенные на правой панели, можно привести рисунок в соответствие со своим вкусом.

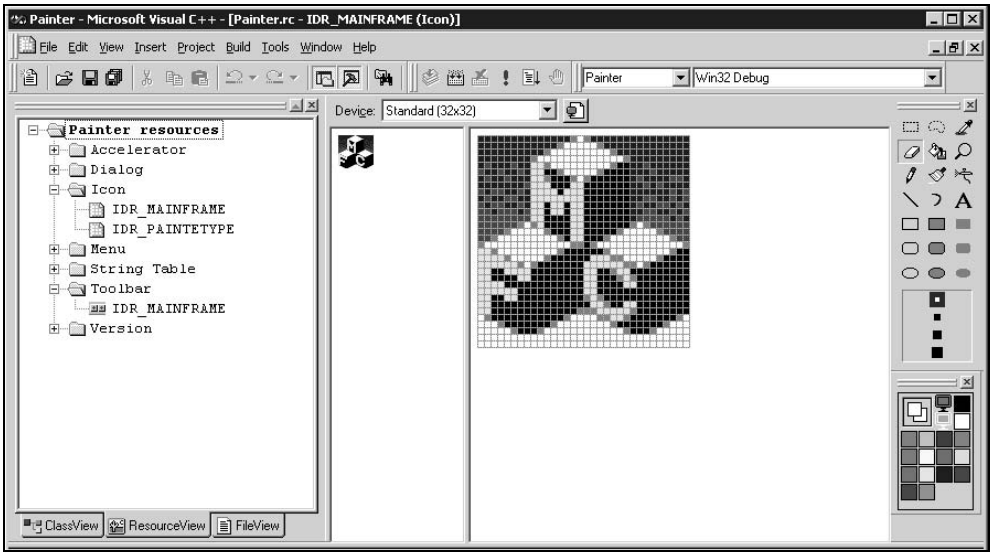


Рис. 9.2. Редактирование пиктограммы

Пиктограмма 16×16 программы помещается в левый верхний угол заголовка приложения. Пиктограмма 32×32 по умолчанию отображается в диалоговом окне **About**, с которым мы уже знакомы (см. *разд. 3.1*). С новой пиктограммой это диалоговое окно может выглядеть, например, так как показано на рис. 9.3.

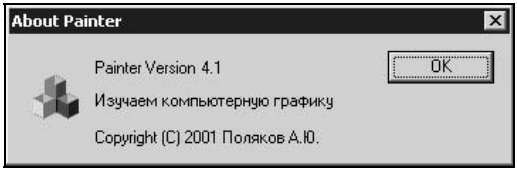


Рис. 9.3. Диалоговое окно **About** с новой пиктограммой

Пиктограмма, добавленная генератором приложения AppWizard в ресурсы программы Painter и помещенная в диалоговое окно **About**, загружается автоматически каркасом приложения. Рассмотрим далее, как можно выполнить загрузку пиктограммы "вручную". Сделаем так, чтобы при наведении курсора мыши на значок в диалоговом окне **About**, изображение пиктограммы менялось.

Для этого выполним следующие действия.

1. Создадим копию пиктограммы нашего приложения. В окне **Workspace** выделим идентификатор пиктограммы `IDR_MAINFRAME`, затем выполним команды **Edit | Copy (Ctrl+C)** и **Edit | Paste (Ctrl+V)**. В наши ресурсы добавится еще одна пиктограмма с идентификатором `IDR_MAINFRAME1`.
2. Отредактируем пиктограмму. Например, изменим цвет фона (рис. 9.4).

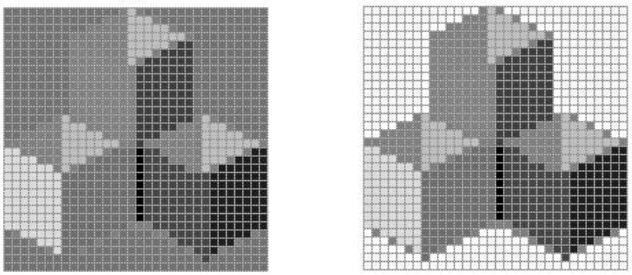


Рис. 9.4. Исходная и измененная пиктограммы

3. Присвоим пиктограмме в диалоговом окне **About** более осмысленный идентификатор `IDC_STATIC_ICON` (рис. 9.5).

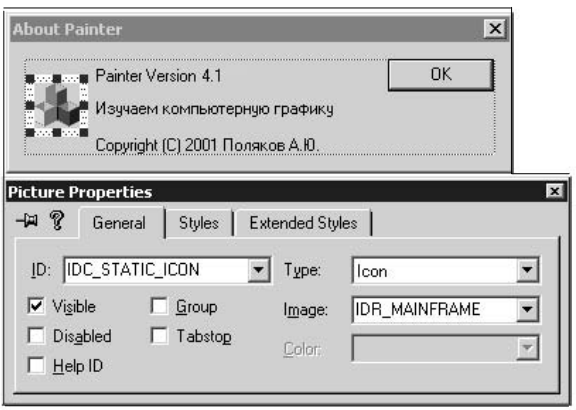


Рис. 9.5. Пиктограмма с новым идентификатором

4. Добавим с помощью ClassWizard в класс диалога метод обработки движения мыши `CAboutDlg::OnMouseMove()`.
5. Напишем в методе `CAboutDlg::OnMouseMove()` несколько строк, в которых будем проверять положение мыши и, если курсор мыши находится над пиктограммой, будем показывать измененную копию пиктограммы (листинг 9.1).

Листинг 9.1. Обработка движения мыши в классе диалога About. Файл Painter.cpp

```
void CAboutDlg::OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point)
{
   HICON hIcon;
   CRect IconRect;
   // Координаты пиктограммы в единицах диалогового окна
   IconRect.left=11; IconRect.top=17;
   IconRect.right=IconRect.left+20; IconRect.bottom=IconRect.top+20;
   // Преобразовать координаты пиктограммы в экранные координаты
   MapDialogRect(&IconRect);
   // Если попали в пиктограмму
   if(IconRect.PtInRect(point)) // загрузить измененную копию
      hIcon=AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME1);
   else hIcon=AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME); // загрузить оригинал
   // Получим указатель на элемент интерфейса, показывающий пиктограмму
   CWnd* pIcinWnd = GetDlgItem(IDC_STATIC_ICON);
   ASSERT(pIcinWnd!=NULL);
   // Установим пиктограмму
   ((CStatic*)pIcinWnd)->SetIcon(hIcon);

   CDialog::OnMouseMove(nFlags, point);
}
```

Координаты пиктограммы можно узнать, выделив ее в редакторе шаблона диалога (они будут показаны в строке состояния). Однако эти координаты приводятся в специальных единицах, которые отличаются от экранных координат. К счастью, у диалога есть встроенный метод `MapDialogRect()`, который позволит нам преобразовать координаты пиктограммы из "диалоговых" координат в экранные. Метод `LoadIcon()` класса `CWinApp` загружает пиктограмму и возвращает ее дескриптор. Причем, если ресурс однажды уже был загружен, то повторная загрузка не выполняется. Этот метод позволяет загрузить пиктограмму, соответствующую по размерам параметрам `SM_CXICON` и `SM_CYICON` системных метрик Windows (обычно 32×32). Пиктограммы других размеров могут быть загружены API-функцией `LoadImage()`, которая будет рассмотрена в *разд. 9.6*.

На рис. 9.6 показано диалоговое окно **About** с двумя состояниями пиктограммы.

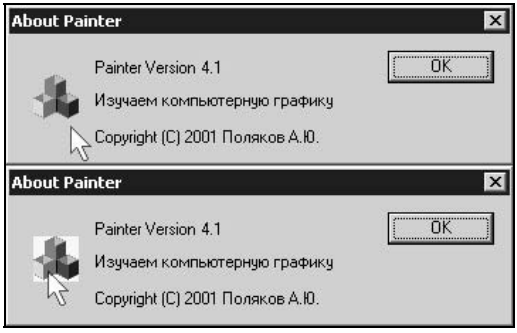


Рис. 9.6. Диалоговое окно **About** с "активной" пиктограммой

9.3. Изображение панели инструментов

Панель инструментов — элемент управления Windows-приложения, который обычно выглядит, как ряд кнопок, ускоряющих выполнение команд. Генератором AppWizard в наше приложение Painter уже добавлен такой элемент. Внешний вид кнопок определяется растровой картинкой, изображение которой мы можем изменить. Так и поступим. На вкладке **RecourseView** окна **Workspace** откроем папку с надписью **Toolbar** и двойным щелчком мыши на идентификаторе `IDR_MAINFRAME` загрузим изображение панели в редактор. Щелкнув мышкой на кнопке панели, можно получить ее увеличенное изображение и отредактировать его. Кроме того, редактор позволяет назначить любой кнопке идентификатор команды, которая будет вызываться данной кнопкой. Для этого надо выполнить двойной щелчок мышкой на кнопке в панели инструментов (рис. 9.7). Как только кнопке будет присвоен идентификатор, в панели появится новая "пустая" кнопка. Для перемещения кнопки в требуемую позицию нужно перетащить ее мышкой. Удалить кнопку можно просто, убрав ее мышкой из панели инструментов.

Новая панель инструментов может выглядеть так, как показано на рис. 9.8.

9.4. Курсор

Курсор — это изображение размером 32×32 пиксела, которое показывает нам положение мыши на экране. Windows использует большое число различных курсоров для обозначения разных состояний (режимов) работы приложений (рис. 9.9).

Приложение может самостоятельно устанавливать вид курсора. Реализуем в программе Painter эту возможность. Будем изменять курсор в зависимости от того, какую фигуру собираемся нарисовать.

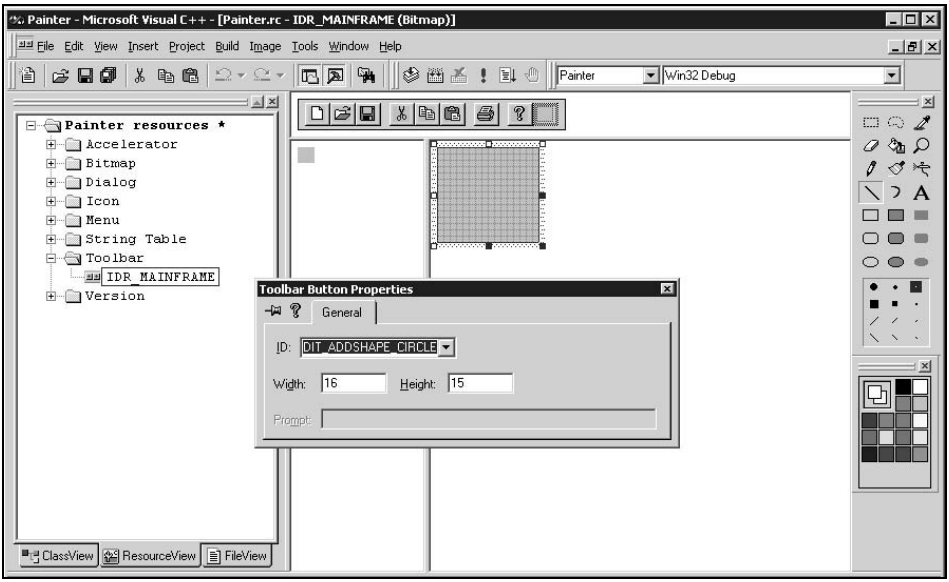


Рис. 9.7. Редактирование панели инструментов

Рис. 9.8. Новая панель инструментов

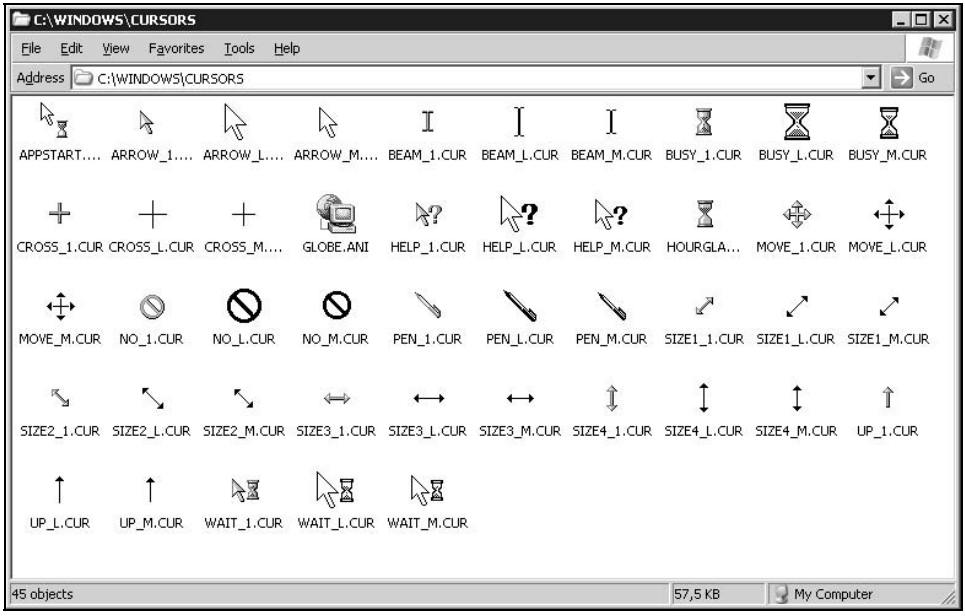


Рис. 9.9. Курсоры Windows

Прежде всего, добавим в ресурсы программы ресурс "курсор". Для этого выполним команду **Insert | Resource**, и в появившемся диалоге выберем **Cursor** (рис. 9.10).

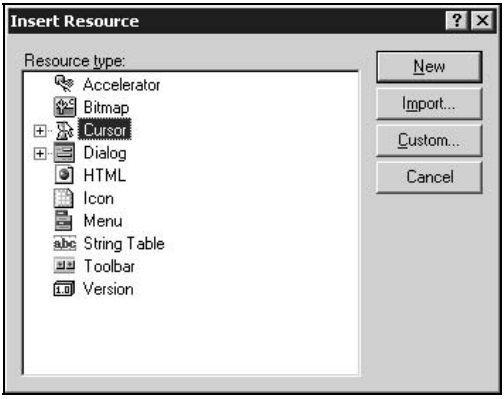


Рис. 9.10. Добавление ресурса "курсор"

В программу будет вставлен пустой шаблон курсора, изображение которого можно отредактировать так же, как и изображение пиктограммы. Отличие заключается в том, что шаблон курсора по умолчанию монохромный, поэтому для рисования доступны только два цвета: черный и белый. На самом деле, курсоры могут быть и цветными из 256 цветов. Превратить курсор в цветной можно, загрузив палитру цветов (эта операция будет рассмотрена в следующем разделе). При создании курсора требуется также определить пиксел (hotspot), который будет указывать точное положение мыши. Для этого надо щелкнуть кнопку **Set Hotspot** (находится на панели инструментов над изображением) и затем щелкнуть левой кнопкой мышки на любом пикселе внутри изображения курсора. Отмеченный пиксел и будет указывать точное положение курсора мыши.

Ну, что же, создадим четыре разных курсора, для индикации различных операций (рис. 9.11).

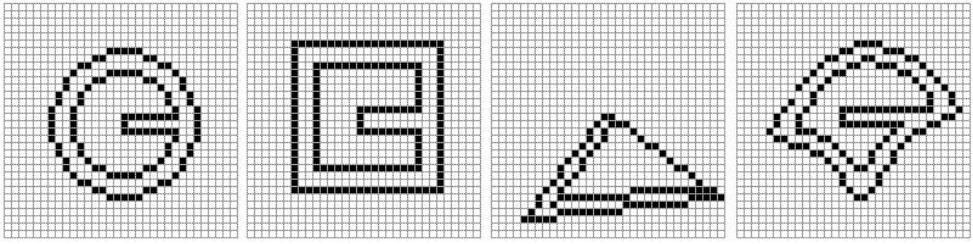


Рис. 9.11. Курсоры для разных операций

Для загрузки курсоров будем использовать метод `LoadCursor()` класса `CWinApp`. Этот метод принимает в качестве параметра идентификатор курсора и возвращает его дескриптор.

Поскольку за тип текущей операции у нас отвечает класс `CPainterView`, сделаем дескрипторы курсоров данными этого класса (листинг 9.2), а курсоры загрузим в конструкторе `CPainterView::CPainterView()` (листинг 9.3).

Листинг 9.2. Фрагмент интерфейса класса `CPainterView` с объявлением дескрипторов для курсоров. Файл PainterView.h

```
class CPainterView : public CScrollView
{
...
// Данные
public:
   // Текущая операция
   int m_CurOper;
   // Курсоры различных операций
   HCURSOR m_hcurCircle;   // рисуем круг
   HCURSOR m_hcurSquare;   // рисуем квадрат
   HCURSOR m_hcurPolygon;   // рисуем полилинию или полигон
   HCURSOR m_hcurSurface;   // рисуем поверхность
   // Курсор "по умолчанию"
   HCURSOR m_hcurDefault;   // используем в операции выбора
...
```

Кроме курсоров, обозначающих различные операции, потребуется также дескриптор курсора по умолчанию (обычно стрелочка), будем устанавливать ее при операции выбора фигуры. Курсор "по умолчанию" хранится во внутренней структуре `WNDCLASS` класса окна. Дескриптор этого курсора мы можем получить с помощью Windows API-функции `GetClassLong()` при создании окна облика. Для этого с помощью ClassWizard добавим функцию обработки сообщения `WM_CREATE` (листинг 9.3).

Листинг 9.3. Методы класса `CPainterView`, в которых происходит загрузка курсоров. Файл PainterView.cpp

```
CPainterView::CPainterView()
{
   // TODO: add construction code here
   m_CurOper=OP_NOOPER;
```

```
   m_nMyFlags=0;

   m_hcurCircle=AfxGetApp()->LoadCursor(IDC_CURSOR_CIRCLE);
   m_hcurSquare=AfxGetApp()->LoadCursor(IDC_CURSOR_SQUARE);
   m_hcurPolygon=AfxGetApp()->LoadCursor(IDC_CURSOR_POLYGON);
   m_hcurSurface=AfxGetApp()->LoadCursor(IDC_CURSOR_SURFACE);
}

int CPainterView::OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct)
{
   if (CScrollView::OnCreate(lpCreateStruct) == -1)
      return -1;

   m_hcurDefault=(HCURSOR)::GetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR);
   return 0;
}
```

Для установки курсора можно воспользоваться Windows API-функцией `SetCursor()`. Однако, Windows обновляет изображение курсора каждый раз, когда происходит перемещение мыши. При этом изображение курсора заменяется на заданное при регистрации класса окна. Поэтому один из способов контроля формы курсора заключается в обработке приложением сообщения `WM_SETCURSOR`. Форму курсора можно устанавливать и в методе `CPainterView::OnMouseMove()`, дополнив его следующей конструкцией (листинг 9.4).

Листинг 9.4. Установка курсора в методе `CPainterView::OnMouseMove()`

```
// Изменение формы курсора
// Для того чтобы предотвратить мигание курсора,
// установим "пустой" курсор по умолчанию
::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, NULL);
// Установим курсор, соответствующий выполняемой операции
switch(m_CurOper)
   {
   case OP_CIRCLE:
      SetCursor(m_hcurCircle);
      break;
   case OP_SQUARE:
      SetCursor(m_hcurSquare);
```

```
      break;
   case OP_LINE:
      SetCursor(m_hcurPolygon);
      break;
   case OP_SURFACE:
      SetCursor(m_hcurSurface);
      break;
   default:
      ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurDefault);
   }
```

Этот способ хорош в случае, если вы хотите динамически менять форму курсора, например, для индикации попадания в некоторую область окна. Обратите внимание, что перед вызовом `SetCursor()` курсор окна по умолчанию устанавливается в `NULL` с помощью Windows API-функции `SetClassLong()`. Это делается для того, чтобы предотвратить мигание курсора при его движении.

В нашем случае, когда мы переключаем режимы с помощью команд, можно просто устанавливать соответствующий курсор "по умолчанию" для окна при включении той или иной операции (листинг 9.5). Такой подход значительно сократит количество вызовов функций при обработке перемещения мыши. Хотя, при современных скоростях, это может быть и не особо важно, но "мелочь, а приятно".

Листинг 9.5. Установка формы курсора при выборе типа операции. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnEditAddshapePoint()
{
   m_CurOper=OP_POINT;
   ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurCircle);
}

void CPainterView::OnEditAddshapeCircle()
{
   m_CurOper=OP_CIRCLE;
   ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurCircle);
}

void CPainterView::OnEditAddshapeSquare()
{
```

```
   m_CurOper=OP_SQUARE;
   ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurSquare);
}

void CPainterView::OnEditAddshapePolyline()
{
   CBasePoint *pShape=new CPolygon;
   // Черная линия шириной 0.5 мм
   pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);

   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Добавляем в конец списка
   pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
   // Последняя фигура становится активной
   pDoc->m_pSelShape=pShape;
   // Указываем, что документ изменен
   pDoc->SetModifiedFlag();

   m_CurOper=OP_LINE;
   ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurPolygon);
}

void CPainterView::OnEditAddshapePolygon()
{
   CBasePoint *pShape=new CPolygon;
   // Темно-зеленая заливка
   pShape->SetBrush(RGB(0,100,0));
   // Черная линия шириной 0.5 мм
   pShape->SetPen(RGB(0,0,0), 50, PS_GEOMETRIC);

   // Так как pShape указатель на CBasePoint,
   // а метод SetPolygon() имеется только у класса CPolygon,
   // требуется преобразование типа указателя
   ((CPolygon*)pShape)->SetPolygon(TRUE);
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Добавляем в конец списка
   pDoc->m_ShapesList.AddTail(pShape);
   // Последняя фигура становится активной
   pDoc->m_pSelShape=pShape;
```

```
    // Указываем, что документ изменен
    pDoc->SetModifiedFlag();

    m_CurOper=OP_LINE;
    ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurPolygon);
}

void CPainterView::OnEditAddshapeSurface()
{
    m_CurOper=OP_SURFACE;
    ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurSurface);
}
```

При использовании способа, описанного в листинге 9.5, в методе `CPainterView::OnMouseMove()` достаточно оставить разбор одного случая:

```
default:
      ::SetClassLong(GetSafeHwnd(), GCL_HCURSOR, (LONG)m_hcurDefault);
```

Это позволит восстановить курсор по умолчанию для всех операций, для которых не определен собственный курсор.

9.5. Растровое изображение Bitmap

Рассмотренные выше курсоры и пиктограммы являются, по сути, частными случаями ресурса "растровое изображение" (bitmap). Растровые изображения не ограничены в размерах и могут иметь до 256 цветов.

Для добавления растрового изображения в ресурсы программы существует несколько способов. Один из них с помощью команды **Insert | Resource | Bitmap | New**. Свойства изображения задаются в диалоговом окне **Bitmap Properties** (рис. 9.12), которое вызывается двойным щелчком мыши в окне редактирования за пределами изображения.

В диалоговом окне **Bitmap Properties** можно установить размер изображения и количество используемых цветов. Растровое изображение будет сохранено в файл, имя которого задано в поле **File name**, и получит идентификатор, заданный в поле **ID**. Саму картинку можно нарисовать, используя инструменты встроенного редактора MS Visual C++. Для рисования можно также воспользоваться и более мощным графическим редактором, например, Adobe Photoshop. В этом случае изображение из одного редактора в другой можно перенести через буфер обмена. Каждое изображение имеет свою палитру, поэтому, если изображение было вставлено через буфер обмена, для правильного отображения цветов требуется также загрузить соответствующую

палитру. Загрузка палитры выполняется с помощью команды **Image | Load Palette**. Конечно, палитра должна быть предварительно сохранена в файл в редакторе, в котором создается изображение. Просмотреть палитру изображения можно на вкладке **Palette** диалога **Bitmap Properties** (рис. 9.13).

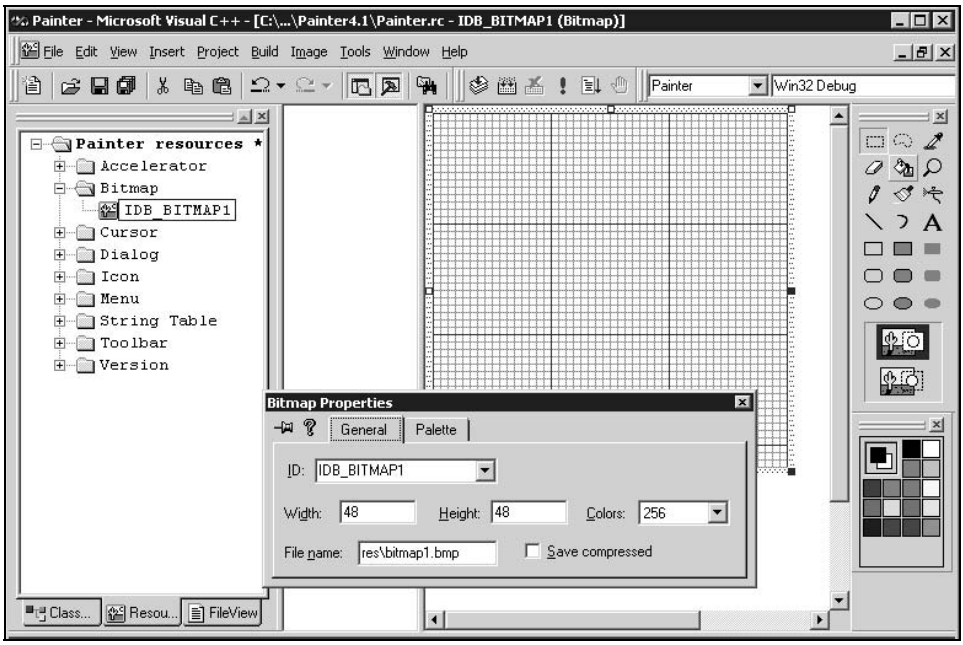


Рис. 9.12. Свойства растрового изображения

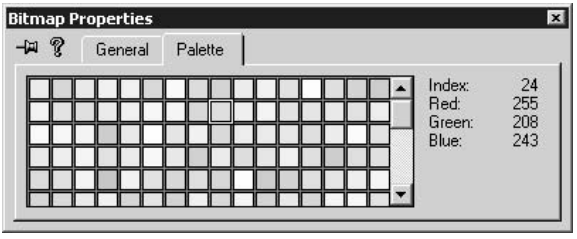


Рис. 9.13. Палитра изображения

Еще один способ вставки растрового изображения в ресурсы программы реализуется с помощью команды **Insert | Resource | Import**. Эта команда позволяет импортировать изображение из файла на диске. Конечно, для того чтобы что-то импортировать, нужно сначала создать изображение и сохранить в режиме индексированных цветов в формате BMP.

Растровые изображения в MFC описываются классом `CBitmap`. Класс `CBitmap` позволяет выполнять операции загрузки и вывода изображений,

являющихся ресурсами приложения. Для загрузки изображения в программе создается объект класса `CBitmap`, а затем вызывается метод `CBitmap::LoadBitmap(IDB_BITMAP)`, которому в качестве параметра передается идентификатор растрового ресурса.

Рассмотрим далее, как можно использовать растровые изображения в качестве шаблонов кисти. При создании базового класса `CBasePoint` иерархии фигур программы Painter была зарезервирована специальная переменная для хранения идентификатора шаблона кисти (см. *разд. 4.3.4*). Таким образом, фигуры в программе Painter потенциально уже умеют создавать кисти на основе растровых шаблонов. Нам остается только добавить в программу сами растровые изображения и каким-то образом сообщить фигурам их идентификаторы. Пусть пользователь имеет возможность видеть, какие шаблоны он может использовать для заливки фигур. Для этого создадим в программе специальную диалоговую (инструментальную) панель, на которой будут представлены шаблоны. Щелчком мышки пользователь сможет выбрать понравившийся ему шаблон.

Диалоговая панель представляет собой разновидность немодального диалога, т. е. для продолжения работы с программой пользователю не обязательно завершать работу с этим диалогом. Поэтому такая панель может постоянно находиться на экране. Создание диалоговой панели выполняется в два этапа. Сначала создается объект MFC-класса `CDialogBar`. Затем с помощью метода `CDialogBar::Create()` создается Windows-окно диалоговой панели и связывается с объектом.

Для реализации этих новшеств выполним следующие действия.

1. Добавим в ресурсы программы 8 картинок размером 32×32 пиксела с количеством цветов 256, которые послужат нам в качестве шаблонов (рис. 9.14). Надо отметить, что шаблон кисти может иметь и больший размер.

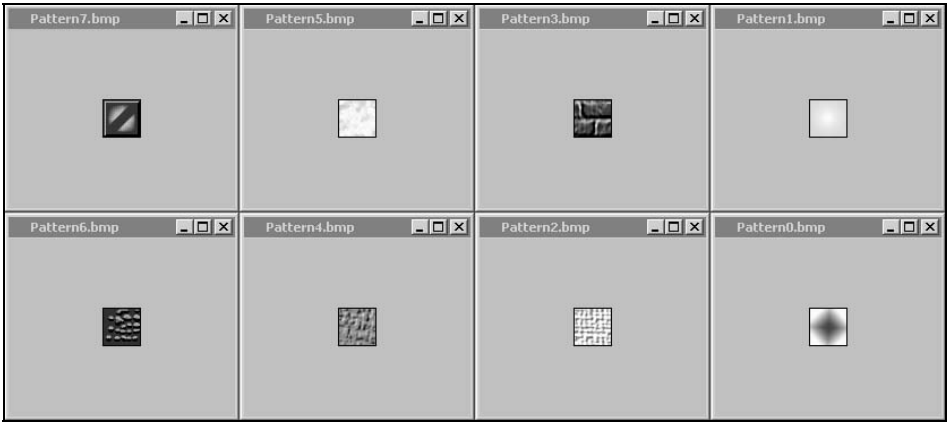


Рис. 9.14. Шаблоны кисти

2. Создадим шаблон диалога, который будет использован для создания инструментальной панели. Добавим в ресурсы программы новый диалог и присвоим ему идентификатор `IDD_IMAGES`. Разместим внутри нового диалога элемент управления — "Список" (List Control) с идентификатором `IDC_IMAGE_LIST` (рис. 9.15).

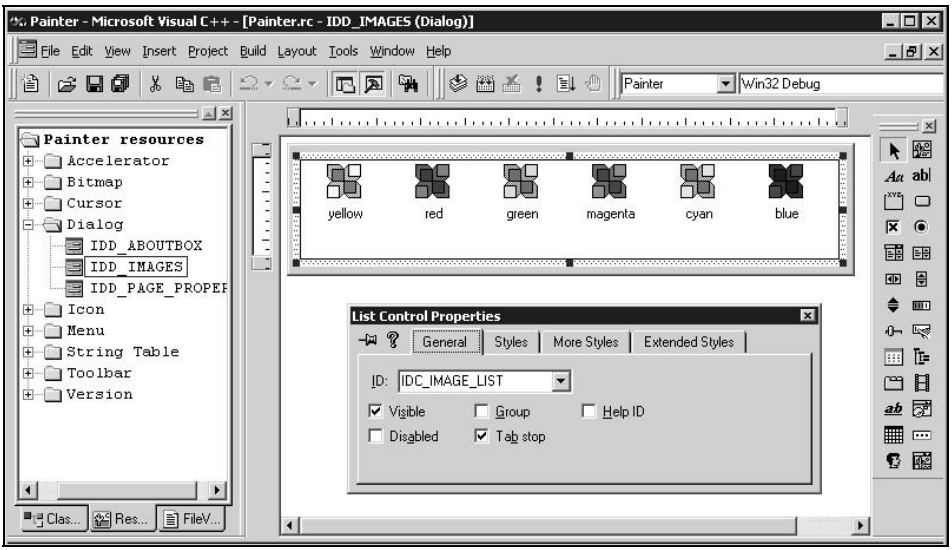


Рис. 9.15. Будущая диалоговая панель

Шаблон диалога должен иметь стиль `WS_CHILD` и не иметь стиля `WS_VISIBLE` (рис. 9.16).

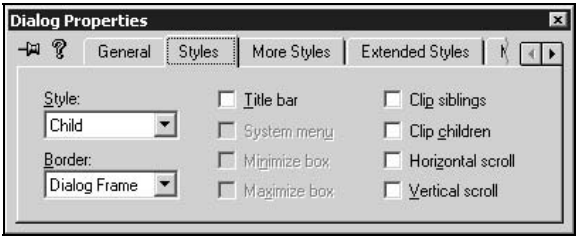


Рис. 9.16. Свойства шаблона диалога

3. Объект диалоговая панель сделаем членом класса `CMainFrame` (листинг 9.6). В класс `CMainFrame` также добавлен объект класса `CImageList`, который будет использован для хранения списка изображений и связан с элементом управления диалога. Кроме того, в интерфейс добавлены прототипы двух функций: `FillPatternsList()` и `SetSelectedPattern()`.

4. Добавим в метод `CMainFrame::OnCreate()` создание окна диалоговой панели (листинг 9.7). Окно создается с помощью метода `CDialogBar::Create()`. Прототип метода `Create()`:

   ```
   BOOL Create(CWnd* pParentWnd, UINT nIDTemplate, UINT nStyle, UINT nID)
   ```

   Здесь:

   - `pParentWnd` — указатель на родительское окно;
   - `nIDTemplate` — идентификатор шаблона диалога;
   - `nStyle` — стиль и размещение панели;
   - `nID` — идентификатор панели.

5. После создания окна диалоговой панели оно показывается на экране. Затем вызывается определенный нами метод `FillPatternsList()`, заполняющий список изображений. Реализация этого метода приведена в листинге 9.8. Изображениями шаблонов кистей заполняется объект `m_PatternsList`, который затем связывается с элементом управления "Список" с идентификатором `IDC_IMAGE_LIST`, который мы вставили в шаблон диалога. Класс MFC `CImageList`, объектом которого является `m_PatternsList`, позволяет хранить в виде списка набор одинаковых растровых картинок. В нашем случае такими картинками являются изображения шаблонов заливки. Объект класса `CImageList` можно связать с элементом управления "Список". Тогда каждому элементу (пункту) списка (названию шаблона) можно сопоставить изображение. Это и происходит при добавлении названий шаблонов `Caption` в список диалога:

   ```
   pImageListCtrl->InsertItem( i, Caption, i )
   ```

   Здесь:

   - первый параметр метода `InsertItem()` — индекс добавляемого элемента;
   - второй параметр — текст;
   - третий параметр — индекс картинки в списке изображений.

6. Диалоговое окно будет посылать сообщения-уведомления родительскому окну-рамке. Для перехвата и обработки этих сообщений добавим с помощью ClassWizard в класс `CMainFrame` метод-обработчик сообщения `WM_NOTIFY` (листинг 9.9). В этом методе проверяется, от какого элемента управления пришло сообщение, и если от списка шаблонов поступило сообщение "Ой, меня щелкнули мышкой", вызывается метод `SetSelectedPattern()` (листинг 9.10).

7. В методе `SetSelectedPattern()` вызывается метод класса `CPainterDoc`: `SetPatternForSelected()`, которого на самом деле еще нет в этом классе. Для того чтобы этот метод появился в классе `CPainterDoc`, добавим его туда (листинг 9.11).

Листинг 9.6. Фрагмент интерфейса класса `CMainFrame`. Файл MainFrm.h

```
class CMainFrame : public CFrameWnd
{

protected: // create from serialization only
   CMainFrame();
   DECLARE_DYNCREATE(CMainFrame)

// Attributes
public:
   CDialogBar m_dlgBarImages; // панель изображений
   CImageList m_PatternsList; // список изображений шаблонов заливки
// Operations
public:
   // Заполняет список шаблонов заливки
   void FillPatternsList();
   // Устанавливает текущий шаблон для выделенной фигуры
   void SetSelectedPattern();
 …
```

Листинг 9.7. Метод `CMainFrame::OnCreate()`. Файл MainFrm.cpp

```
int CMainFrame::OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct)
{
   if (CFrameWnd::OnCreate(lpCreateStruct) == -1)
      return -1;

   if (!m_wndToolBar.CreateEx(this, TBSTYLE_FLAT, WS_CHILD | WS_VISIBLE |
CBRS_TOP
      | CBRS_GRIPPER | CBRS_TOOLTIPS | CBRS_FLYBY | CBRS_SIZE_DYNAMIC) ||
      !m_wndToolBar.LoadToolBar(IDR_MAINFRAME))
   {
      TRACE0("Failed to create toolbar\n");
      return -1;      // fail to create
```

```
    }

    if (!m_wndStatusBar.Create(this) ||
        !m_wndStatusBar.SetIndicators(indicators,
         sizeof(indicators)/sizeof(UINT)))
    {
       TRACE0("Failed to create status bar\n");
       return -1;      // fail to create
    }

    // TODO: Delete these three lines if you don't want the toolbar to
    //  be dockable
    m_wndToolBar.EnableDocking(CBRS_ALIGN_ANY);
    EnableDocking(CBRS_ALIGN_ANY);
    DockControlBar(&m_wndToolBar);

    // панель изображений
    if (!m_dlgBarImages.Create(this, IDD_IMAGES, WS_CHILD | CBRS_BOTTOM,
         IDD_IMAGES))
    {
       TRACE0("Failed to create dialog bar\n");
       return -1;
    }
    m_dlgBarImages.ShowWindow(SW_SHOW);
    FillPatternsList();

    return 0;
}
```

Листинг 9.8. Метод `CMainFrame::FillPatternsList()`. Файл MainFrm.cpp

```
void CMainFrame::FillPatternsList()
{
    m_PatternsList.DeleteImageList();
    // Создаем список изображений
```

```
m_PatternsList.Create( 32, 32, ILC_COLOR24, 0, 1 );
// Загружаем все изображения и добавляем в список
CBitmap bm;
int index=0; // индекс добавленной картинки
bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN0);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );

bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN1);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );

bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN2);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );

bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN3);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );

bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN4);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );

bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN5);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );

bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN6);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );

bm.LoadBitmap(IDB_PATTERN7);
index=m_PatternsList.Add(&bm, RGB(0, 0, 0)); bm.DeleteObject( );
// Получаем указатель на элемент управления "Список" диалоговой панели
CListCtrl* pImageListCtrl = (CListCtrl*)
    m_dlgBarImages.GetDlgItem(IDC_IMAGE_LIST);
ASSERT(pImageListCtrl!=NULL);
pImageListCtrl->DeleteAllItems( );
// Добавляем в "Список" названия шаблонов
CString Caption;
```

```
   for(int i=0; i<=index; i++)
   {
      Caption.Format("Pat %d",i+1);
      pImageListCtrl->InsertItem( i, Caption, i );
   }
   // Связываем элемент управления диалога "Список"
   // со списком изображений шаблонов
   pImageListCtrl->SetImageList(&m_PatternsList, LVSIL_NORMAL);
}
```

Листинг 9.9. Метод `CMainFrame::OnNotify()`. Файл MainFrm.cpp

```
BOOL CMainFrame::OnNotify(WPARAM wParam, LPARAM lParam, LRESULT* pResult)
{
   if(wParam==IDC_IMAGE_LIST && ((NMHDR*)lParam)->code == NM_CLICK)
      SetSelectedPattern();// установить выбранный шаблон
   return CFrameWnd::OnNotify(wParam, lParam, pResult);
```

Листинг 9.10. Метод `CMainFrame:: SetSelectedPattern ()`. Файл MainFrm.cpp

```
void CMainFrame::SetSelectedPattern()
{
   CListCtrl* pImageListCtrl = (CListCtrl*)
      m_dlgBarImages.GetDlgItem(IDC_IMAGE_LIST);
   ASSERT(pImageListCtrl!=NULL);
   POSITION pos = pImageListCtrl->GetFirstSelectedItemPosition();
   int nItem=-1;
   if (pos != NULL)
      nItem = pImageListCtrl->GetNextSelectedItem(pos);
   if (nItem<0) return; // ничего не выделено
   UINT Pattern_ID=0;
   switch(nItem)
   {
      case 0: Pattern_ID=IDB_PATTERN0; break;
      case 1: Pattern_ID=IDB_PATTERN1; break;
```

```
      case 2: Pattern_ID=IDB_PATTERN2; break;
      case 3: Pattern_ID=IDB_PATTERN3; break;
      case 4: Pattern_ID=IDB_PATTERN4; break;
      case 5: Pattern_ID=IDB_PATTERN5; break;
      case 6: Pattern_ID=IDB_PATTERN6; break;
      case 7: Pattern_ID=IDB_PATTERN7; break;
   }

   // Получим указатель на документ
   CPainterDoc *pDoc=(CPainterDoc*)GetActiveDocument();
   // Установили шаблон заливки
   pDoc->SetPatternForSelected(Pattern_ID);
   // Обновили изображение
   pDoc->UpdateAllViews(NULL);
}
```

Листинг 9.11. Метод `CPainterDoc::SetPatternForSelected()`. Файл PainterDoc.cpp

```
void CPainterDoc::SetPatternForSelected(UINT Pattern_ID)
{
   if(m_pSelShape==NULL) return;
   m_pSelShape->SetBrush(RGB(0,0,0), Pattern_ID);
};
```

9.6. Универсальная функция загрузки графических ресурсов

Выше мы рассмотрели, как загружать графические ресурсы с использованием методов различных классов MFC. Однако в наборе Windows API имеется функция `LoadImage()`, которую можно использовать для загрузки графических ресурсов всех типов. Причем данная функция позволяет загрузить изображения не только из ресурсов программы, но и из файлов. Прототип этой функции следующий:

```
HANDLE LoadImage(
   HINSTANCE hinst,   // дескриптор приложения, содержащего ресурс
   LPCTSTR lpszName,  // имя файла или идентификатор изображения
```

```
UINT uType,        // тип изображения
int cxDesired,     // ширина изображения
int cyDesired,     // высота изображения
UINT fuLoad        // флаги загрузки
);
```

Параметр `uType` обозначает тип загружаемого изображения:

- `IMAGE_BITMAP` — растровое изображение;
- `IMAGE_CURSOR` — курсор;
- `IMAGE_ICON` — пиктограмма.

Параметры `cxDesired`, `cyDesired` обозначают ширину и высоту в пикселах загружаемого изображения. Если эти параметры равны нулю, то для курсоров и пиктограмм используются системные метрики (`SM_CXICON`, `SM_CYICON`) или (`SM_CXCURSOR`, `SM_CYCURSOR`), соответственно. Если `uType` равен `IMAGE_BITMAP`, то эти параметры должны быть равны нулю.

Параметр `fuLoad` может быть комбинацией следующих флагов:

- `LR_DEFAULTCOLOR` — флаг по умолчанию, означает "не `LR_MONOCHROME`".
- `LR_CREATEDIBSECTION` — если `uType` равен `IMAGE_BITMAP`, то этот флаг указывает, что не нужно приводить цвета изображения к совместимым с контекстом устройства. Функция возвращает DIB-компонент растрового изображения.
- `LR_DEFAULTSIZE` — если `cxDesired`, `cyDesired` равны нулю, то использовать системные метрики для пиктограмм и курсоров. Если этот флаг не установлен и `cxDesired`, `cyDesired` равны нулю, то функция использует реальные размеры изображений.
- `LR_LOADFROMFILE` — загружает изображения из файла, имя которого указано параметром `lpszName`. Если флаг не установлен, функция считает, что `lpszName` — это идентификатор ресурса.
- `LR_LOADMAP3DCOLORS` — заменяет серые цвета изображения системными цветами "трехмерных" изображений Windows. Например, цвет `RGB(128,128,128)` будет заменен на `COLOR_3DSHADOW`.
- `LR_LOADTRANSPARENT` — все пикселы, имеющие цвет, совпадающий с цветом первого пиксела, будут окрашены в цвет окна по умолчанию (`COLOR_WINDOW`). Работает только при загрузке изображений с глубиной цвета не более 8 бит на пиксел (256 цветов).
- `LR_MONOCHROME` — загружает изображение в двух цветах: черном и белом.
- `LR_SHARED` — разделяет дескриптор изображения, если оно уже загружено. Если флаг не установлен, то каждый вызов функции для одного и того же ресурса загружает его снова и возвращает новый дескриптор. Этот флаг не должен быть установлен при загрузке изображений нестандарт-

ных размеров или изображений, которые могут быть изменены после загрузки, а также при загрузке из файла. Данный флаг должен быть установлен при загрузке системных пиктограмм или курсоров.

- `LR_VGACOLOR` — использовать VGA-цвета.

С использованием функции `LoadImage()` мы могли бы загрузить изображения прямо из BMP-файлов (листинг 9.12).

Листинг 9.12. Модифицированный метод `CMainFrame::FillPatternsList()`. Файл MainFrm.cpp

```
#define N_PATTERNS 8
void CMainFrame::FillPatternsList()
{
   m_PatternsList.DeleteImageList();
   // Создаем список изображений
   m_PatternsList.Create( 32, 32, ILC_COLOR24, 0, 1 );

   // Загружаем все изображения и добавляем изображение в список
   CBitmap bm;
   int index=0; // индекс добавленной картинки
   // Загрузка шаблонов заливки из файлов BMP на диске
   CString Path, PatternName;
   // Получили название текущего каталога
   GetCurrentDirectory( MAX_PATH, Path.GetBuffer(MAX_PATH));
   // А так можно узнать, где располагается exe-файл программы,
   // если хотим указать положение каталога с шаблонами
   // относительно положения  exe-файла
   // GetModuleFileName(AfxGetInstanceHandle(),
   //   Path.GetBuffer(MAX_PATH), MAX_PATH);

   Path.ReleaseBuffer();
   for(int n=0; n<N_PATTERNS; n++)
   {
      // Формируем путь и имя файла шаблона
      PatternName.Format("\\Patterns\\Pattern%d.bmp", n);
      PatternName=Path+PatternName;
      HBITMAP hBMP=NULL;
```

```
        // Загружаем шаблон
        hBMP=(HBITMAP)LoadImage(NULL, PatternName, IMAGE_BITMAP, 0, 0,
             LR_LOADFROMFILE|LR_DEFAULTCOLOR);
        // Добавляем изображение шаблона в список шаблонов
        index=m_PatternsList.Add(bm.FromHandle(hBMP) , RGB(0, 0, 0));
        bm.DeleteObject( );
    }

    // Получаем указатель на элемент управления "Список" диалоговой панели
    CListCtrl* pImageListCtrl = (CListCtrl*)
        m_dlgBarImages.GetDlgItem(IDC_IMAGE_LIST);
    ASSERT(pImageListCtrl!=NULL);
    pImageListCtrl->DeleteAllItems( );
    // Добавляем в "Список" названия шаблонов
    CString Caption;
    for(int i=0; i<=index; i++)
    {
        Caption.Format("Pat %d",i+1);
        pImageListCtrl->InsertItem( i, Caption, i );
    }
    // Связываем список-элемент управления диалога
    // со списком изображений шаблонов
    pImageListCtrl->SetImageList(&m_PatternsList, LVSIL_NORMAL);
}
```

Однако в этом случае возникнут сложности при сохранении изображений, созданных в программе Painter. Если мы используем для рисования какой-нибудь фигуры кисть, шаблон которой загружается из файла, то при отсутствии файла с шаблоном рисунок уже не сможет быть правильно отображен. Поэтому придется каким-то образом сохранять шаблоны вместе с рисунком или распространять вместе с программой.

9.7. Заключение

В этой главе мы рассмотрели средства, которые позволяют улучшить интерфейс и расширить изобразительные возможности программы Painter (рис. 9.17). Исходный код программы содержится на компакт-диске в каталоге Sources\Painter4.1.

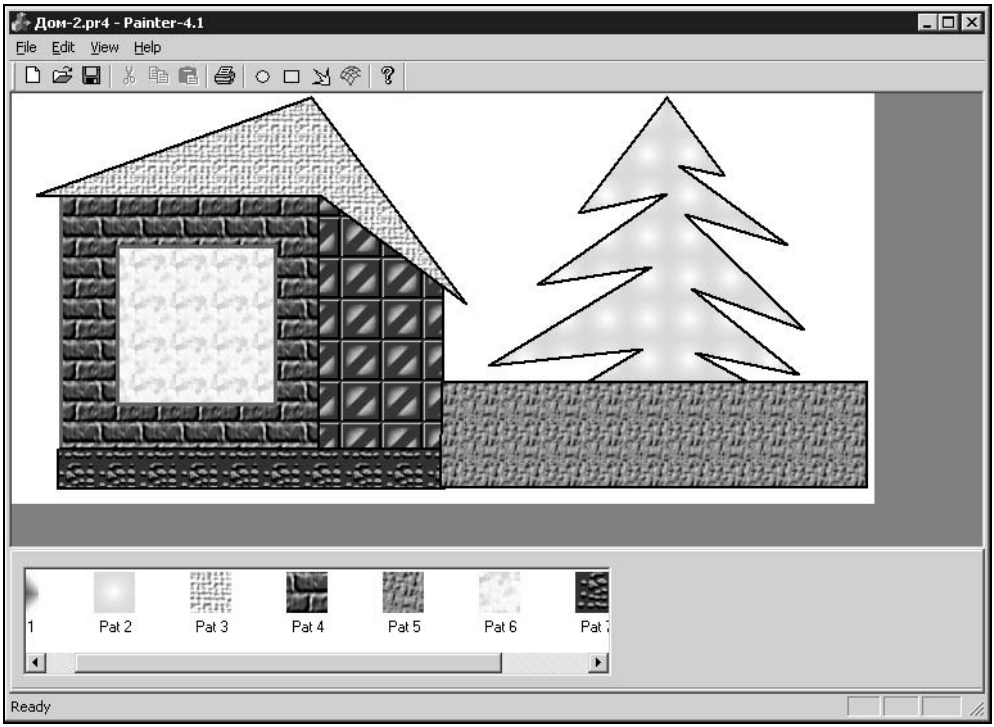
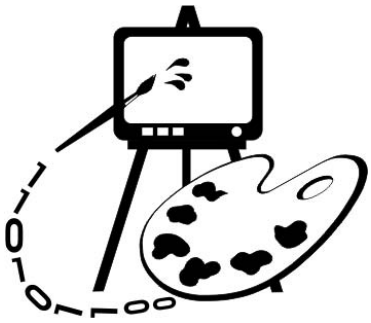


Рис. 9.17. Программа Painter с новым интерфейсом

В следующих главах продолжим работу с растровой графикой. Дополнительную информацию о работе с ресурсами приложения можно найти в [7].

Глава 10

Экспорт изображений в BMP-файл



В этой главе рассматриваются:

- растровый формат Microsoft Windows Bitmap (BMP);
- экспорт изображений из программы Painter в BMP-файл (программа Painter 4.2).

10.1. Общее описание формата BMP

Microsoft Windows Bitmap (BMP) — собственный растровый формат операционной системы Windows. Думаю можно смело утверждать, что все Windows-приложения, предназначенные для работы с изображениями, поддерживают формат BMP. Формат основан на внутренних структурах представления растровых данных Windows, но, несмотря на это, поддерживается многими "не Windows"- и даже "не PC"-приложениями. Формат совершенствовался и развивался по мере появления новых версий Windows. Первоначально он был очень простым, содержал лишь растровые данные и не поддерживал сжатие. Растровые данные представляли собой индексы в цветовой палитре, которая была фиксированной, и определялась графической платой. Поэтому этот формат называют аппаратно-зависимым (Device Dependent Bitmap, DDB), он был ориентирован на графические платы для IBM PC (CGA, EGA, Hercules и другие).

Развитием формата BMP стало введение в него поддержки изменяемой цветовой палитры. Это позволило хранить информацию о цветах вместе с растровыми данными. Такое изменение формата позволило сделать хранимые изображения аппаратно-независимыми (Devise Independent Bitmap, DIB). Иногда аббревиатуру DIB используют как синоним BMP.

Уже существует, по крайней мере, четыре Windows-версии формата BMP и две версии формата для операционной системы OS/2. Возможно, при создании новых версий операционной системы Windows в формат будут и дальше

вноситься изменения. В каждой новой версии в заголовке растра появляется новая информация. Однако грамотно написанные программы, осуществляющие чтение и отображение изображений в новом формате, способны работать и со старыми форматами.

10.2. Структура файла

Файлы DDB исходного формата BMP содержали два раздела: заголовок файла и растровые данные (рис. 10.1).

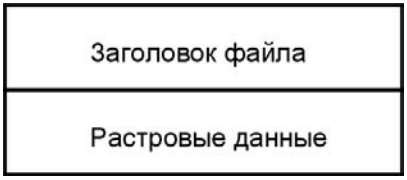


Рис. 10.1. Структура файла DDB исходного формата BMP

Файлы более поздних версий содержат четыре раздела: заголовок файла, информационный заголовок растра, палитру цветов и растровые данные (рис. 10.2).

Рис. 10.2. Структура BMP-файла

Рассмотрим в деталях структуру данных файла формата BMP версии 3.*x*, появившегося с операционной системой Microsoft Windows 3.*x*. Этот формат поддерживается большинством существующих в настоящее время приложений.

Все версии формата BMP начинаются с 14-байтового заголовка-структуры `BITMAPFILEHEADER`:

```
typedef struct tagBITMAPFILEHEADER
{
   WORD  bfType;      // Тип файла, должен быть 4d42h ("BM")
```

```
   DWORD bfSize;      // Размер файла в байтах
   WORD  bfReserved1; // Зарезервировано, должен быть 0
   WORD  bfReserved2; // Зарезервировано, должен быть 0
   DWORD bfOffBits;   // Смещение в байтах до начала растровых данных
} BITMAPFILEHEADER;
```

Поле `bfType` содержит 2-байтовое число-идентификатор типа файла, его значение должно быть равно `4D42h`, или `BM` (в формате ASCII).

Поле `bfSize` содержит общий размер файла BMP в байтах. В несжатых файлах это поле может быть равно нулю. Размер файла в этом случае можно узнать у операционной системы.

Поля `bfReserved1` и `bfReserved2` не содержат данных и обычно устанавливаются в нуль. Программа, работающая с файлами BMP, может использовать эти поля для своих целей.

В поле `bfOffBits` хранится смещение в байтах от начала файла до начала растровых данных. Эту информацию можно использовать для быстрого доступа к растровым данным.

За заголовком файла следует заголовок растра `BITMAPINFOHEADER`. Его длина составляет 40 байтов.

```
typedef struct tagBITMAPINFOHEADER
{
   DWORD  biSize;          // Размер этого заголовка в байтах
   LONG   biWidth;         // Ширина изображения в пикселах
   LONG   biHeight;        // Высота изображения в пикселах
   WORD   biPlanes;        // Количество цветовых плоскостей
   WORD   biBitCount       // Количество битов на пиксел
   DWORD  biCompression;   // Используемые методы сжатия
   DWORD  biSizeImage;     // Размер растра в байтах
   LONG   biXPelsPerMeter; // Горизонтальное разрешение
   LONG   biYPelsPerMeter; // Вертикальное разрешение
   DWORD  biClrUsed;       // Количество цветов в изображении
   DWORD  biClrImportant;  // Минимальное количество "важных" цветов
} BITMAPINFOHEADER;
```

Поле `biSize` указывает размер заголовка `BITMAPINFOHEADER` в байтах. Поля `biWidth` и `biHeight` определяют соответственно ширину и высоту изображения в пикселах. Если `biHeight` — положительное число, то изображение представляет собой растр с началом в левом нижнем углу. Если `biHeight` — отрицательное, то начало растра в левом верхнем углу.

Поле `biPlanes` — количество цветовых плоскостей, в BMP-файлах одна цветовая плоскость, поэтому значением этого поля всегда является единица.

В поле biBitCount указывается количество бит, отводимых под один пиксел. Допустимые значения 1, 4, 8, 24.

Поле biCompression содержит идентификатор используемого метода сжатия. Значение 0 этого поля указывает на то, что данные не сжаты, 1 — был применен 8-битовый алгоритм сжатия RLE; 2 — был применен 4-битовый алгоритм RLE.

Поле biSizeImage задает размер растровых данных в байтах. Бывает, что для несжатых растровых данных значение этого поля равно нулю. В этом случае их размер может быть вычислен на основе значений полей biHeight, biWidth и biBitCount.

Поля biXPelsPerMeter и biYPelsPerMeter содержат информацию соответственно о горизонтальном и вертикальном разрешении, выраженном в пикселах на метр. Эта информация позволяет определить физические размеры изображения при выводе на печать.

В поле biClrUsed указывается количество используемых цветов в палитре. Например, при biBitCount, равном 8, палитра может содержать до 256 цветов, если же реально в изображении задействовано меньшее количество цветов, то его можно указать в поле biClrUsed. Значение поля biClrUsed определяет, сколько места нужно отвести под хранение палитры. Если значение этого поля равно нулю, то количество цветов в палитре рассчитывается на основе значения поля biBitCount.

Поле biClrImportant содержит минимальное количество цветов, которые могут быть использованы для адекватного воспроизведения изображения. Такие цвета стараются поместить в начало палитры. Если устройство не способно отразить всю палитру цветов, то оно использует только начало палитры. Обычно значение этого поля равно нулю.

За заголовком растра может следовать палитра цветов. Палитра цветов состоит из последовательности 4-байтовых структур RGBQUAD:

```
typedef struct _RGBQUAD
{
   BYTE   rgbBlue;      // Синяя составляющая
   BYTE   rgbGreen;     // Зеленая составляющая
   BYTE   rgbRed;       // Красная составляющая
   BYTE   rgbReserved;  // Заполнитель (всегда 0)
} RGBQUAD;
```

Значения цветовых составляющих хранятся в полях rgbBlue, rgbGreen, rgbRed. Поле rgbReserved не используется.

Структура BITMAPINFOHEADER и структуры RGBQUAD собираются в структуре BITMAPINFO:

```
typedef struct tagBITMAPINFO {
   BITMAPINFOHEADER   bmiHeader;
   RGBQUAD            bmiColors[1];
} BITMAPINFO;
```

Количество элементов в массиве `bmiColors[]` соответствует количеству цветов в палитре изображения.

После структуры `BITMAPINFO` на расстоянии `bfOffBits` (поле структуры `BITMAPFILEHEADER`) от начала файла начинаются растровые данные. Растровые данные представляют собой индексы в палитре цветов (в случае если `biBitCount` равно 1, 4, 8) или реальные значения цветов пикселов (в случае если `biBitCount` равно 24). Если `biBitCount` равно 24, то каждый пиксел представляется тремя байтами: первый байт — интенсивность синего цвета, затем по байту на зеленый и красный цвет.

Растровые данные, соответствующие одной строке пикселов изображения, вне зависимости от формата цвета должны быть выровнены на границу двойного слова `DWORD`, т. е. каждая строка пикселов должна описываться целым числом двойных слов. Например, строка из 5 пикселов по 24 бита (3 байта) на пиксел может быть описана 15 байтами, но длина строки растровых данных в формате BMP должна быть 16 байтов. Последний байт будет служить лишь для целей выравнивания.

Формат BMP версии 3.*x* имеет разновидность (для Windows NT), предназначенную для хранения растровых данных с пиксельной глубиной 16 и 32 бит. Этот формат имеет точно такую же структуру заголовка растра `BITMAPINFOHEADER`. Его длина составляет 40 байтов. Отличие заключается в том, что поле `biBitCount` может принимать значения 16 и 32.

При пиксельной глубине 16 битов для хранения цвета пиксела отводится два байта (слово — тип `WORD`), каждому компоненту цвета пиксела отводится по 5 битов (формат цвета RGB555). Младшие 5 битов задают интенсивность синего цвета, затем по пять битов на зеленый и красный цвет, старший бит в слове не используется.

При пиксельной глубине 32 бита для хранения цвета пиксела отводится четыре байта (двойное слово — тип `DWORD`). При этом на каждую компоненту цвета отводится по 8 бит, так же как и при 24-битной глубине, а старший байт в `DWORD` не используется (формат цвета RGB888).

Дополнительные возможности этой разновидности формата проявляются, если указать значение поля `biCompression`, равное 3. В этом случае вслед за структурой `BITMAPINFOHEADER` (на месте палитры цвета) следуют три поля `DWORD`: `RedMask`, `GreenMask`, `BlueMask`, которые задают битовые маски для компонентов цвета пиксела. Биты в этих масках обязательно должны быть смежными и не содержать перекрывающихся полей.

Для 16-битовых растровых данных часто применяют формат RGB565, который задается следующей маской.

```
RedMask    = 0xF8000000; // 1111 1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
GreenMask  = 0x07E00000; // 0000 0111 1110 0000 0000 0000 0000 0000
BlueMask   = 0x001F0000; // 0000 0000 0001 1111 0000 0000 0000 0000
```

С помощью этой маски из значения `WORD`, задающего цвет пиксела, извлекается значение каждого цветового компонента. В формате RGB565 красному и синему цветам отводится по 5 битов, а зеленому — 6 битов. Такое неравноправие обосновывают тем, что человеческий глаз более восприимчив к зеленому цвету, поэтому тщательная запись его градаций позволяет повысить качество изображения.

Для 32-битовых растровых данных используют формат RGB101010, определяющий по 10 битов на каждый цвет, который задается следующей маской.

```
RedMask    = 0xFFC00000; // 1111 1111 1100 0000 0000 0000 0000 0000
GreenMask  = 0x003FF000; // 0000 0000 0011 1111 1111 0000 0000 0000
BlueMask   = 0x00000FFC; // 0000 0000 0000 0000 0000 1111 1111 1100
```

По сравнению с форматом RGB888, такое представление позволяет описать большее количество цветов.

10.3. Экспорт рисунков в растровый файл формата BMP

Рисунки, созданные в программе Painter, могут быть сохранены в файл в некотором своем формате. Однако недостаток таких файлов в том, что они могут быть прочитаны лишь программой Painter. Для того чтобы можно было просматривать и редактировать изображения, созданные нашей программой в других редакторах, добавим функцию сохранения изображения в файл BMP-формата. Рисунки, сохраненные в формате BMP, могут быть загружены практически любым растровым редактором, например Adobe Photoshop или программой Microsoft Paint, входящей в набор стандартных Windows-приложений.

Для сохранения изображения в файл BMP-формата нам потребуется.

1. Вывести рисунок на растр, совместимый с контекстом устройства отображения (экрана).
2. Записать рисунок в файл.
3. Добавить соответствующую команду в меню программы Painter.

Программа Painter создает векторные изображения и позволяет использовать разные растровые заливки фигур. Растрирование такого рисунка может оказаться сложной задачей. Но тут нам на помощь придут классы MFC

и API-функции Windows. Растрирование выполняется при выводе рисунка на экран или принтер. Точно так же мы можем записать изображение в некоторую область памяти. Для этого дополним наш класс `CPainterView` методом `SaveBMP`, в котором и выполним перевод нашего рисунка в растровое представление (листинг 10.1). После растрирования рисунка он записывается в файл с помощью глобальной функции `SaveBitmapToBMPFile`, прототип которой определен в файле Savebmp.h (листинг 10.2), а реализация — в файле Savebmp.cpp (листинг 10.3). Вот почти и все, осталось только добавить в меню команду **Save as BMP**, а в класс `CPainterView` — метод-обработчик `OnSaveBmp()`. В этом методе с помощью стандартного Windows-диалога будем получать имя файла и вызывать метод `SaveBMP()` (листинг 10.4).

Листинг 10.1. Метод `CPainterView::SaveBMP()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::SaveBMP(CString &FileName)
{
   // Получим контекст устройства, на котором рисуем
   CDC *pwDC=GetDC();
   // Подготовим контекст устройства
   OnPrepareDC(pwDC);

   // Запомним прежнюю позицию прокрутки
   CPoint ScrollPos=GetScrollPosition();
   // Установим позицию прокрутки в начало,
   // чтобы нарисовалась вся картинка
   ScrollToPosition(CPoint(0,0));

   // Контекст устройства для памяти, в которую будет происходить вывод
   CDC MemDC;
   // Создадим контекст устройства, совместимый с экраном
   MemDC.CreateCompatibleDC(pwDC);
   // Подготовим контекст
   // Этот метод установит режим отображения, в котором мы работаем
   OnPrepareDC(&MemDC);

   // Узнаем логические и физические размеры рисунка
   // Получили указатель на объект-документ
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   CSize   SizeTotal,   // это логический размер
```

```
            SizeBMP;     // это физический размер
    SizeTotal.cx = pDoc->m_wSheet_Width; // ширина
    SizeTotal.cy = pDoc->m_wSheet_Height; // высота
    SizeBMP=SizeTotal;
    MemDC.LPtoDP(&SizeBMP); // Перевод логического размера в физический

    // Создадим растровую "заготовку", на которой будем рисовать
    CBitmap BMP;
    BMP.CreateCompatibleBitmap(pwDC, SizeBMP.cx, SizeBMP.cy);
    // Установим заготовку в контекст памяти
    MemDC.SelectObject(&BMP);

    // Белый фон
    CBrush brush;
    CBrush *pBrushOld;
    if(brush.CreateSolidBrush(RGB(255,255,255)))
    {
        pBrushOld=MemDC.SelectObject(&brush);
        MemDC.PatBlt(0, 0, SizeTotal.cx, SizeTotal.cy, PATCOPY);
        MemDC.SelectObject(pBrushOld);
    }

    // Вывод рисунка в контекст памяти
    OnDraw(&MemDC);

    // Теперь запишем полученную растровую картинку в файл
    SaveBitmapToBMPFile(FileName, BMP, MemDC);

    // Контекст экрана больше не нужен
    ReleaseDC(pwDC);
    // Вернем позицию прокрутки
    ScrollToPosition(ScrollPos);
}
```

Листинг 10.2. Прототипы функций записи растра в файл. Файл Savebmp.h

```
// Макрос для определения количества байтов в выровненной
// по DWORD строке пикселов в DIB
// Width — длина строки в пикселах; BPP — битов на пиксел
```

```
#define BYTESPERLINE(Width, BPP) ((WORD)((((DWORD)(Width) *
(DWORD)(BPP) + 31) >> 5)) << 2)

BOOL SaveBitmapToBMPFile(CString &FileName, CBitmap &BMP, CDC &DC);
PBITMAPINFO CreateBitmapInfoStruct(HBITMAP hBmp);
```

Листинг 10.3. Функции `CreateBitmapInfoStruct()` и `SaveBitmapToBMPFile()`. Файл Savebmp.cpp

```
#include "stdafx.h"
#include "SaveBMP.h"

PBITMAPINFO CreateBitmapInfoStruct(HBITMAP hBmp)
{
    BITMAP bmp;
    PBITMAPINFO pbmi;
    WORD    cClrBits;

    // Получаем размер картинки и количество битов на пиксел (формат
цвета)
    if (!GetObject(hBmp, sizeof(BITMAP), (LPSTR)&bmp))
        return NULL;
    // Преобразование формата цвета к стандартному числу битов
   if(bmp.bmBitsPixel>24) bmp.bmBitsPixel=24;
      cClrBits = (WORD)(bmp.bmBitsPixel);
   if (cClrBits == 1)
      cClrBits = 1;
   else if (cClrBits <= 4)
        cClrBits = 4;
   else if (cClrBits <= 8)
        cClrBits = 8;
   else if (cClrBits <= 16)
        cClrBits = 16;
   else
        cClrBits = 24;

    // Выделяем память для структуры  BITMAPINFO
   // с учетом размера структуры BITMAPINFOHEADER
   if (cClrBits < 16)
```

```
        // учитываем также палитру цветов (массив структур RGBQUAD)
      pbmi = (PBITMAPINFO) new BYTE[sizeof(BITMAPINFOHEADER) +
                                    sizeof(RGBQUAD) * (1<<cClrBits)];
   else  // палитры нет
      pbmi = (PBITMAPINFO) new BYTE[ sizeof(BITMAPINFOHEADER)];

   // Заполняем поля структуры BITMAPINFO
   pbmi->bmiHeader.biSize = sizeof(BITMAPINFOHEADER);
   pbmi->bmiHeader.biWidth = bmp.bmWidth;
   pbmi->bmiHeader.biHeight = bmp.bmHeight;
   pbmi->bmiHeader.biPlanes = bmp.bmPlanes;
   pbmi->bmiHeader.biBitCount = bmp.bmBitsPixel;
   pbmi->bmiHeader.biXPelsPerMeter = 0;
   pbmi->bmiHeader.biYPelsPerMeter = 0;

   if (cClrBits < 16)
        pbmi->bmiHeader.biClrUsed = (1<<cClrBits);
     // Сжимать картинку не собираемся — ставим флаг BI_RGB
    pbmi->bmiHeader.biCompression = BI_RGB;
   // Вычисляем количество байтов, требуемых для хранения изображения
   // с учетом количества пикселов и бит на пиксел.
   // В файле BMP строки должны быть выровнены на границу 4 байт,
   // поэтому длина строки в байтах определяется с помощью
   // специального макроса (см. файл savebmp.h)
    pbmi->bmiHeader.biSizeImage =
                  BYTESPERLINE(pbmi->bmiHeader.biWidth, cClrBits)*
                  pbmi->bmiHeader.biHeight;
   // Считаем, что все цвета нашей картинки важны
   pbmi->bmiHeader.biClrImportant = 0;

   return pbmi;
}

BOOL SaveBitmapToBMPFile(CString &FileName, CBitmap &BMP, CDC &DC)
{
   HANDLE hf=NULL;             // указатель на файл
   BITMAPFILEHEADER hdr;       // заголовок BMP-файла
   PBITMAPINFOHEADER pbih;     // заголовок картинки
   BYTE * pBits=NULL;          // указатель на растровые данные
```

```
 DWORD dwWidthBytes=0;       // длина строки растровых данных в байтах
 DWORD dwTmp=0;              // для временных потребностей
// Создаем структуру — заголовок растра
PBITMAPINFO pbmi=CreateBitmapInfoStruct((HBITMAP)BMP);

pbih = (PBITMAPINFOHEADER) pbmi;

// Выделяем память под растровые данные
pBits =  new BYTE[pbih->biSizeImage];
if (!pBits) return FALSE;

// Получаем растровые данные
// и таблицу цветов (массив структур RGBQUAD), если она есть
if (!GetDIBits(DC.m_hDC, (HBITMAP)BMP, 0, (WORD) pbih->biHeight,
               pBits, pbmi, DIB_RGB_COLORS))
   return FALSE;

// Создаем файл на диске
hf = CreateFile(FileName,
                GENERIC_READ | GENERIC_WRITE,
                (DWORD) 0,
                (LPSECURITY_ATTRIBUTES) NULL,
                CREATE_ALWAYS,
                FILE_ATTRIBUTE_NORMAL,
                (HANDLE) NULL);
if (hf == INVALID_HANDLE_VALUE) return FALSE;
// Идентификатор типа файла BMP: 0x42 = "B" 0x4d = "M"
hdr.bfType = 0x4d42;

// Размер всего файла вместе с заголовками и данными
hdr.bfSize = (DWORD) (sizeof(BITMAPFILEHEADER) +
             pbih->biSize + pbih->biClrUsed *
             sizeof(RGBQUAD) + pbih->biSizeImage);
hdr.bfReserved1 = 0;
hdr.bfReserved2 = 0;

// Вычисляем смещение до начала растровых данных
hdr.bfOffBits = (DWORD) sizeof(BITMAPFILEHEADER) +
                pbih->biSize + pbih->biClrUsed
```

```
                    * sizeof (RGBQUAD);

   // Записываем заголовок файла — структуру BITMAPFILEHEADER
   if (!WriteFile(hf, (LPVOID) &hdr, sizeof(BITMAPFILEHEADER),
      (LPDWORD) &dwTmp, (LPOVERLAPPED) NULL))
      return FALSE;

   // Записываем заголовок картинки — структуру BITMAPINFOHEADER
   // и палитру — массив RGBQUAD
   if (!WriteFile(hf, (LPVOID) pbih, sizeof(BITMAPINFOHEADER) +
                  pbih->biClrUsed * sizeof (RGBQUAD),
                  (LPDWORD) &dwTmp, (LPOVERLAPPED) NULL))
       return FALSE;

    // Записываем растровые данные
   dwWidthBytes = BYTESPERLINE(pbih->biWidth, pbih->biBitCount);
   LONG i=0, j=0;
   BYTE *pCurStr=NULL;   // указатель на текущую строку
   pCurStr=pBits;
   for(i=0; i<pbih->biHeight; i++) // записываем по строкам
   {
       if (!WriteFile(hf, (LPSTR) pCurStr, (int) dwWidthBytes,
                          (LPDWORD) &dwTmp, (LPOVERLAPPED) NULL))
          return FALSE;
      pCurStr+=dwWidthBytes;
   }

   // Закрываем файл
   if (!CloseHandle(hf)) return FALSE;

   // Освобождаем память
   if(pBits!=NULL) delete[] pBits;
   if(pbmi!=NULL) delete[] pbmi;
   return TRUE;
}
```

Несколько подозрительной выглядит в функции `CreateBitmapInfoStruct()` строчка:

```
if(bmp.bmBitsPixel>24) bmp.bmBitsPixel=24;
```

Дело в том, что мы указываем значение поля `biCompression=BI_RGB`, т. е. 0, а если `biCompression` равно 0, то в случае `bmBitsPixel`, равного 32, данные поступят в формате RGB888, и нам нет смысла выделять место под лишний байт. Функция же `GetDIBits()`, с помощью которой извлекаются растровые данные, оказывается достаточно умна, чтобы преобразовать данные в соответствии со значением `bmBitsPixel=24`. Таким образом, данные будут представлены в том же формате RGB888, но занимать будут не 32 бита, а 24, как им и полагается.

Листинг 10.4. Метод `CPainterView::OnSaveBmp()`. Файл PainterView.cpp

```
void CPainterView::OnSaveBmp()
{
   CPainterDoc *pDoc=GetDocument();
   // Из названия картинки формируем имя файла
   CString FileName=pDoc->GetTitle();
   if(FileName.ReverseFind('.')>-1)
      FileName=FileName.Left(FileName.ReverseFind('.'));
   // Фильтр файлов
   CString Filter="BMP File (*.bmp)|*.bmp|All Files (*.*)|*.*||";
   CString DefExt="BMP";
   CFileDialog SaveDlg(FALSE, (LPCSTR)DefExt, (LPCSTR)FileName,
                  OFN_HIDEREADONLY | OFN_OVERWRITEPROMPT,
                  (LPCSTR)Filter, this);
   if(SaveDlg.DoModal()==IDCANCEL) return;
   SaveBMP(SaveDlg.GetPathName());
}
```

10.4. Заключение

Ну вот, теперь программа Painter умеет экспортировать свои рисунки в растровый формат BMP. Рисунки сохраняются в том виде, в котором они представлены на экране. Причем сделано так, что экспортируется весь лист. В принципе, можно ограничиться сохранением только той части рисунка, в которой имеется изображение. Если вы захотите задавать размер и разрешение растрового рисунка, как, например, это происходит при экспорте изображений из CorelDRAW, то, возможно, добиться этого удастся изменением режима отображения для контекста памяти в методе `CPainterView::SaveBMP()`.

Исходные тексты программы приведены на компакт-диске в каталоге Sources\Painter4.2. На рис. 10.3 показана программа Painter с тестовым

рисунком. На рис. 10.4 — рисунок, экспортированный из программы Painter в BMP-файл (вы можете найти его в каталоге \Pics\Painter\ — файл Тест.BMP). На рис. 10.5 — тот же рисунок, но уже в растровом редакторе Microsoft Paint.

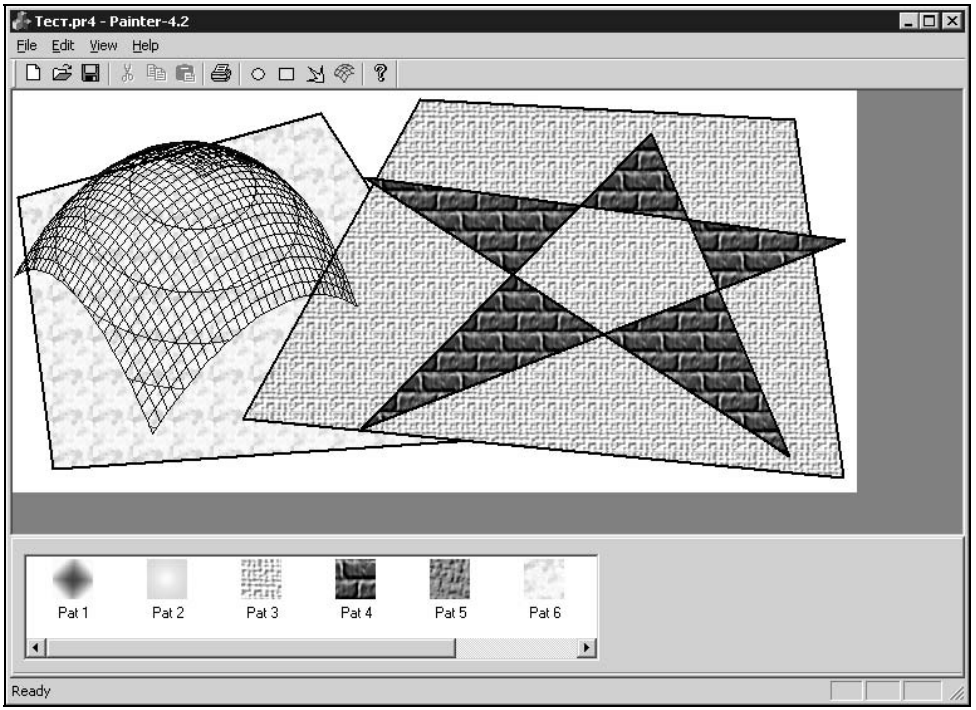


Рис. 10.3. Рисунок в программе Painter

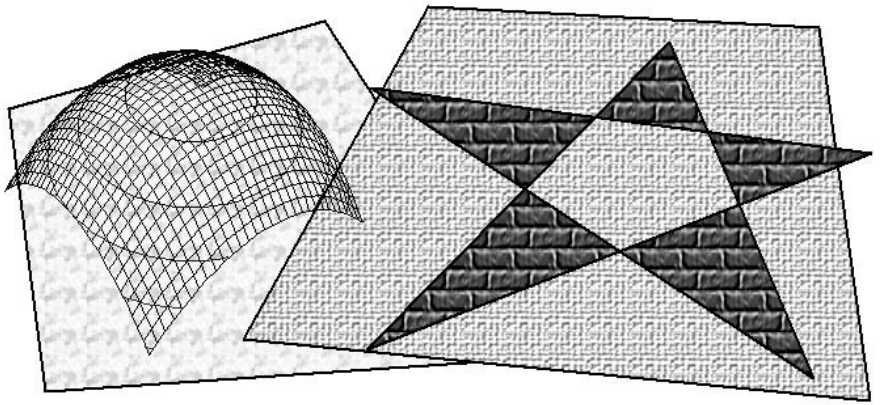


Рис. 10.4. Рисунок, экспортированный в BMP-формат

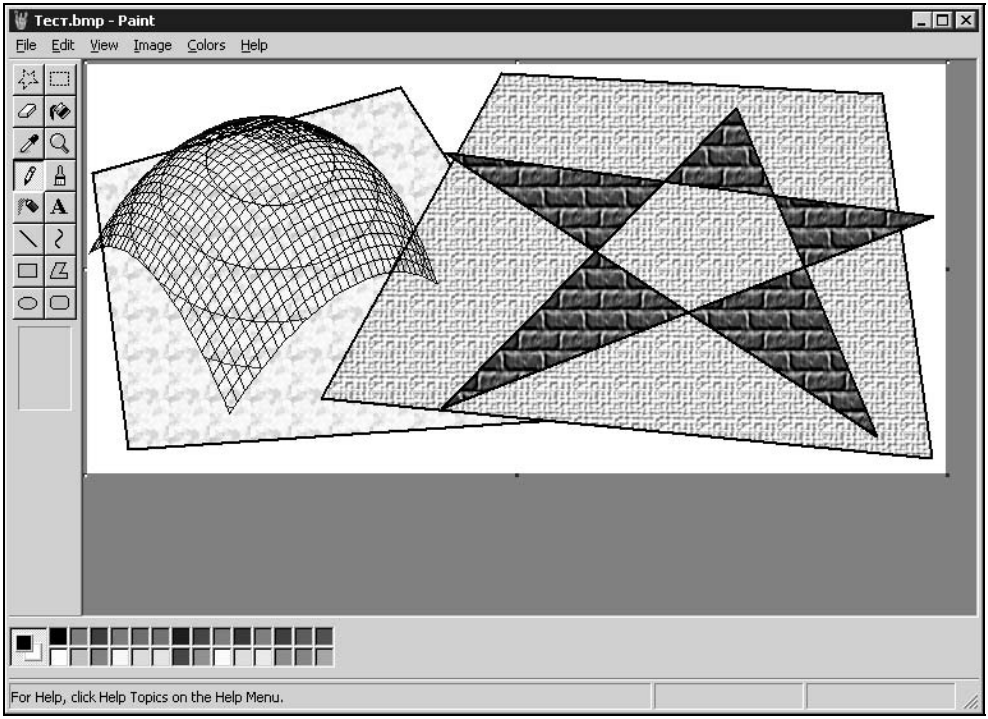
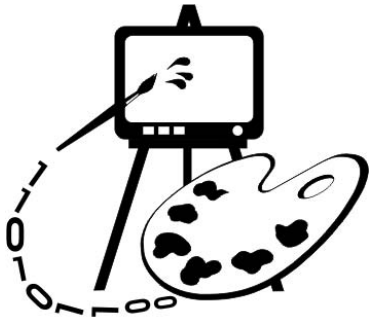


Рис. 10.5. Рисунок в растровом редакторе Microsoft Paint

Дополнительную информацию о формате BMP, а также описание боль-шого числа других форматов графических файлов можно найти в книгах [6, 15, 16].

Глава 11

Просмотр и редактирование растровых изображений



В этой главе рассматриваются:

- создание многодокументного приложения;
- загрузка изображений из файлов формата BMP;
- вывод растровых изображений на экран;
- редактирование изображений с помощью точечных и пространственных фильтров;
- программная реализация преобразований (программа BMViewer).

11.1. Создание многодокументного приложения

До сих пор мы работали с программой, поддерживающей одновременную работу лишь с одним документом-изображением (SDI-интерфейс). Во многих случаях такая организация интерфейса вполне приемлема. Рассмотрим далее, как можно создать приложение с многодокументным интерфейсом (MDI-интерфейсом). Особых усилий от нас не потребуется. Всю основную работу сделает генератор приложений AppWizard.

Создадим каркас приложения для просмотра и редактирования рисунков:

1. С помощью команды **File | New | Projects | MFC AppWizard (exe)** начнем создание приложения. Назовем проект BMViewer.
2. На первом шаге выберем тип приложения Multiple documents.
3. До шестого шага можно принять все установки по умолчанию.
4. На шестом шаге генератора приложений изменим базовый класс облика с предложенного по умолчанию `CView` на `CScrollView`. Этот поступок не пройдет бесследно, а обеспечит нас впоследствии возможностью прокручивать изображения в окне облика, если они целиком в нем не поместятся.

Здесь же можно изменить имена файлов, в которых будут размещены классы нашего приложения. Например, предложенное имя BMViewerView.h можно заменить на более лаконичное BMView.h.

Вот и все, каркас программы готов. Осталось теперь наделить его полезными качествами.

11.2. Класс *CRaster* для работы с растровыми изображениями

Структура файла с растровым изображением в формате Microsoft Windows Bitmap (BMP) была рассмотрена в предыдущей главе, поэтому перейдем сразу к делу.

Создадим в программе специальный класс, который будет отвечать за загрузку и осуществлять поддержку операций по обработке растрового изображения. Назовем класс `CRaster`. Интерфейс класса `CRaster` приведен в листинге 11.1, а реализация методов в листинге 11.2.

Листинг 11.1. Интерфейс класса `CRaster`. Файл Raster.h

```
// Raster.h : interface of CRaster class
// (C) Alexey Polyakov 2002
////////////////////////////////////////////////////////////////////////
#ifndef _RASTER_INCLUDED
#define _RASTER_INCLUDED
// Макрос для определения количества байтов в выровненной
// по DWORD строке пикселов в DIB
// Width — длина строки в пикселах; BPP — бит на пиксел
#define BYTESPERLINE(Width, BPP) ((WORD)((((DWORD)(Width) * ↳
(DWORD)(BPP) + 31) >> 5)) << 2)

class CRaster
{
   LPBITMAPINFO       m_pBMI;    // Описание изображения
   PBYTE              m_pData;   // Указатель на начало растровых данных
public:
   CRaster();
   ~CRaster();
   void Clear(); // Очистка памяти
```

```
    // Возвращает
   // Указатель на заголовок растра
    LPBITMAPINFO GetBMInfoPtr(){return m_pBMI;}
    // Указатель на таблицу цветов
    RGBQUAD* GetBMColorTabPtr();
    // ширину в пикселах
    LONG GetBMWidth();
    // высоту в пикселах
    LONG GetBMHeight();
    // Указатель на растровые данные
    BYTE* GetBMDataPtr(){return m_pData;};
    // Указатель на пиксел
    BYTE* GetPixPtr(LONG x, LONG y);

    // Загружает из файла
    BOOL LoadBMP(CString FileName);
    // Выводит DIB на контекст pDC с позиции x,y, размером cx на cy
    void DrawBitmap(CDC *pDC, LONG x=0, LONG y=0, LONG cx=0, LONG cy=0,
      LONG x0=0, LONG y0=0, LONG cx0=0, LONG cy0=0, DWORD rop=SRCCOPY );
    // Записывает BMP в файл
    BOOL SaveBMP(CString FileName);
    // Создает копию
    BOOL CreateCopy(CRaster *pOrg);
    // Создает растр заданного размера,
    // совместимый с параметрами BITMAPINFO
    BOOL CreateCompatible(LPBITMAPINFO pBMI, LONG width=0, LONG height=0);
    // Возвращает гистограмму изображения
    BOOL GetHistogham(DWORD *pHist, int Range);
};
#endif
```

Листинг 11.2. Реализация методов класса `CRaster`. Файл Raster.cpp

```
// Raster.cpp : implementation of the CRaster class
// (C) Alexey Polyakov 2002
////////////////////////////////////////////////////////////

#include "stdafx.h"
#include "Raster.h"
```

```
CRaster::CRaster()
{
   m_pData=NULL;
   m_pBMI=NULL;
}

CRaster::~CRaster()
{
   Clear();
};

void CRaster::Clear()
{

   if(m_pData!=NULL) delete[] m_pData;
   m_pData=NULL;

   if(m_pBMI!=NULL) delete[] m_pBMI;
   m_pBMI=NULL;

};

RGBQUAD* CRaster::GetBMColorTabPtr()
{
   return(LPRGBQUAD)(((BYTE*)(m_pBMI))+sizeof(BITMAPINFOHEADER));
};

LONG CRaster::GetBMWidth()
{
   if(m_pBMI==NULL) return 0;
   return m_pBMI->bmiHeader.biWidth;
};

LONG CRaster::GetBMHeight()
{
   if(m_pBMI==NULL) return 0;
   return m_pBMI->bmiHeader.biHeight;
};
```

```
BYTE* CRaster::GetPixPtr(LONG x, LONG y)
{
   if( x<0 || x>= m_pBMI->bmiHeader.biWidth ||
       y<0 || y>= m_pBMI->bmiHeader.biHeight ||
       m_pData == NULL)
      return NULL;
   return (m_pData+(BYTESPERLINE(m_pBMI->bmiHeader.biWidth,
   m_pBMI->bmiHeader.biBitCount)*y + x*m_pBMI->bmiHeader.biBitCount/8));
};

BOOL CRaster::LoadBMP(CString FileName)
{
   // Очистим
   Clear();
   // Открываем файл
   CFile File;
   if(!File.Open(FileName, CFile::modeRead)) return FALSE;

   ////////////////////////////////////////////////////
   // Загружаем изображение
   // Читаем заголовок файла. Это дает его размер и положение
   // начала данных
   BITMAPFILEHEADER   FI;
   File.Read(&FI, sizeof(BITMAPFILEHEADER));

   // Проверяем, Windows Bitmap изображение ?
   if(FI.bfType!=0x4D42)
   { File.Close(); return FALSE;}

   // Смещаем позицию
   File.Seek(sizeof(BITMAPFILEHEADER), CFile::begin);

   // Считаем, что все от заголовка файла до начала растровых данных
   // есть BITMAPINFO
   // Выделяем память под заголовок
   m_pBMI=(LPBITMAPINFO)new BYTE[FI.bfOffBits-sizeof(BITMAPFILEHEADER)];
   if(m_pBMI==NULL) { File.Close(); return FALSE;}
```

```
   // Читаем BITMAPINFO
   File.Read(m_pBMI, FI.bfOffBits-sizeof(BITMAPFILEHEADER));

   // Умеем работать только с несжатыми данными
   if(m_pBMI->bmiHeader.biCompression!=0)
      { File.Close(); return FALSE;}

   // Переход к началу данных
   File.Seek(FI.bfOffBits, CFile::begin);
   // Выделяем память под данные
   // Расчет размера
   if(m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage==0)
      m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage=
               BYTESPERLINE(m_pBMI->bmiHeader.biWidth,
               m_pBMI->bmiHeader.biBitCount)*m_pBMI->bmiHeader.biHeight;

   m_pData= new BYTE[m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage];
   if(m_pData==NULL) { File.Close(); return FALSE;}
   // Читаем данные
   File.Read(m_pData, m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage);

   File.Close();
   return TRUE;
};

void CRaster::DrawBitmap(CDC *pDC,
                         LONG x/*=0*/, LONG y/*=0*/,
                         LONG cx/*=0*/, LONG cy/*=0*/,
                         LONG x0/*=0*/, LONG y0/*=0*/,
                         LONG cx0/*=0*/, LONG cy0/*=0*/,
                         DWORD rop /*=SRCCOPY*/)
{
   if(m_pBMI==NULL || m_pData==NULL) return;
   // Размеры не заданы — габариты в пикселах
   if(cx==0) cx=GetBMWidth();
   if(cy==0) cy=GetBMHeight();

   if(cx0==0) cx0=GetBMWidth();
   if(cy0==0) cy0=GetBMHeight();
```

```
   HDC  hdc=pDC->GetSafeHdc();
   if(hdc==NULL) return;
   // Установка режима масштабирования
   int oldStretchMode=::SetStretchBltMode(hdc, COLORONCOLOR);
   ::StretchDIBits(hdc,      // дескриптор контекста устройства
                   x, y,     // позиция в области назначения
                   cx, cy,   // размеры обл. назначения
                   x0, y0,   // позиция в исходной области
                   cx0, cy0, // размеры исх. обл.
                   m_pData,  // данные
                   m_pBMI,   // заголовок растра
                   DIB_RGB_COLORS,   //опции
                   rop);     // код растровой операции
if(oldStretchMode!=0)
   ::SetStretchBltMode(hdc, oldStretchMode);
};

BOOL CRaster::SaveBMP(CString FileName)
{
   // Открываем файл
   CFile File;
   if(!File.Open(FileName, CFile::modeCreate|CFile::modeWrite))
      return FALSE;

   ////////////////////////////////////////////////////
   // Записываем изображение
   // Вычислим размер заголовка растра вместе с таблицей цветов
   DWORD SizeOfBMI= (DWORD)m_pBMI->bmiHeader.biSize +
   m_pBMI->bmiHeader.biClrUsed*sizeof(RGBQUAD);

   // Заголовок файла
   BITMAPFILEHEADER   FI;
   // Идентификатор типа файла BMP: 0x42 = "B" 0x4d = "M"
   FI.bfType = 0x4d42;
   // Размер всего файла вместе с заголовками и данными
   FI.bfSize = (DWORD) sizeof(BITMAPFILEHEADER) + SizeOfBMI +
               m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage;
   FI.bfReserved1 = 0;
   FI.bfReserved2 = 0;
```

```
   // Вычисляем смещение до начала растровых данных
   FI.bfOffBits = (DWORD) sizeof(BITMAPFILEHEADER) + SizeOfBMI;
   // Записываем заголовок файла
   File.Write(&FI, sizeof(BITMAPFILEHEADER));

   // Записываем BITMAPINFO вместе с таблицей цветов
   File.Write(m_pBMI, SizeOfBMI);

   // Данные
   File.Write(m_pData, m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage);

   File.Close();
   return TRUE;
};

BOOL CRaster::CreateCopy(CRaster *pOrg)
{
   Clear();
   if(!pOrg) return FALSE;

   LPBITMAPINFO pOrgBMI=pOrg->GetBMInfoPtr();
   // Вычислим размер заголовка растра вместе с таблицей цветов
   DWORD SizeOfBMI= (DWORD)pOrgBMI->bmiHeader.biSize +
                    pOrgBMI->bmiHeader.biClrUsed*sizeof(RGBQUAD);

   // Выделим память под заголовок растра
   m_pBMI=(LPBITMAPINFO)new BYTE[SizeOfBMI];
   if(!m_pBMI) return FALSE;
   // Копируем заголовок растра
   memcpy(m_pBMI, pOrg->GetBMInfoPtr(), SizeOfBMI);

   // Расчет размера памяти под данные
   if(m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage==0)
   m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage=
   BYTESPERLINE(m_pBMI->bmiHeader.biWidth, m_pBMI->bmiHeader.biBitCount)*
   m_pBMI->bmiHeader.biHeight;
   // Выделяем память под данные
   m_pData= new BYTE[m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage];
   if(!m_pData) return FALSE;
```

```
   // Копируем данные
   memcpy(m_pData, pOrg->GetBMDataPtr(), m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage);

   return TRUE;
};

BOOL CRaster::CreateCompatible(LPBITMAPINFO pBMI, LONG width/*=0*/,
                                                  LONG height/*=0*/)
{
   if(!pBMI) return FALSE;

   if(width==0)    width=pBMI->bmiHeader.biWidth;
   if(height==0)   height=pBMI->bmiHeader.biHeight;

   // Проверяем, может существующий растр и так совместим
   if( m_pBMI!=NULL &&                       // существует
       m_pBMI->bmiHeader.biWidth==width &&   // такого же размера
       m_pBMI->bmiHeader.biHeight==height && // и глубина цвета совпадает
       m_pBMI->bmiHeader.biBitCount==pBMI->bmiHeader.biBitCount)
      return TRUE; // Растр и так совместим
   ////////////////////////////////////////////////////
   // Создаем совместимый растр
   Clear();
   // Вычислим размер заголовка растра вместе с таблицей цветов
   DWORD SizeOfBMI= (DWORD) pBMI->bmiHeader.biSize +
                pBMI->bmiHeader.biClrUsed*sizeof(RGBQUAD);

   // Выделим память под заголовок растра
   m_pBMI=(LPBITMAPINFO)new BYTE[SizeOfBMI];
   if(!m_pBMI) return FALSE;

   // Копируем заголовок растра
   memcpy(m_pBMI, pBMI, SizeOfBMI);

   // Устанавливаем размер
   m_pBMI->bmiHeader.biWidth=width;
   m_pBMI->bmiHeader.biHeight=height;

   // Расчет размера памяти под данные
```

```
   m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage=BYTESPERLINE(m_pBMI->bmiHeader.biWidth,
              m_pBMI->bmiHeader.biBitCount)*m_pBMI->bmiHeader.biHeight;
   // Выделяем память под данные
   m_pData= new BYTE[m_pBMI->bmiHeader.biSizeImage];
   if(!m_pData) return FALSE;

   return TRUE;
};

BOOL CRaster::GetHistogham(DWORD *pHist, int Range)
{
   // Умеет работать только с данными RGB888
   if(m_pBMI->bmiHeader.biBitCount!=24) return FALSE;

   // Обнулим таблицу
   for(int i=0; i<Range; i++)
      pHist[i]=0;

   LONG DataStrLength=
   BYTESPERLINE(m_pBMI->bmiHeader.biWidth, m_pBMI->bmiHeader.biBitCount);
   BYTE *pCurPix=NULL;
   BYTE Brightness=0;
   for(int y=0, x=0; y<m_pBMI->bmiHeader.biHeight; y++)
      for(x=0; x<m_pBMI->bmiHeader.biWidth; x++)
      {
         // Адрес пиксела
         pCurPix=m_pData+y*DataStrLength+x*3;

         // Яркость рассчитывается как 0.3*Red+0.59*Green+0.11*Blue,
         // но пикселные данные хранятся в файле BMP, в порядке BGR
         Brightness=(BYTE)(( 0.11*(*pCurPix) +
                             0.59*(*(pCurPix+1))+
                             0.3*(*(pCurPix+2)))*Range/256);
         pHist[Brightness]+=1;
      }
   return TRUE;
};
```

Назначение большинства методов класса `CRaster`, я надеюсь, понятно из их названия и комментариев. В реализации также нет каких-то особенностей,

которые достойны были бы специального рассмотрения. Этот класс никак не связан со структурой приложения, и вы можете использовать его в любой программе "под Windows". Причем, если заменить использование классов `CFile` и `CString` в методах `LoadBMP()` и `SaveBMP()`, на реализацию операций с помощью API-функций, то можно обойтись и без MFC. Однако с MFC все же удобнее.

В методе `LoadBMP()` не реализована распаковка сжатых изображений, поэтому класс `CRaster` умеет работать только с данными, так сказать, в их натуральном виде.

Вывод изображения на контекст устройства выполняется с помощью мощной API-функции `StretchDIBits()`. По умолчанию изображение выводится полностью в масштабе 1:1, однако с помощью аргументов этой функции можно задать область выводимого изображения и изменить масштаб.

Режим масштабирования выбирается API-функцией `SetStretchBltMode()`:

```
int SetStretchBltMode (HDC hdc, int iStretchMode);
```

Первый аргумент функции — `hdc` — дескриптор контекста устройства вывода, второй аргумент — `iStretchMode` — режим масштабирования.

Поддерживаются следующие режимы масштабирования:

- `BLACKONWHITE` — выполняет булеву операцию `AND` между цветом существующих и удаленных пикселов (при уменьшении размера изображения). Этот режим используется, если масштабируется рисунок "черным по белому", т. е. алгоритм масштабирования будет стараться сохранить черные рикселы.
- `COLORONCOLOR` — этот режим удаляет строки (столбцы) пикселов без каких-либо попыток сохранить содержащуюся в них информацию. Наиболее быстрый режим. Используется, когда необходимо сохранить цвета изображения неизменными.
- `WHITEONBLACK` — выполняет булеву операцию `OR`. Этот режим используется, если масштабируется рисунок "белым по черному".
- `HALFTONE` — преобразует изображение к заданному размеру и при этом трансформирует цвета так, чтобы средний цвет полученной картинки приближался к исходному цвету. Наиболее медленный режим. Теоретически должен давать лучшее качество, однако реально иногда искажает цвета до неузнаваемости.

При масштабировании фотографий и цветных рисунков в большинстве случаев наиболее подходящим является режим `COLORONCOLOR`.

Метод `GetHistogham()` предназначен для получения гистограммы яркости изображения, что это такое и зачем "оно" нужно мы поговорим дальше.

В проект приложения добавим с помощью команды **Project | Add to project | Files** файлы Raster.h и Raster.cpp.

Поскольку данными (документом) в нашей программе будут изображения, на следующем шаге модифицируем класс документа так, чтобы он умел работать с изображениями.

11.3. Модификация класса документа для обеспечения работы с изображениями

Прежде всего, надо решить, что является данными, которыми будет управлять класс документа. В нашем случае это будет изображение, а для изображений мы завели класс `CRaster`, значит, в классе документа надо определить данные, как объекты класса `CRaster`. В принципе, для целей показа картинки на экране хватит и одного объекта `CRaster`. Однако мы собираемся в дальнейшем наделить программу некоторыми возможностями по редактированию изображений, поэтому нам потребуется не один, а, как минимум, два объекта: один — для хранения исходной картинки, второй — буфер для приема преобразованной картинки.

Порядок работы с двумя объектами `CRaster` в этом случае будет выглядеть следующим образом.

1. Загружаем изображение в первый объект `CRaster` и показываем его на экране до тех пор, пока пользователь не даст команду выполнить какие-нибудь изменения изображения.
2. Помещаем измененное изображение во второй объект `CRaster` и начинаем показывать второй объект-картинку.
3. Может случиться так, что пользователю не понравится то, как мы изменили его картинку, тогда он отдает команду "Отменить преобразования". Легко — просто меняем объекты местами. Конечно, если мы хотим побаловать пользователя и предоставить ему возможность долго "капризничать", тогда нам придется завести большее количество копий картинок, которые отражали бы последовательность произведенных преобразований. Организовать хранение копий можно в виде стека LIFO (last in — first out), где на самом верху будет храниться последняя из копий.

Полностью программный код классов приложения будет приведен в *разд. 11.8*, в тексте же рассмотрим ключевые моменты, необходимые для понимания основных идей.

Итак, заведем в классе нашего документа `CBMDoc` пару объектов `CRaster`, которые и будут хранить изображения:

```
CRaster m_BM[2];      // два буфера для изображений
CRaster *m_pCurBM;    // указатель на активный буфер
```

Указатель `m_pCurBM` будет хранить адрес текущего изображения, его-то мы и будем показывать.

Для загрузки изображения переопределим метод `OnOpenDocument()` класса `CBMDoc` (листинг 11.3). Сделать это можно с помощью ClassWizard. Я надеюсь, вы уже научились пользоваться генератором классов, поэтому не будем на этом останавливаться. Надо отметить, что каркас приложения при запуске программы автоматически создает пустой новый документ, чтобы этого не происходило, переопределим в классе `CBMApp` метод-обработчик сообщения команды `ID_FILE_NEW` и оставим тело этого метода пустым. Если же вы захотите наделить программу функцией создания нового документа, то придется как-то иначе обрабатывать эту команду.

Листинг 11.3. Метод `OnOpenDocument()` класса `CBMDoc`. Файл BMDoc.cpp

```
BOOL CBMDoc::OnOpenDocument(LPCTSTR lpszPathName)
{
   if (!CDocument::OnOpenDocument(lpszPathName))
      return FALSE;

   // Загружаем в первый буфер
   if(m_BM[0].LoadBMP(lpszPathName))
   {
      m_pCurBM=&m_BM[0];
      // Умеем редактировать только RGB888 данные
      if(m_pCurBM->GetBMInfoPtr()->bmiHeader.biBitCount!=24)
         m_bEditable=FALSE;
      else
         m_bEditable=TRUE;
      // Рисуем на виртуальном экране
      if(DrawOnVS())
         return TRUE;
   }

   return FALSE;
}
```

Как вы можете видеть из листинга 11.3, изображение загружается в первый из объектов `CRaster`. Этот объект становится текущим, его адрес запоминаем в переменной `m_pCurBM`. Далее проверяем формат цвета изображения. Если он не равен RGB888, то ставим флажок `m_bEditable` в значение `FALSE`. Это вовсе не означает, что картинки с отличающимся от RGB888 форматом цвета не будут показываться нашей программой, просто те функции по редактированию изображений, которые мы добавим далее, будут ориентированы

на работу с RGB888, а флаг `m_bEditable` будет предостерегать от их неправильного использования. Если у вас появится желание редактировать "не RGB888" картинки, то вам придется либо переделать функции преобразований, либо (что, кажется, проще) конвертировать картинки в RGB888 формат при загрузке из файла.

Затем картинка выводится на виртуальный экран. Что это такое мы рассмотрим в следующем разделе.

11.4. Использование виртуального экрана

Изображение может быть выведено на контекст устройства с помощью метода `CRaster::DrawBitmap()`, внутри же этого метода используется API-функция `StretchDIBits()`, которая всем хороша, однако работает сравнительно медленно. Поэтому сделаем в объекте-документе виртуальный экран, на который будем выводить изображение не очень часто, а только тогда, когда, например, изображение изменится. Более часто перерисовывать изображение придется объекту-облику, например, при обработке сообщений прокрутки или изменения размеров окна, в этом случае будем просто копировать изображение из виртуального экрана, на контекст устройства дисплея с помощью метода `CDC::BitBlt()`, который работает относительно быстро. Для реализации виртуального окна заведем в объекте-документе пару переменных:

```
CSize  m_virtScreenSize;
CDC    m_virtScreenDC.
```

В переменной `m_virtScreenSize` будем хранить размер экрана, а объект `m_virtScreenDC` и будет этим экраном.

Для работы с виртуальным экраном нам также потребуется два метода (странно, всего у нас по два):

- `DrawOnVS()` — рисовать на виртуальном экране;
- `DrawVS()` — рисовать виртуальный экран.

Первый метод без аргументов, будем вызывать его, когда надо нарисовать текущую картинку на виртуальном экране, а второй метод принимает указатель на контекст устройства, его будет вызывать облик. Текст этих методов приведен в листинге 11.4.

Листинг 11.4. Методы для работы с виртуальным экраном. Файл BMDoc.cpp

```
BOOL CBMDoc::DrawOnVS()
{
   if(m_pCurBM==NULL) return FALSE;
```

```
   // Получим указатель на контекст главного окна программы
   CDC *pDC=AfxGetMainWnd()->GetDC();
   // Если виртуальный экран не создан
   if(m_virtScreenDC.GetSafeHdc()==NULL)
   {
      // создадим совместимый с контекстом главного окна контекст памяти
      m_virtScreenDC.CreateCompatibleDC(pDC);
   }
   // Если размеры картинки, которую собираемся нарисовать
   // отличаются от размеров виртуального экрана
   if(m_pCurBM->GetBMWidth()!=m_virtScreenSize.cx ||
      m_pCurBM->GetBMHeight()!=m_virtScreenSize.cy)
   {
      m_virtScreenSize.cx=m_pCurBM->GetBMWidth();
      m_virtScreenSize.cy=m_pCurBM->GetBMHeight();
      // создадим  растр-заготовку, совместимый с контекстом
      CBitmap MemBM;
      MemBM.CreateCompatibleBitmap(pDC,   m_pCurBM->GetBMWidth(),
                                          m_pCurBM->GetBMHeight());
      // Поместим его в виртуальный экран
      m_virtScreenDC.SelectObject(&MemBM);
   }

   AfxGetMainWnd()->ReleaseDC(pDC);
   // Выведем на виртуальный экран картинку
   m_pCurBM->DrawBitmap(&m_virtScreenDC);
   // "Эй, облики мои, я уже изменился"
   UpdateAllViews(NULL);
   return TRUE;
};

BOOL CBMDoc::DrawVS(CDC *pDC)
{
   if(pDC==NULL) return FALSE;
   pDC->BitBlt(0, 0, m_virtScreenSize.cx, m_virtScreenSize.cy,
                                          &m_virtScreenDC, 0, 0, SRCCOPY);
   return TRUE;
};
```

11.5. Модификация класса облика

В классе облика нам потребуется сделать очень мало, а именно:

1. Добавить в метод `CBMView::OnDraw()` вызов метода `CBMDoc::DrawVS()`.
2. Добавить в метод `CBMView::OnInitialUpdate()` установку размеров области прокрутки, соответствующих размерам виртуального экрана.
3. Переопределить (с помощью ClassWizard) виртуальный метод `OnUpdate()` так, чтобы в нем также по размерам виртуального экрана устанавливались размеры области прокрутки. Это требуется лишь для того, чтобы в случае, если размеры виртуального экрана изменились, то это нашло отражение и в облике.

Текст этих методов приведен в листинге 11.5.

Листинг 11.5. Модифицированные методы облика. Файл BMview.cpp

```
void CBMView::OnDraw(CDC* pDC)
{
   CBMDoc* pDoc = GetDocument();
   ASSERT_VALID(pDoc);

   // Выводим содержимое виртуального экрана
   pDoc->DrawVS(pDC);
//   Можно и так вывести текущую картинку,
//   но бликовать при скроллинге будет сильнее
//   if(pDoc->GetCurrentBMPtr()!=NULL)
//      pDoc->GetCurrentBMPtr()->DrawBitmap(pDC);
}

void CBMView::OnInitialUpdate()
{
   CScrollView::OnInitialUpdate();
   CBMDoc* pDoc = GetDocument();
   CSize sizeTotal;
   // Область прокрутки — весь виртуальный экран
   sizeTotal=pDoc->GetVirtScreenSize();
   SetScrollSizes(MM_TEXT, sizeTotal);
}
void CBMView::OnUpdate(CView* pSender, LPARAM lHint, CObject* pHint)
{
```

```
    CBMDoc* pDoc = GetDocument();
    CSize sizeTotal;
    // Область прокрутки — весь виртуальный экран
    sizeTotal=pDoc->GetVirtScreenSize();
    SetScrollSizes(MM_TEXT, sizeTotal);
    // Вызываем метод базового класса
    CScrollView::OnUpdate(pSender, lHint, pHint);
}
```

Все. Уже, кажется, можно загрузить картинки. На рис. 11.1 показана программа с загруженными четырьмя рисунками (ведь это у нас многодокументное приложение).

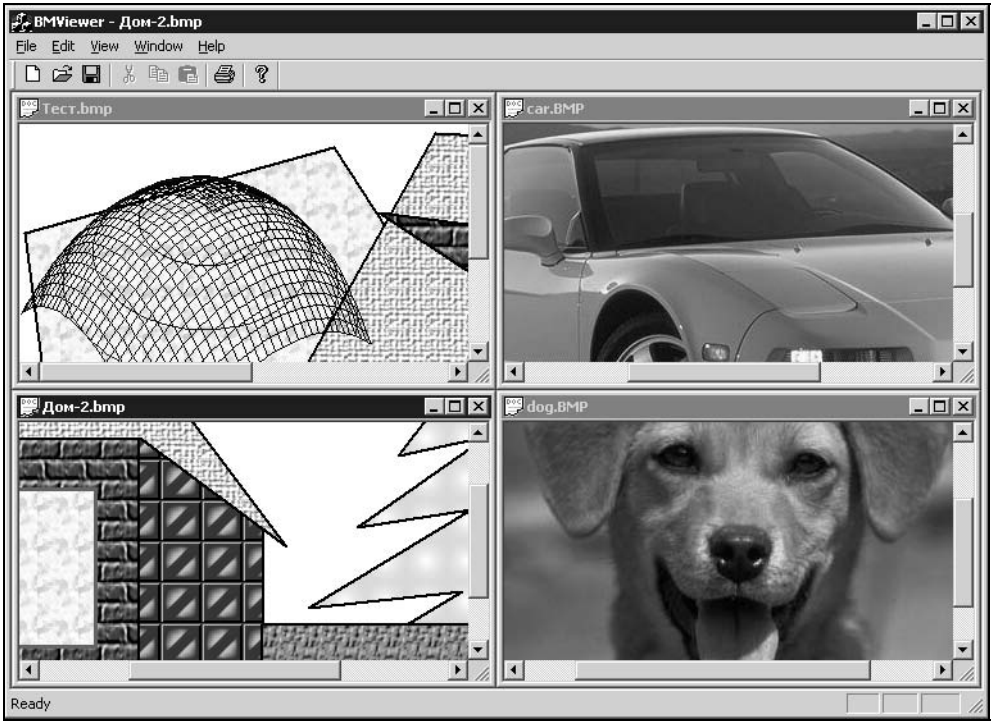


Рис. 11.1. Просмотр рисунков в программе BMViewer

Более того, в программах с MDI-интерфейсом у одного документа может быть несколько объектов-обликов, как на рис. 11.2. Создать еще один облик для документа можно командой **Window | New window**. Изменение данных объекта-документа будет отражаться во всех окнах (всеми объектами-обликами). Такую возможность можно использовать, например, для показа одного и того же изображения в разных окнах в разных масштабах.

Для подробного ознакомления с особенностями SDI- и MDI-приложений можно порекомендовать книгу [4].

Рис. 11.2. Четвертая картинка показана сразу в двух окнах

11.6. Редактирование изображений

Ну вот, наконец-то мы добрались до самого интересного. Магия преобразований — вот, на мой взгляд, основная радость, которую дает цифровая обработка изображений. Используя возможности редактирования в таких программах, как Adobe Photoshop или Ulead Photoimpact, человек, даже с заурядными художественными способностями, может превратить самую скучную фотографию в нечто более привлекательное. Конечно, за всем этим стоит прочная математическая база и кропотливый труд программистов. Далее мы рассмотрим два вида преобразований:

- *точечные* — новое значение элемента изображения (пиксела) рассчитывается только на основе его старого значения;
- *пространственные* (матричные) — при расчете нового значения пиксела учитывается не только его старое значение, но также значения некоторой области пикселов вокруг него.

Точечные преобразования удобно выполнять с помощью таблиц преобразования, которые рассмотрены в *разд. 11.6.3*.

Обычно пространственное преобразование заключается в нахождении свертки значений группы пикселов. Свертка вычисляется как сумма пиксельных значений, попавших в зону преобразования, помноженных на весовые коэффициенты. В качестве весовых коэффициентов выступают элементы матрицы преобразования. Значения элементов матрицы преобразования и определяют тип преобразования. Размер матрицы преобразования соответствует области пикселов, которые будут участвовать в преобразовании. Центральный элемент матрицы — весовой коэффициент преобразуемого пиксела (x, y). Поэтому матрицы преобразования обычно имеют нечетный размер (например, 3×3 или 5×5 элементов). Часто свертки заключают в себе сложный и глубокий математический смысл, который, к счастью, имеет простую и понятную практическую интерпретацию. Рассмотрим, например, свертку с помощью следующей матрицы $\boldsymbol{M}$:

$$\boldsymbol{M} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}.$$

Новое значение пиксела $P(x, y)$ может быть рассчитано с использованием следующего псевдокода:

```
MX=3; // размер матрицы преобразования по x
MY=3; // размер матрицы преобразования по y
CountCoeffSumm=0; // счетчик суммы коэффициентов матрицы преобразования
NewP=0; // новое значение пиксела
for(j=-MY/2; j<= MY/2; j++)
   for(i=-MX/2; i<=MX/2; i++)
      {
         NewP = NewP + P(x+i, y+j)*M(i, j);
         CountCoeffSumm = CountCoeffSumm + M(i, j);
      }
P(x, y)=NewP/CountCoeffSumm;
```

Здесь предполагается целочисленное деление, т. е. результат `MX/2` — значение, равное 1.

В процессе преобразования выполняется подсчет коэффициентов матрицы преобразования, а после расчета нового значения оно делится на сумму коэффициентов. Это необходимо для того, чтобы привести результат к стандартному диапазону значений.

Описанная выше свертка с помощью единичной матрицы соответствует преобразованию "размытие" (понижение четкости) изображения. Достигается такой эффект за счет усреднения значений группы пикселов, охваченной

матрицей преобразования. Если значение пиксела (*x*, *y*) было выше среднего, оно уменьшится, если было выше среднего, то увеличится. Однако это не значит, что все изображение станет монотонным, так как матрица преобразования движется по изображению вместе с координатами (*x*, *y*), средний уровень тоже меняется. Далее будет рассмотрено применение различных матриц преобразования.

В отдельные категории преобразований выделяют *покадровые* и *геометрические* процессы. Покадровые преобразования выполняются над парой или большим количеством изображений. Примером покадрового преобразования является вычитание, когда находится разница между двумя картинками. Вычитание может использоваться для определения сходства (нахождения отличий) изображений. Покадровые преобразования широко применяются при обработке и сжатии потоков видеоданных.

Само название процесса "геометрический" говорит о том, что суть преобразования заключается в изменении положения или других геометрических характеристик изображения. Примерами геометрических преобразований являются поворот, сдвиг, интерполяция (масштабирование) изображения.

Все типы преобразований рассмотрены в книге [5]. Достоинством книги является подробное рассмотрение "классических" преобразований растровых изображений, включая рассмотрение теоретических основ и программной реализации. Недостатком, на мой взгляд, — не очень удачный перевод и использование устаревших средств и стиля программирования. Однако последнее — это не упрек автору, а лишь свидетельство того, что книга была написана на заре "революции" в области компьютерной графики.

О "внутреннем устройстве" и практическом применении цифровых фильтров можно прочитать в [15].

Теоретическим основам обработки изображений посвящена книга [1].

Далее мы рассмотрим суть некоторых, ставших классическими, процедур преобразования растровых изображений — наделим программу BMViewer возможностями редактирования картинок. В программе будет реализовано несколько преобразований, но что не менее важно, мы постараемся организовать в программе такую структуру, которая позволила бы легко включать в нее реализацию любых новых преобразований.

11.6.1. Гистограмма яркости изображения

Что такое гистограмма — это такой график из столбиков, а что такое "гистограмма яркости изображения"? *Гистограммой яркости изображения* принято называть график, который показывает относительную частоту появления точек (пикселов) различных степеней яркости в изображении. Например, есть у нас изображение из 16 пикселов. Пусть 8 пикселов имеют яркость 1, 2 пиксела — яркость 4, оставшиеся 6 пикселов — яркость 7.

На десятибалльной шкале яркости график такого изображения может выглядеть так, как показано на рис. 11.3.

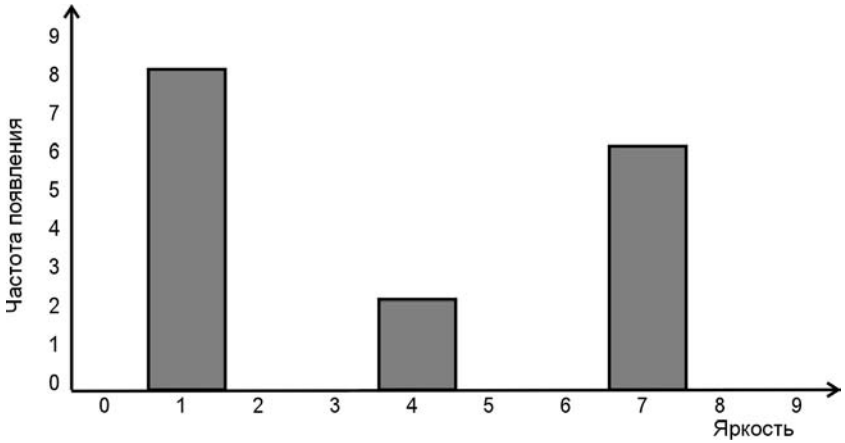


Рис. 11.3. Гистограмма яркости мнимого изображения из десяти пикселов

В реальных изображениях пикселов, обычно, гораздо больше, а шкала яркости включает значения от 0 до 255.

Яркость RGB-пиксела рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Brightness} = 0{,}3 \times \text{Red} + 0{,}59 \times \text{Green} + 0{,}11 \times \text{Blue}.$$

Как видно из формулы разные цвета имеют разные весовые коэффициенты. Это связано с различной восприимчивостью человеческого глаза к разным составляющим цвета.

Гистограмма яркости широко используется для анализа и редактирования изображений. Наш класс `CRaster` уже умеет рассчитывать гистограмму изображения. Эта функция реализована в методе `CRaster::GetHistogham()`. Метод `GetHistogham()` получает два параметра (см. листинг 11.2):

- `DWORD *pHist` — указатель на массив, в который будут помещены значения гистограммы;
- `int Range` — размер массива, он же диапазон яркостей.

Порядковый номер значения в массиве `pHist` соответствует яркости, а значение элемента — частоте появления этой яркости в картинке. Рассчитывается гистограмма довольно просто: в цикле для всех пикселов изображения сначала рассчитывается яркость пиксела, а затем увеличивается на единицу значение соответствующего элемента в массиве `pHist`.

Поскольку расчет гистограммы уже реализован, нам остается только нарисовать ее на экране. Для показа гистограммы на экране добавим в программу специальное диалоговое окно (рис. 11.4). Напомню, что новый шаблон

диалогового окна вставляется командой **Insert | Resource | Dialog | New**. Присвоим шаблону идентификатор `IDD_HIST` и добавим в него рамочку (элемент *picture* тип *frame*) и запомним ее координаты и размер (показываются в строке состояния). В шаблон также добавлено два ползунка (элементы *slider*) и два элемента *static*, в которых будут показываться значения.

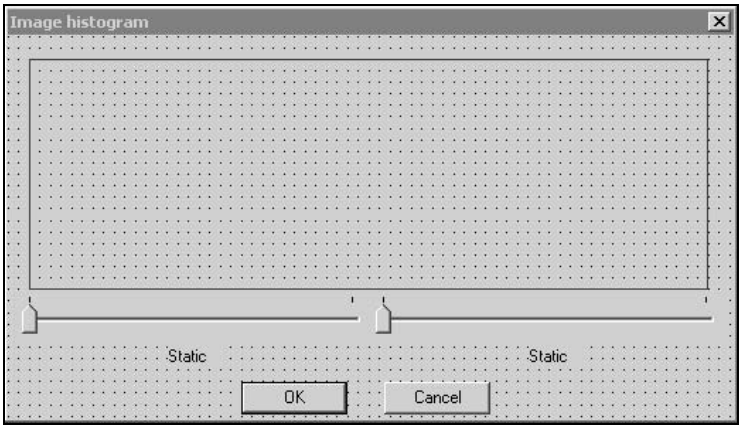


Рис. 11.4. Шаблон окна диалога "Гистограмма"

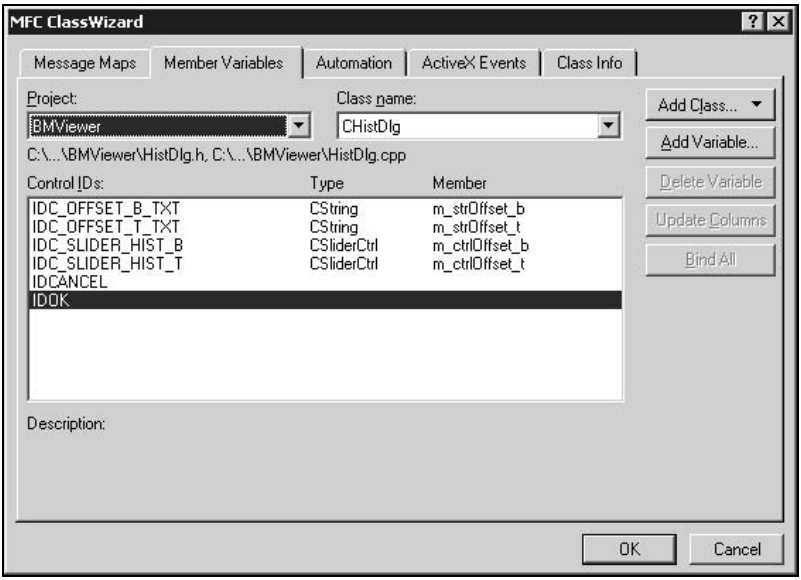


Рис. 11.5. Переменные класса `CHistDlg`

В общем-то, все эти элементы нам потребуются в дальнейшем, и к самому показу изображения гистограммы они не относятся. Можно даже было

обойтись и без рамки, просто запомнить координаты. Об этих элементах сказано здесь, чтобы дважды не описывать этот диалог. С помощью ClassWizard добавим класс `CHistDlg` этому диалогу (просто нажмите комбинацию клавиш <Ctrl>+<W>, находясь в редакторе шаблона диалогового окна). Свяжем элементы управления с объектами в классе диалога (рис. 11.5).

Для рисования гистограммы "вручную" добавим в класс `CHistDlg` метод `DrawHist` (листинг 11.6).

Листинг 11.6. Метод `CHistDlg::DrawHist()`. Файл HistDlg.cpp

```
BOOL CHistDlg::DrawHist(CDC *pDC)
{
   if(m_pHist==NULL || m_iRange==0 || pDC==NULL) return FALSE;
   CRect FrameRect;

   // Найдем среднее значение
   DWORD MaxBright=0, SumBright=0;
   for(int i=0; i<m_iRange; i++)
      SumBright+=m_pHist[i];

   // Пусть максимальное (показываемое на рисунке) значение
   // будет в три раза больше среднего
   MaxBright=3*SumBright/m_iRange;
   if(MaxBright==0) return TRUE;

   // Перо для рисования гистограммы
   CPen HistPen(PS_SOLID, 2, RGB(0, 50, 50));
   CPen *pOldPen=pDC->SelectObject(&HistPen);
   // Координаты рамки рисунка (запомнили, когда рисовали рамку)
   FrameRect.left=10; FrameRect.top=10;
   FrameRect.right=330;  FrameRect.bottom=110;
   MapDialogRect(&FrameRect);

   FrameRect.bottom-=1;
   double kx=((double)FrameRect.Width())/m_iRange;
   double ky=((double)FrameRect.Height())/MaxBright;

   // Рисуем
   int x=0, y=0;
   for(i=0; i<m_iRange; i++)
```

```
    {
        x=FrameRect.left+(int)(kx*i+0.5);
        y=FrameRect.bottom;
        pDC->MoveTo(x, y);
        y=FrameRect.bottom -(int)(ky*m_pHist[i]+0.5);
        if(y<FrameRect.top) y=FrameRect.top;
        pDC->LineTo(x, y);
    }
    if(pOldPen)
        pDC->SelectObject(pOldPen);
    return TRUE;
};
```

Метод `CHistDlg::DrawHist()` принимает в качестве параметра указатель на контекст устройства.

Каждый раз, когда диалог (или любое другое окно) должен быть показан на экране, Windows посылает ему сообщение `WM_PAINT`. Добавим с помощью ClassWizard в класс `CHistDlg` метод-обработчик этого сообщения, и будем вызывать из него метод `DrawHist()` (листинг 11.7).

Листинг 11.7. Метод `CHistDlg::OnPaint()`. Файл HistDlg.cpp

```
void CHistDlg::OnPaint()
{
    // Контекст для рисования
    CPaintDC dc(this);
    // Рисуем
    DrawHist(&dc);
}
```

В методе `CHistDlg::DrawHist()` изображаются данные, на которые указывает переменная `m_pHist`, переменная `m_iRange` сообщает размер массива `m_pHist`. Значения этих переменных устанавливаются с помощью специальной функции `CHistDlg::SetData()`. Объявление этих переменных мы добавили в интерфейс класса `CHistDlg` (листинг 11.8).

Листинг 11.8. Фрагмент интерфейса класса `CHistDlg` с объявлением переменных и функций для работы с данными. Файл HistDlg.h

```
// Data
    int      m_iRange;      // диапазон значений яркости
```

```
   int      m_iOffset_b;  // коррекция яркости снизу
   int      m_iOffset_t;  // коррекция яркости сверху
   DWORD   *m_pHist;      // указатель на значения гистограммы
// Operations
   void SetData(DWORD *pHist, int Range)
      {m_pHist=pHist; m_iRange=Range;};
   BOOL DrawHist(CDC *pDC);
```

Для того чтобы диалог заработал, надо где-то его вызвать. Поэтому добавим в меню программы **Edit** команду **Histogram**, а в класс документа — метод-обработчик этой команды (листинг 11.9).

Листинг 11.9. Метод-обработчик команды вызова диалога с гистограммой. Файл BMDoc.cpp

```
void CBMDoc::OnViewHistogram()
{
   const int Range=256;
   DWORD Hist[Range]; // Гистограмма из Range градаций яркости

   // Запросим гистограмму у текущего изображения
   if(m_pCurBM==NULL || !m_pCurBM->GetHistogham(Hist, Range))
      return;
   // Создаем объект-диалог
   CHistDlg HDlg;
   // Передадим гистограмму в диалог
   HDlg.SetData(Hist, Range);
   // Покажем гистограмму
   if(HDlg.DoModal()==IDCANCEL) return;
   // Требуется выполнить коррекцию контрастности
   if(HDlg.m_iOffset_b !=0 || HDlg.m_iOffset_t!=NULL)
   {
      // Настраиваем фильтр гистограммы
      m_HistogramFilter.Init(HDlg.m_iOffset_b, HDlg.m_iOffset_t);
      // Делаем фильтр активным
      m_pCurFilter=&m_HistogramFilter;
      // Выполняем преобразование
      Transform();
   }
}
```

В листинге 11.9 все до строчки

```
// Требуется выполнить коррекцию контрастности
```

должно быть вам понятно, что же это за "коррекция яркости" поговорим дальше.

Теперь можно посмотреть, какие же гистограммы яркости у наших изображений. Например, на рис. 11.6 показана гистограмма тестового рисунка, который мы экспортировали в формат BMP из программы Painter 4.2 в *главе 10*.

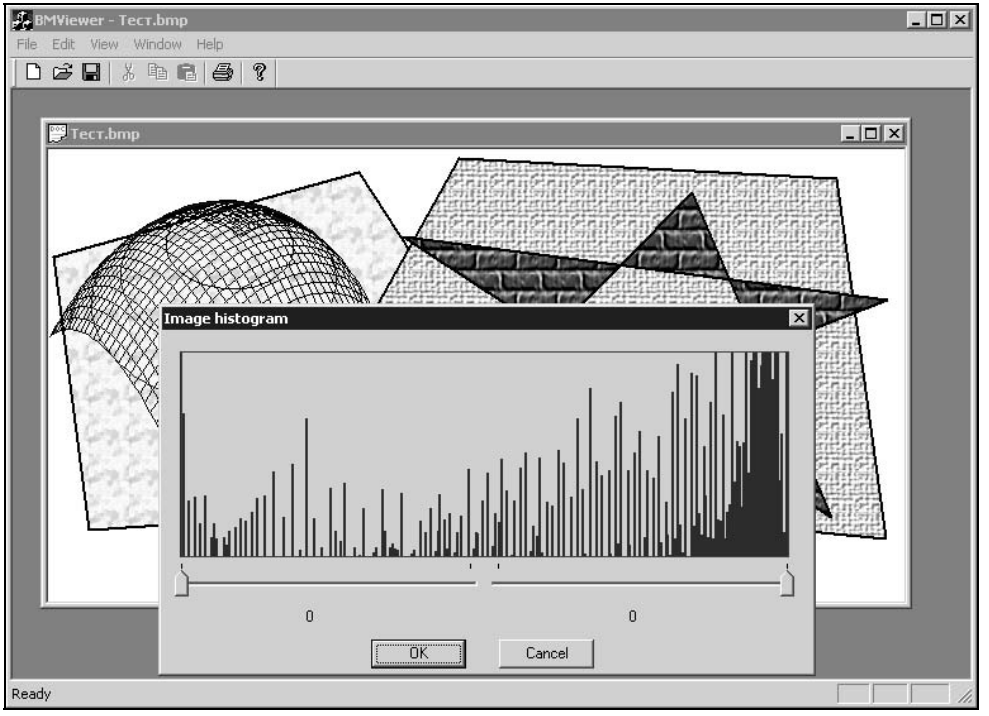


Рис. 11.6. Гистограмма яркости тестового рисунка, экспортированного из программы Painter 4.2

Гистограмма (см. рис. 11.6) показывает, что яркость в этом рисунке распределена неравномерно (смещена в область светлых тонов), а многие значения яркости и вовсе отсутствуют. Оно и понятно, ведь это искусственный рисунок и мы использовали при его создании далеко не все цвета и оттенки. Фотографические изображения обычно имеют более плавные гистограммы с широким спектром яркости, как, например, на рис. 11.7.

Какие же выводы мы можем сделать, взглянув на рис. 11.7, несмотря на то, что диапазон яркости довольно широкий, все же он занимает не всю шкалу. Следовательно, мы можем попытаться улучшить внешний вид этой фото-

графии. Далее мы рассмотрим, как гистограмма может быть использована для повышения контрастности изображения, но сначала придется обсудить внутреннее устройство программной реализации.

Рис. 11.7. Гистограмма яркости фотографии

11.6.2. Программная схема выполнения преобразований. Графические фильтры

Поскольку мы собираемся реализовать целый ряд процедур преобразования изображений, следует хорошо обдумать, как они будут уживаться между собой и взаимодействовать с остальными модулями программы. Судя по интерфейсу многих графических редакторов и организации программ обработки видеоданных, в мультимедийном программировании широко распространена концепция фильтров. Что такое фильтр? Это некоторая программка, которая, пропуская через себя данные, преобразует их некоторым образом. В нашем случае данными являются значения цветов пикселов изображения. Такой подход выглядит очень удачным, так как он позволяет создавать четко структурированные модульные программы. Используем и мы эту идею.

Представим, что у нас имеется набор фильтров, пропуская через которые данные изображения, мы можем добиваться различных эффектов (рис. 11.8).

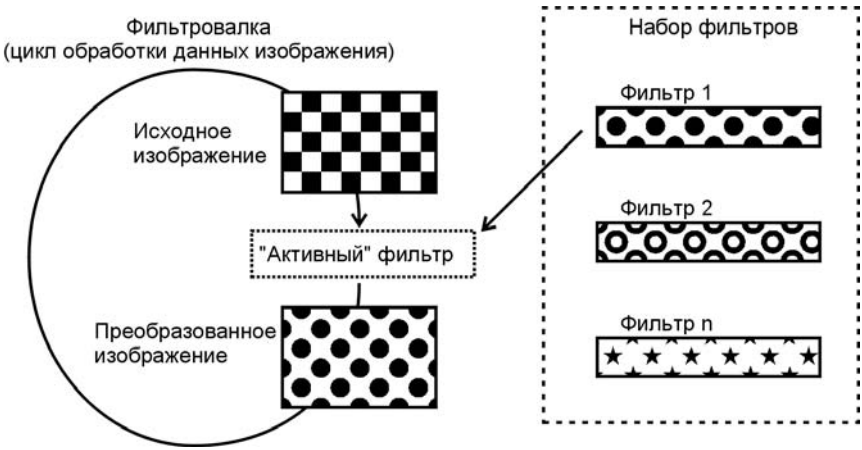


Рис. 11.8. Фильтрация изображений

Для того чтобы получить нужный эффект, достаточно просто указать программе, какой фильтр считать активным. В программе же где-то должна существовать "фильтровалка" — процедура, в которой будет выполняться само пропускание данных через фильтр.

Фильтры можно реализовать в виде классов, производных от какого-то одного базового класса. В базовом классе определить набор методов, общих для всех фильтров. В программе заведем переменную — указатель на активный фильтр. Используя этот указатель, "фильтровалка" будет обращаться к нужному фильтру.

Саму фильтрацию изображения можно выполнять по-разному. Например, можно было бы передать фильтру всю исходную картинку, и ожидать от него уже полностью преобразованного изображения. А можно пропускать через фильтр исходное изображение по одному пикселу. В последнем случае не придется дублировать цикл обработки всего изображения в каждом фильтре, и вызывающая фильтр процедура получит полный контроль над областью изображения, к которой будет применено преобразование.

Поскольку данными в программе BMViewer заведует класс `CBMDoc`, именно в него и поместим "фильтровалку". Реализована она в методе `CBMDoc::Transform()` (листинг 11.10).

Листинг 11.10. Метод `CBMDoc::Transform()`. Файл BMDoc.cpp

```
void CBMDoc::Transform()
{
```

```
   if(m_pCurFilter==NULL) return;
   if(!CreateCompatibleBuffer()) return;

   CRaster *pSBM=GetCurrentBMPtr(),   // источник
         *pDBM=GetBufferBMPtr();      // приемник
   // Установили в фильтр источник и приемник преобразований
   m_pCurFilter->SetBuffers(pSBM, pDBM);

   LONG start_x=0;
   ////////////////////////////////////////////////////////
   // В случае если пользователь желает
   // посмотреть эффект на половине изображения
   // в этом месте происходит копирование
   // первой половины изображения без преобразования
   if(m_bEditHalf)
   {
      start_x=pSBM->GetBMWidth()/2;
      // Первую половину картинки просто копируем в буфер
      BYTE *pSPix=NULL,  *pDPix=NULL;
      for(LONG x=0, y=0; y<pSBM->GetBMHeight(); y++)
         for(x=0; x<start_x; x++)
            if((pSPix=pSBM->GetPixPtr(x, y))!=NULL &&
               (pDPix=pDBM->GetPixPtr(x, y))!=NULL)
               // ВНИМАНИЕ! Предполагается, что 1 пиксел = 24 бита
               memcpy(pDPix, pSPix, 3);
   }
   ////////////////////////////////////////////////////////

   // Преобразование с использованием текущего фильтра
   for(LONG x=0, y=0; y<pSBM->GetBMHeight(); y++)
      for(x=start_x; x<pSBM->GetBMWidth(); x++)
         m_pCurFilter->TransformPix(x, y);

   SwapBM();   // Сделать буфер текущим изображением
   DrawOnVS(); // Вывести изображение на виртуальный экран
   SetModifiedFlag(); // Сообщить документу, что данные изменились
};
```

В методе `CBMDoc::Transform()` мы сначала сообщаем текущему фильтру, какое изображение будет исходным и какое приемным (адреса объектов `CRaster`). Затем в цикле прогоняем через фильтр пикселы изображения. На текущий фильтр указывает переменная `m_pCurFilter`, которую мы завели в классе `CBMDoc` специально для этих целей. Тип этой переменной — "указатель на объект класса `CFilter`". Преобразование же данных выполняется с помощью метода `CFilter::TransformPix()`. Класс `CFilter` как раз и является базовым для всех фильтров. О нем будет рассказано в *разд. 11.6.4*.

11.6.3. Таблица преобразования

Таблица преобразования — это просто массив, заполненный какими-то значениями. Размер массива равен максимальному значению, которое может принимать преобразуемая величина. С помощью такой таблицы удобно и быстро можно заменять одно значение другим. Таблицы преобразований применимы, когда новое значение формируется из единственного старого значения, т. е. при *точечном* преобразовании.

Например, нам надо преобразовать яркость пиксела. В этом случае старое значение яркости играет роль индекса элемента в таблице, а значение этого элемента является новым значением. Формула преобразования может выглядеть так:

```
V=TransformTable[V],
```

где `V` — значение яркости, а `TransformTable` — таблица преобразования. Конечно, таблица преобразования должна быть предварительно заполнена какими-то значениями.

Рассмотрим, например, как можно инвертировать цвет картинки.

Диапазон значений каждой 8-битной компоненты цвета находится в пределах от 0 до 255.

Создадим таблицу преобразования из 256 элементов и заполним ее значениями от 255 до 0 (рис. 11.9).

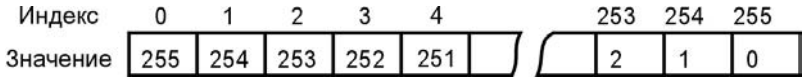


Рис. 11.9. Таблица преобразования "инверсия"

После преобразования по вышеприведенной формуле с использованием таблицы (см. рис. 11.9) интенсивность 255 будет заменена на 0, 254 — на 1, и так далее. В случае такого простого преобразования, как инверсия цвета, использование таблицы может и не дать особого выигрыша по скорости, но если новое значение пиксела должно рассчитываться по более сложной формуле (чем V=255-V), то выигрыш будет весьма заметен. Кроме того,

с помощью таблиц можно реализовать единообразный подход к осуществлению различных преобразований.

11.6.4. Класс "Фильтр"

Структура (см. рис. 11.8) подразумевает существование в программе некоторого объекта-фильтра. Фильтры выполняют разные преобразования, но с точки зрения "фильтровалки" они все одинаковы, и обращаться с ними она будет однообразно. Поэтому нам надо определить базовый класс `CFilter` для фильтра с минимальным, но основным набором методов, с помощью которых будет происходить общение. Интерфейс такого класса приведен в листинге 11.11.

Листинг 11.11. Базовый класс фильтров `CFilter`. Файл Filter.h

```
class CRaster;
// Базовый виртуальный класс
class CFilter
{
protected:
   CRaster *m_pSourceBM;
   CRaster *m_pDestBM;
public:
   // Устанавливает исходное и приемное изображения
   void SetBuffers( CRaster *pSource, CRaster *pDest=NULL)
      {   m_pSourceBM=pSource;   m_pDestBM=pDest;};
   // Виртуальный метод преобразования пиксела
   // будет переопределен в производных классах
   virtual BOOL TransformPix(LONG x, LONG y){ return FALSE;};
};
```

Данные класса — два указателя на объекты-картинки класса `CRaster`:

- `m_pSourceBM` — адрес объекта "исходная картинка", откуда берутся данные для преобразования;
- `m_pDestBM` — адрес объекта "приемная картинка", куда помещаются преобразованные данные.

Методы класса:

- `SetBuffers()` — сообщает фильтру адреса исходного и приемного изображения;
- `TransformPix()` — преобразует данные одного пиксела с координатами (x, y). Должен быть переопределен в производных классах.

Переменная-указатель на этот класс `m_pCurFilter` заведена в классе `CBMDoc`. Этой переменной присваивается адрес текущего фильтра. В классе `CFilter` уже объявлены необходимые для фильтрования методы, они и используются в методе `CBMDoc::Transform()` (см. листинг 11.10). Так как метод `CFilter::TransformPix()` объявлен виртуальным, в методе `CBMDoc::Transform()` будет происходить вызов настоящего метода преобразования активного фильтра.

Для реализации точечных методов преобразования создадим класс `CDotFilter` (листинг 11.12).

Листинг 11.12. Базовый класс для точечных фильтров `CDotFilter`. Файл Filter.h

```
// Базовый класс для точечных фильтров
class CDotFilter: public CFilter
{
protected:
   // Таблицы преобразования для компонент цвета
   BYTE BGRTransTable[3][256];
public:
   // Метод преобразования пиксела
   BOOL TransformPix(LONG x, LONG y);
};
```

Данными этого класса являются три таблицы преобразования RGB-компонентов цвета. В принципе, для методов преобразования, рассмотренных далее, достаточно было бы определить одну таблицу, но более общим подходом будет все-таки формирование трех таблиц. Потому что возможны преобразования, изменяющие цветовую гамму (оттенок) изображения. Тут-то три таблицы и пригодятся.

Для точечного фильтра переопределен метод `TransformPix()`. Он будет общим для большинства рассмотренных далее точечных фильтров. Реализация метода приведена в листинге 11.13.

Листинг 11.13. Метод `CDotFilter::TransformPix()`. Файл Filter.cpp

```
BOOL CDotFilter::TransformPix(LONG x, LONG y)
{
   BYTE *pDPix=NULL, *pSPix=NULL;
   // Источник необходим
   if(m_pSourceBM==NULL )
```

```
      return FALSE;
   // Если приемник не задан, то преобразование помещаем в источник
   if(m_pDestBM==NULL)
      m_pDestBM=m_pSourceBM;
   // Получаем указатели на пикселы в источнике и приемнике
   if((pDPix=m_pDestBM->GetPixPtr(x, y))==NULL ||
      (pSPix=m_pSourceBM->GetPixPtr(x, y))==NULL)
      return FALSE;
   // Преобразование. Порядок BGR
   *pDPix=BGRTransTable[0][*pSPix];
   *(pDPix+1)=BGRTransTable[1][*(pSPix+1)];
   *(pDPix+2)=BGRTransTable[2][*(pSPix+2)];
   return TRUE;
};
```

В принципе, в случае точечных преобразований, возможна такая реализация "фильтровалки", когда исходное изображение одновременно является и приемником преобразования (конечно, в этом случае сложнее сделать отмену преобразования). Эта ситуация отрабатывается внутри метода.

Хотя формат 24-битового цвета называют RGB, в файле формата BMP компоненты цвета хранятся в обратном порядке. Это не особо важно, но это надо знать и учитывать, что и делается при формировании нового значения цвета пиксела.

Все, что останется сделать в производных от `CDotFilter` классах, описывающих разные эффекты, — это реализовать инициализацию таблиц преобразования.

Для реализации пространственных (матричных) методов преобразования создадим класс `CMatrixFilter`. Интерфейс класса приведен в листинге 11.14.

Листинг 11.14. Интерфейс базового класса для матричных фильтров класса `CMatrixFilter`. Файл Filter.h

```
// Пространственные (матричные) фильтры
// Базовый класс
class CMatrixFilter: public CFilter
{
protected:
   int m_rangX; // размер матрицы по X и Y
   int m_rangY;
```

```
   const int *m_pMatrix; // указатель на матрицу
public:
   // Метод преобразования пиксела
   BOOL TransformPix(LONG x, LONG y);
};
```

Данные класса: размер матрицы преобразования и указатель на матрицу. Как правило, используются квадратные матрицы преобразования, но кто знает, может для чего-то будет полезна и не квадратная матрица. Поэтому указывается размер матрицы по горизонтали и вертикали. Размер матрицы определяет зону пикселов, окружающую пиксел (*x*, *y*), которая будет вовлечена в расчет нового значения пиксела (*x*, *y*). Указателю на матрицу преобразования `m_pMatrix` будет присваиваться адрес матрицы, которая будет использована в преобразовании.

Реализация метода `CMatrixFilter::TransformPix()` приведена в листинге 11.15.

Листинг 11.15. Метод `CMatrixFilter::TransformPix()`. Файл Filter.cpp

```
BOOL CMatrixFilter::TransformPix(LONG x, LONG y)
{
   BYTE *pDPix=NULL, *pSPix=NULL;
   // Источник и приемник необходимы
   if(m_pSourceBM==NULL || m_pDestBM==NULL)
      return FALSE;

   // Определяем зону перекрытия изображения
   // и матрицы преобразования.
   // Это требуется для обработки пикселов,
   // находящихся на границах изображения
   int m_x_start=0;
   if(x-m_rangX/2<0) m_x_start=m_rangX/2-x;

   int m_y_start=0;
   if(y-m_rangY/2<0) m_y_start=m_rangY/2-y;

   int m_x_finish=m_rangX;
   if(x+m_rangX/2>m_pSourceBM->GetBMWidth())
      m_x_finish-=(x+m_rangX/2-m_pSourceBM->GetBMWidth());

   int m_y_finish=m_rangY;
```

```
   if(y+m_rangY/2>m_pSourceBM->GetBMHeight() )
      m_y_finish-=(y+m_rangY/2-m_pSourceBM->GetBMHeight());

   // Расчет новых значений цвета пиксела
   // с учетом соседей, попавших в зону действия
   // матрицы преобразования
   int NewBGR[3];
   int count=0;
   for(int c=0, m_x=0, m_y=0; c<3; c++)
   {
      NewBGR[c]=0; count=0;
      for(m_y=m_y_start; m_y<m_y_finish; m_y++)
      for(m_x=m_x_start; m_x<m_x_finish; m_x++)
      {
         if((pSPix=m_pSourceBM->GetPixPtr(x+(m_x-m_rangX/2),
                                          y+(m_y-m_rangY/2)))!=NULL)
            {
                NewBGR[c]+=(m_pMatrix[m_y*m_rangX+m_x]*(*(pSPix+c)));
                count+=m_pMatrix[m_y*m_rangX+m_x];
            }
      }
   }

   // Адрес пиксела в изображении-приемнике
   pDPix=m_pDestBM->GetPixPtr(x, y);

   // Установка нового значения в приемное изображение
   for(c=0; c<3; c++)
   {
      // Приведение значения к допустимому диапазону
      if(count!=0)
         NewBGR[c]=NewBGR[c]/count;
      if(NewBGR[c]<0)
         NewBGR[c]=0;
      else if(NewBGR[c]>255)
         NewBGR[c]=255;
      *(pDPix+c)=NewBGR[c];
   }

   return TRUE;
};
```

В методе `CMatrixFilter::TransformPix()` сначала определяется область перекрытия изображения и матрицы преобразования. Этот шаг необходим в связи с тем, что на границах изображения пиксел может не иметь соседей с одной или двух сторон. На рис. 11.10 показаны некоторые ситуации, когда в преобразовании задействованы не все коэффициенты матрицы. Пикселу, над которым выполняется преобразование, соответствует индекс матрицы с номером 5.

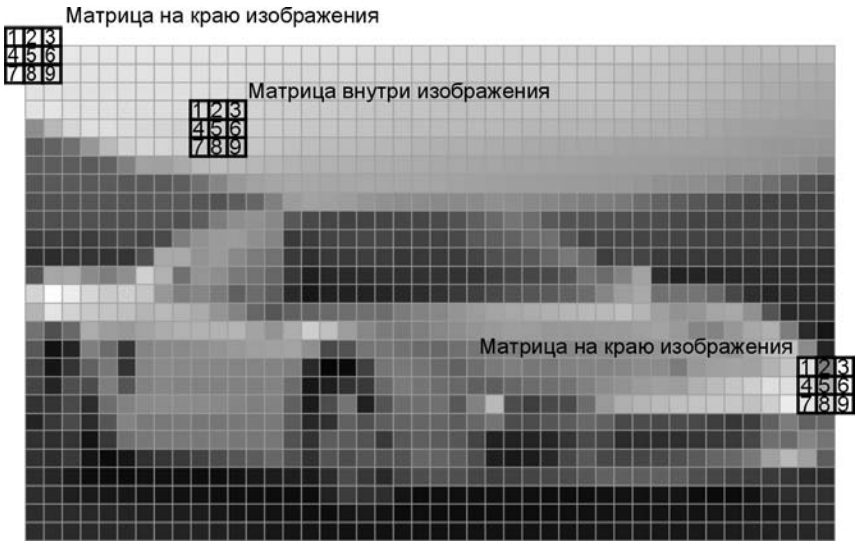


Рис. 11.10. Пересечение матрицы и изображения

Новое значение пиксела формируется с учетом значений всех пикселов и коэффициентов матрицы преобразования, попавших в область перекрытия изображения и матрицы преобразования.

11.6.5. Использование гистограммы яркости для повышения контрастности изображения. Фильтр "Гистограмма"

Гистограмма показывает, насколько полно используется в изображении диапазон яркостей. Изображения со слабым контрастом имеют гистограмму яркости, сгруппированную в небольшом диапазоне значений. Гистограмма таких изображений может быть смещена в область темных или светлых тонов, но может располагаться и в центре диапазона яркостей (рис. 11.11).

Гистограмма изображения с хорошим контрастом, как правило, равномерно занимает весь диапазон яркостей (рис. 11.12). Такие изображения, обычно, воспринимаются как более качественные.

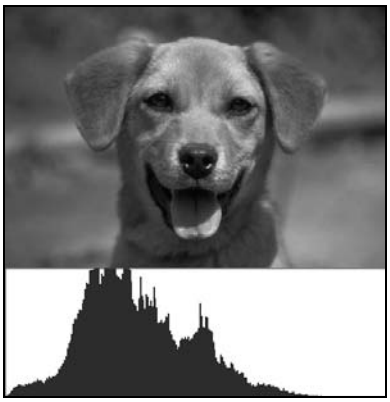


Рис. 11.11. Изображение со слабой контрастностью

Рис. 11.12. Изображение с хорошей контрастностью

В высококонтрастных изображениях также задействован весь диапазон яркостей, но гистограмма такого изображения может иметь пики, что связано с наличием больших зон темных и светлых пикселов (рис. 11.13).

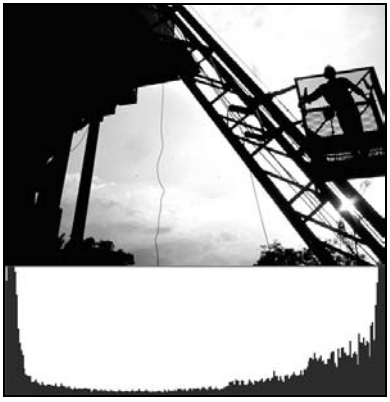


Рис. 11.13. Изображение с высокой контрастностью

Рассмотрим, как можно использовать информацию о распределении яркости для коррекции контрастности. Например, на рис. 11.7 видно, что в фотографии практически совсем нет черных пикселов и пикселов, цвет которых близок к белому.

Мы можем попытаться исправить ситуацию, "растянув" яркость пикселов картинки на весь диапазон от 0 до 255. При этом пикселы, которые были темными, станут еще темнее (вплоть до черного), а светлые пикселы станут еще светлее (вплоть до белого).

Шаблон окна диалога "Гистограмма" (`IDD_HIST`) имеет два ползунка (элементы *slider*). Используем их для того, чтобы определить нижнюю и верхнюю границы диапазона значений яркости.

Прежде всего, добавим в класс `CHistDlg` (с помощью ClassWizard) обработку сообщения `WM_INITDIALOG`. Сообщение `WM_INITDIALOG` посылается окну диалога перед тем, как оно будет показано на экране. В методе-обработчике этого сообщения установим начальные параметры ползунков и позиции "бегунков" (листинг 11.16).

Листинг 11.16. Обработка сообщения `WM_INITDIALOG` в классе `CHistDlg`. Файл HistDlg.cpp

```
BOOL CHistDlg::OnInitDialog()
{
   CDialog::OnInitDialog();
   // Ползунок нижней границы
   m_ctrlOffset_b.SetRange(0, 127);
   // Бегунок в крайнем левом положении
   m_ctrlOffset_b.SetPos(0);
   // Ползунок верхней границы
   m_ctrlOffset_t.SetRange(128, 255);
   // Бегунок в крайнем правом положении
   m_ctrlOffset_t.SetPos(255);
   // Текст
   m_strOffset_b="0";
   m_strOffset_t="0";
   UpdateData(FALSE);
   return TRUE;
}
```

Напомню, что переменные `m_ctrlOffset_b` и `m_ctrlOffset_t` — это объекты класса `CSliderCtrl`, связанные с ползунками, а `m_strOffset_b` и `m_strOffset_t` — объекты класса `CString`, связанные с элементами *static* в окне диалога (см. рис. 11.4, 11.5).

Далее добавим в класс `CHistDlg` обработчики еще двух сообщений: `WM_HSCROLL`, которое будет поступать при перемещении бегунка (листинг 11.17), и сообщения о нажатии пользователем кнопки **OK** в диалоге (листинг 11.18). При обработке сообщения `WM_HSCROLL` в окно диалога будет выводиться позиция бегунков. При обработке сообщения "нажата кнопка **OK**" позиции бегунков запоминаются в переменных `m_iOffset_b` и `m_iOffset_e`. Эти переменные целого типа добавлены в класс `CHistDlg` специально для того, чтобы можно было извлечь из него информацию о позициях бегунков после закрытия окна диалога.

Листинг 11.17. Обработка сообщения WM_HSCROLL в классе CHistDlg. Файл HistDlg.cpp

```
void CHistDlg::OnHScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar* pScrollBar)
{
   m_strOffset_b.Format("%d", m_ctrlOffset_b.GetPos());
   m_strOffset_t.Format("%d", 255-m_ctrlOffset_t.GetPos());
   UpdateData(FALSE);
   CDialog::OnHScroll(nSBCode, nPos, pScrollBar);
}
```

Листинг 11.18. Обработка сообщения "нажата кнопка OK" в классе CHistDlg. Файл HistDlg.cpp

```
void CHistDlg::OnOK()
{
   m_iOffset_b=m_ctrlOffset_b.GetPos();
   m_iOffset_t=255-m_ctrlOffset_t.GetPos();
   CDialog::OnOK();
}
```

Теперь, когда все подготовительные операции выполнены, и нам известен диапазон значений яркости, который надо растягивать, остается только создать нужный фильтр, и сообщить ему этот диапазон.

Коррекция яркости — это точечный процесс. Поэтому создадим класс фильтра "Гистограмма" `CHistogram`, как производный от класса `CDotFilter` (листинг 11.19).

Листинг 11.19. Интерфейс класса CHistogram. Файл Filter.h

```
// Гистограмма
class CHistogram: public  CDotFilter
{
public:
   BOOL Init(int offset_b, int offset_t);
};
```

У этого класса объявлен всего один новый метод `Init()`, в который передаются смещения от нижней и от верхней границы диапазона яркостей (листинг 11.20). В методе `Init()` производится заполнение таблиц преобразования новыми значениями. При этом полный диапазон яркостей

от 0 до 255 равномерно распределяется на заданный в диалоге "Гистограмма" диапазон.

Листинг 11.20. Метод `CHistogram::Init()`. Файл Filter.cpp

```
BOOL CHistogram::Init(int offset_b, int offset_t)
{
   int range=0;
   // Все элементы в таблицах с индексом от 0 до нижней границы
   // установим в 0
   for(int i=0, t=0; t<3; t++)
      for(i=0; i<offset_b; i++)
      {
         BGRTransTable[t][i]=0;
      }
   // Все значения в таблицах с индексом от 255 до верхней границы
   // установим в 255
   for(t=0; t<3; t++)
      for(i=255; i>=256-offset_t; i--)
      {
         BGRTransTable[t][i]=255;
      }
   // Все значения в таблицах с индексом от нижней до верхней границы
   // равномерно распределим на диапазон от 0 до 255
   double step=256./(256-(offset_b+offset_t));
   for(t=0; t<3; t++)
   {
      double value=0.;
      for(i=offset_b; i<256-offset_t; i++)
      {
         BGRTransTable[t][i]=(int)((value)+0.5);
         value+=step;
      }
   }
   return TRUE;
};
```

Вернемся теперь к листингу 11.9 и посмотрим, что же происходит после строчки:

```
// Требуется выполнить коррекцию контрастности
```

В интерфейсе класса `CBMDoc` объявлен объект-фильтр `m_HistogramFilter` класса `Chistogram` после того, как пользователь нажал кнопку **OK** в диалоге "Гистограмма", мы проверяем "а не сдвинул ли он бегунки на ползунках". Если такое событие произошло, то мы инициализируем объект `m_HistogramFilter` и делаем его активным, а затем вызываем метод `CBMDoc::Transform()`, который мы уже обсудили (см. листинг 11.10).

Посмотрим, какой же эффект даст наша коррекция яркости. Установим диапазон яркостей, который должен быть растянут, передвинем бегунки так, как показано на рис. 11.14.

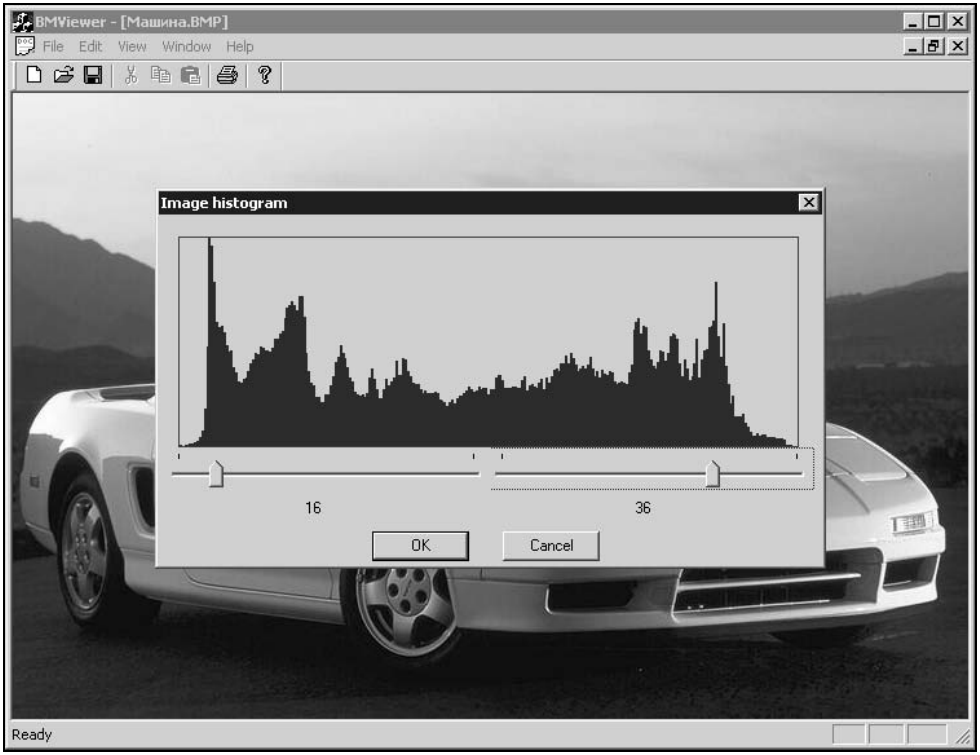


Рис. 11.14. Коррекция яркости

Результат коррекции яркости показан на рис. 11.15, а гистограмма изображения после коррекции — на рис. 11.16. Для того чтобы эффект преобразования был лучше заметен, на рис. 11.15 показано изображение, лишь половина которого была преобразована. Метод `CBMDoc::Transform()` имеет такую возможность (листинг 11.10). Гистограмма же на рис. 11.15 соответствует полностью откорректированному изображению.

Мы рассмотрели процесс коррекции яркости вручную. Эту операцию можно выполнить и автоматически. При автоматической коррекции яркости

алгоритм должен сначала найти границы корректируемого диапазона. Для этого нужно задать некоторое пороговое значение яркости (например, определить его от уровня средней яркости), а затем выполнить сканирование гистограммы изображения и найти индексы элементов гистограммы, значения которых находятся на заданном пороге, — определить диапазон коррекции. Далее коррекция выполняется точно так же, как и при "ручном" варианте.

Рис. 11.15. Результат коррекции яркости

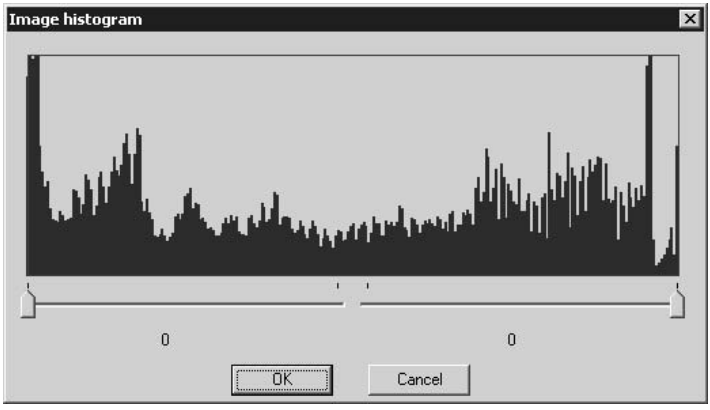


Рис. 11.16. Гистограмма яркости после коррекции

11.6.6. Фильтр "Яркость/Контраст"

Многие графические редакторы имеют возможность изменить яркость и контраст изображения. Изменение яркости заключается в простом увели-

чении или уменьшении интенсивности цвета всех пикселов на заданное значение (константу). Выражается это в смещении гистограммы яркости вправо или влево по шкале. Контраст же может быть как увеличен, так и уменьшен.

Данное преобразование является точечным. Для его реализации добавим в программу фильтр "Яркость/Контраст" — класс `CBrightCont`, производный от класса `CDotFilter`. Интерфейс класса приведен в листинге 11.21.

Листинг 11.21. Интерфейс класса `CBrightCont`. Файл Filter.h

```
// Яркость-контраст
class CBrightCont: public  CDotFilter
{
public:
   BOOL Init(int b_offset, int c_offset);
};
```

Интерфейс класса `CBrightCont` ничем не отличается от `CHistogram` (листинг 11.19). Однако значения `b_offset` и `c_offset` параметров метода `CBrightCont::Init()` могут быть как положительными, так и отрицательными, что будет соответствовать увеличению или уменьшению яркости/контрастности изображения.

Реализация метода `CBrightCont::Init()` приведена в листинге 11.22. Этот метод инициализирует таблицы преобразования. Сначала выполняется смещение яркости на заданную величину, а затем либо "сжатие", либо "растяжение" диапазона яркости. Причем, при сжатии значения яркости изменяются не равномерно, а пропорционально их удаленности от "серой середины", определенной константой `CONTRAST_MEDIAN`. Значение `CONTRAST_MEDIAN 159` задает более светлый оттенок серого (чем, например, 127 — арифметическая середина диапазона яркости). Использование этого параметра позволяет достичь лучших результатов при коррекции изображений. Видимо это связано с тем, что серый цвет `RGB(159, 159, 159)` ближе к понятию "серый цвет", чем `RGB(127, 127, 127)` — "темно-серый" или `RGB(200, 200, 200)` — "светло-серый". Вы можете поэкспериментировать со значением этой константы и посмотреть, что из этого получится.

Растяжение диапазона яркости выполняется так же, как было рассмотрено в предыдущем разделе за исключением того, что смещение по шкале яркости сверху и снизу одинаково и задается параметром `c_offset`. Еще одним отличием является то, что после преобразования яркости, работа по коррекции контрастности происходит со значениями таблицы преобразования, полагая при этом, что они являются индексами в таблице, полученной после коррекции яркости.

Листинг 11.22. Метод `CBrightCont::Init()`. Файл Filter.cpp

```
// "Серая середина"
#define CONTRAST_MEDIAN 159
BOOL CBrightCont::Init(int b_offset, int c_offset)
{
   int i=0,   // Индекс цвета в таблице преобразования
      t=0,   // Индекс таблицы
      // Индекс цвета, соответствующего нижней границе яркости
      t_index=0,
      // Индекс цвета, соответствующего верхней границе яркости
      b_index=0,
      value_offset; // Смещение значения цвета
   double value=0.; // Новое значение цвета
   // Изменяем яркость
   for(i, t=0; t<3; t++)
      for(i=0; i<256; i++)
      {
         if( i+b_offset>255) BGRTransTable[t][i]=255;
         else if( i+b_offset<0) BGRTransTable[t][i]=0;
         else BGRTransTable[t][i]=i+b_offset;
      }
   // Изменяем контрастность
   if(c_offset<0)// Уменьшаем контрастность
   {
      for(i=0, t=0; t<3; t++)
      for(i=0; i<256; i++)
      if(BGRTransTable[t][i]<CONTRAST_MEDIAN)
      {
         // Рассчитываем смещение в зависимости от удаленности цвета от
         // "серой середины"
         value_offset=(CONTRAST_MEDIAN-BGRTransTable[t][i])*c_offset/128;
         if(BGRTransTable[t][i]-value_offset>CONTRAST_MEDIAN)
            BGRTransTable[t][i]=CONTRAST_MEDIAN;
         else BGRTransTable[t][i]-=value_offset;
      }
      else
      {
         // Рассчитываем смещение в зависимости от удаленности цвета от
         // "серой середины"
         value_offset=(BGRTransTable[t][i]-CONTRAST_MEDIAN)*c_offset/128;
         if(BGRTransTable[t][i]+value_offset<CONTRAST_MEDIAN)
```

```
            BGRTransTable[t][i]=CONTRAST_MEDIAN;
         else BGRTransTable[t][i]+=value_offset;
      }
   }
   else   if(c_offset>0)
   // Увеличиваем контрастность
   {
      // Расчет нижней границы цвета
      int offset_b=c_offset*CONTRAST_MEDIAN/128;
      // Все значения в таблице ниже нижней границы получат значения 0
      for(t=0; t<3; t++)
      for(b_index=0; b_index<256; b_index++)
      {
         if(BGRTransTable[t][b_index]<offset_b)
            BGRTransTable[t][b_index]=0;
         else break;
      }
      // Расчет верхней границы цвета
      int offset_t=c_offset*128/CONTRAST_MEDIAN;
      // Все значения выше верхней границы получат значения 255
      for(t=0; t<3; t++)
      for(t_index=255; t_index>=0; t_index--)
      {
         if(BGRTransTable[t][t_index]+offset_t>255)
            BGRTransTable[t][t_index]=255;
         else break;
      }
      // Расчет шага изменения интенсивности цвета
      double step=256./(256-(offset_b+offset_t));
      // "Растягиваем" интенсивность цветов между нижней и верхней
      // границами, чтобы они занимали весь диапазон от 0 до 255
      for(t=0; t<3; t++)
      {
         value=0.;
         for(i=b_index; i<=t_index; i++)
         {
            if(BGRTransTable[t][i]>=offset_b ||
               BGRTransTable[t][i]<256-offset_t)
            {
               value=(int)((BGRTransTable[t][i]-offset_b)*step+0.5);
               if(value>255) value=255;
               BGRTransTable[t][i]=(int)(value);
```

```
            }
         }
      }
   }
   return TRUE;
};
```

Для того чтобы пользователь мог указать значения коррекции яркости и контрастности, добавим в программу диалог "Яркость/Контраст" (рис. 11.17). Создание окна диалога очень мало отличается от создания окна для диалога "Гистограмма".

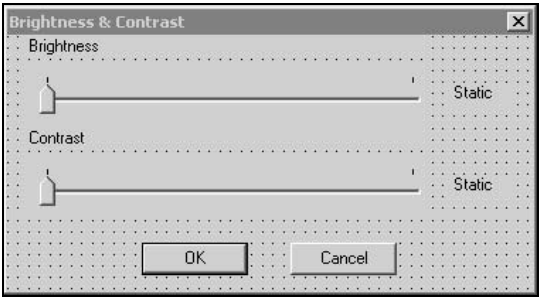


Рис. 11.17. Шаблон диалога коррекции яркости и контрастности

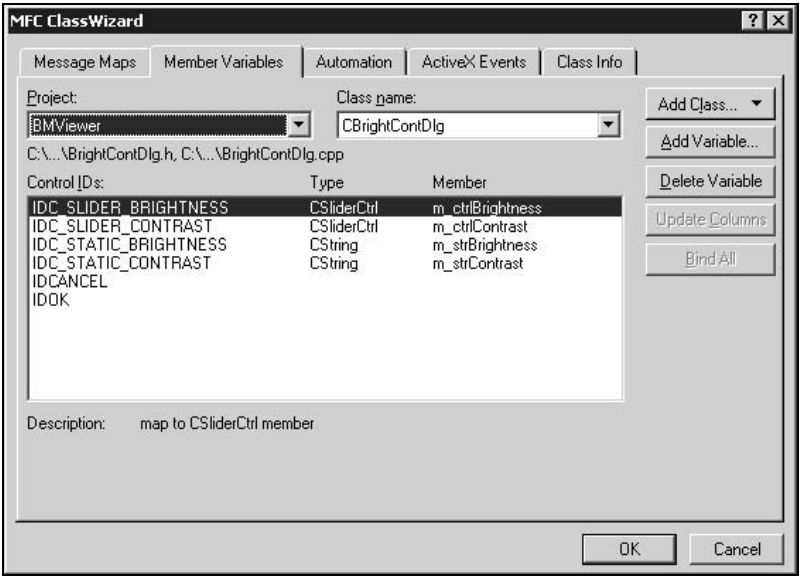


Рис. 11.18. Переменные класса `CBrightContDlg`

Присвоим диалогу идентификатор IDD_BRIGHT_CONT и создадим класс CBrightContDlg, свяжем с элементами управления переменные (рис. 11.18).

Для вызова диалога добавим в меню программы команду **Edit-Brightness and Contrast**, а в класс CBMDoc — метод обработки этой команды (листинг 11.23). В этом методе сначала создается диалог, и если пользователь нажал кнопку **OK**, то инициализируется фильтр "Яркость/Контраст" (объект m_BrightContFilter класса CBrightCont описан в интерфейсе класса CBMDoc). Затем фильтр делается активным и вызывается "фильтровалка" — метод CBMDoc::Transform().

Листинг 11.23. Метод-обработчик команды Edit-Brightness and Contrast. Файл BMDoc.cpp

```
void CBMDoc::OnEditBrightnessandcontrast()
{

   CBrightContDlg BCDlg;
   if(BCDlg.DoModal()==IDCANCEL) return;

   if(BCDlg.m_iBrightnessOffset!=0 || BCDlg.m_iContrastOffset!=0)
   {
      m_BrightContFilter.Init(BCDlg.m_iBrightnessOffset,
                        BCDlg.m_iContrastOffset);
      m_pCurFilter=&m_BrightContFilter;
      Transform();
   }
}
```

Посмотрим же на эффект, который дает фильтр яркости и контрастности. Попробуем сначала немного увеличить яркость фотографии, показанной на рис. 11.11. На рис. 11.19 показана та же фотография, яркость половины которой увеличена на 30 единиц[1] коррекции.

Гистограмма этой же картинки (если преобразование применено ко всей ее площади) показана на рис. 11.20. Видно, что по сравнению с гистограммой (рис. 11.11), она сместилась в область светлых тонов.

[1] Диапазоном коррекции считаем половину диапазона яркости (255/2=127), но на ползунке он представлен значением MAX_CORRECTION_OFFSET. Поэтому 1 единица коррекции равна 127/MAX_CORRECTION_OFFSET. Это просто особенность программной реализации.

Рис. 11.19. Фотография после коррекции яркости

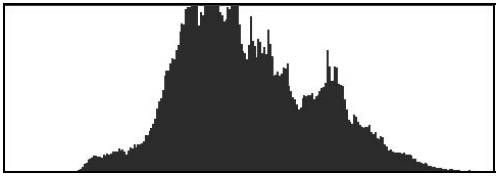


Рис. 11.20. Гистограмма яркости фотографии после коррекции яркости

Рис. 11.21. Фотография после коррекции яркости и контраста

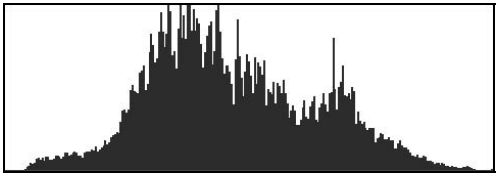


Рис. 11.22. Гистограмма яркости фотографии после коррекции яркости и контраста

Продолжим редактирование этой фотографии и попробуем изменить контрастность изображения, для этой цели можно, конечно, воспользоваться услугами коррекции контрастности диалога "Гистограмма", но можно испы-

тать и новые средства. Увеличим контраст на 20 единиц коррекции. Результат показан на рис. 11.21.

Гистограмма яркости изображения после коррекции контраста всей фотографии показана на рис. 11.22. Изображение стало контрастней, а гистограмма теперь охватывает более широкий диапазон значений.

Конечно, яркость и контраст можно и уменьшать. Поэкспериментируйте с этим.

11.6.7. Фильтр "Инверсия цветов"

Рассмотрим далее совсем простой фильтр, который мы уже обсудили в *разд. 11.6.3*, когда говорили о таблицах преобразования. Реализуется этот фильтр классом `CInvertColors` (листинг 11.24).

Листинг 11.24. Интерфейс класса `CInvertColors`. Файл Filter.h

```
// Инверсия цветов
class CInvertColors: public  CDotFilter
{
public:
   CInvertColors();
};
```

Операция инверсии цветов не требует никаких настроечных параметров, поэтому инициализация таблиц преобразования выполняется в конструкторе класса (листинг 11.25).

Листинг 11.25. Конструктор класса `CInvertColors`. Файл Filter.cpp

```
CInvertColors::CInvertColors()
{
   for(int i=0, t=0; t<3; t++)
      for(i=0; i<256; i++)
      {
         BGRTransTable[t][i]=255-i;
      }
};
```

Вот это фильтр, все бы так просто реализовались, а какой эффект (рис. 11.23)!

Рис. 11.23. Половина изображения обработана фильтром "Инверсия"

Конечно, как и для прочих фильтров, в классе `CBMDoc` завели объект класса `CInvertColors`, а в меню добавили соответствующую команду и в класс `CBMDoc` — метод-обработчик. В общем, "все, как у всех".

11.6.8. Фильтр "Рельеф"

Рассмотрим еще один точечный фильтр, который, однако, может быть отнесен и к пространственным (а если присмотреться, то в нем можно заметить признаки и покадрового, и геометрического процессов). Этот фильтр может быть реализован с использованием матриц или без их применения. Мы рассмотрим вариант "без". Эффект, создаваемый фильтром, может быть сравнен с получением отпечатка на незастывшем бетоне или высеканием рельефа на камне. Этот фильтр можно найти во многих графических редакторах (англоязычный вариант названия — "Emboss").

Достигается такой эффект простым вычитанием яркости пиксела из яркости пиксела той же позиции, но в копии изображения, смещенной на несколько пикселов, например, в сторону и вверх. Полученная разница смещается затем в область серых тонов.

Фильтр "Рельеф" реализован классом `CEmboss` (листинг 11.26).

Листинг 11.26. Интерфейс класса `CEmboss`. Файл Filter.h

```
// Рельеф
class CEmboss: public  CDotFilter
{
```

```
public:
   BOOL TransformPix(LONG x, LONG y);
};
```

Из-за того что преобразование в фильтре `CEmboss` отличается от точечного, пришлось переопределить метод `CDotFilter::TransformPix()`. Вот оно достоинство объектно-ориентированного стиля — больше ничего менять не пришлось. Вся остальная схема работы с фильтром осталась без изменений.

Реализация метода `TransformPix()` приведена в листинге 11.27. Константы `STONE_OFFSET_X` и `STONE_OFFSET_Y` задают расстояние и направление смещения вычитаемого пиксела и влияют на получаемый эффект. Можно создать диалог, в котором этими параметрами можно было бы "порулить". В приведенной реализации функции `CEmboss::TransformPix()` всем компонентам цвета задается одинаковая интенсивность. Это тоже необязательно, можно окрашивать результат в любые оттенки, как это сделано, например, в редакторе Ulead Photoimpact.

Листинг 11.27. Метод `CEmboss::TransformPix()`. Файл Filter.cpp

```
#define STONE_OFFSET_X 3
#define STONE_OFFSET_Y -3
BOOL CEmboss::TransformPix(LONG x, LONG y)
{
   BYTE *pDPix=NULL, *pSPix1=NULL, *pSPix2=NULL;
   // Источник необходим
   if(m_pSourceBM==NULL )
      return FALSE;
   // Если приемник не задан, то преобразование помещаем в источник
   if(m_pDestBM==NULL)
      m_pDestBM=m_pSourceBM;
   // Получаем указатели на пикселы в источнике и приемнике
   if((pDPix=m_pDestBM->GetPixPtr(x, y))==NULL ||
      (pSPix1=m_pSourceBM->GetPixPtr(x, y))==NULL)
      return FALSE;

   if((pSPix2=m_pSourceBM->GetPixPtr(x+STONE_OFFSET_X,
                                     y+STONE_OFFSET_Y))==NULL)
      pSPix2=pSPix1;
   // Расчет яркости
   BYTE Y1, Y2;
   Y1=(BYTE)(0.11*(*pSPix1) + 0.59*(*(pSPix1+1)) + 0.3*(*(pSPix1+2)));
```

```
    Y2=(BYTE)(0.11*(*pSPix2) + 0.59*(*(pSPix2+1)) + 0.3*(*(pSPix2+2)));
    // Находим разницу и смещаем ее в серую область
    BYTE d=(Y1-Y2+255)/2;

    // Пиксел получает новые значения
    *pDPix=d;
    *(pDPix+1)=d;
    *(pDPix+2)=d;
    return TRUE;
};
```

Результат применения фильтра показан на рис. 11.24.

Рис. 11.24. Половина изображения обработана фильтром "Рельеф"

11.6.9. Фильтр "Размытие"

Фильтр "Размытие" — это уже пространственное преобразование. Суть преобразования мы рассмотрели в *разд. 11.6*, а все сложности закончились в методе `CMatrixFilter::TransformPix()`, см. листинг 11.15. Применение этого фильтра оказывает эффект сглаживания деталей изображения. Казалось бы, зачем портить картинку, ну, некоторым это нравится, а, кроме того, иногда процесс "размытия" бывает полезен, в чем мы далее убедимся.

Фильтр реализуется классом `CBlur` (листинг 11.28).

Листинг 11.28. Интерфейс класса `CBlur`. Файл Filter.h

```
class CBlur: public CMatrixFilter
{
```

```
public:
   CBlur();
};
```

Все особенности этого фильтра заключаются в его конструкторе (листинг 11.29).

Листинг 11.29. Метод `CBlur::CBlur()`. Файл Filter.cpp

```
const int BlurMatrix[25]=
   {   1,   1,   1,   1,   1,
       1,   1,   1,   1,   1,
       1,   1,   1,   1,   1,
       1,   1,   1,   1,   1,
       1,   1,   1,   1,   1
   };

CBlur::CBlur()
{
   m_pMatrix=BlurMatrix;
   m_rangX=5;
   m_rangY=5;
};
```

Матрица `BlurMatrix` задает преобразование "размытие", а в конструкторе `CBlur()` просто запоминаются ее адрес и размер.

Эффект применения фильтра "Размытие" показан на рис. 11.25.

Рис. 11.25. Половина изображения обработана фильтром "Размытие"

Для того чтобы эффект был явно заметен на картинке, фильтр пришлось применить несколько раз.

11.6.10. Фильтр "Контур"

Фильтр "Контур" используется для выделения высокочастотных элементов изображения. Он широко применяется при распознавании образов и в машинном зрении. Высокочастотный элемент изображения — это, например, светлый пиксел на однородном темном фоне, или наоборот. Теорию этого дела вы можете прочитать в литературе, о которой я упоминал выше. Практически все очень просто. Матрица преобразования (листинг 11.30) определяет весовые коэффициенты пикселов в операции сложения (см. листинг 11.15).

Листинг 11.30. Матрица преобразования "Контур"

```
// Коэффициент четкости границ,
// его вполне можно задавать в диалоге
#define CONTOUR_COEFF 3
const int ConturMatrix[9]=
   {   -1*CONTOUR_COEFF,   -1*CONTOUR_COEFF,   -1*CONTOUR_COEFF,
       -1*CONTOUR_COEFF,   8*CONTOUR_COEFF,   -1*CONTOUR_COEFF,
       -1*CONTOUR_COEFF,   -1*CONTOUR_COEFF,   -1*CONTOUR_COEFF
   };
```

Представим теперь, что яркость пикселов, попавших в область действия матрицы, примерно одинакова, это значит, что после сложения получится сумма, близкая к нулю. Если же преобразуемый пиксел (ему соответствует центральный элемент матрицы) имеет яркость, превышающую окружающие пикселы, то результат сложения будет больше нуля. Заметьте, что сумма элементов матрицы равна нулю. Поэтому изображение превратится в черное с белыми контурами. Если же центральный элемент матрицы сделать, например, равным 9, то тогда цвета изображения в основном не изменятся, будут выделены лишь границы.

Фильтр реализуется классом `CContour` (листинг 11.31).

Листинг 11.31. Интерфейс класса `CContour`. Файл Filter.h

```
class CContour: public CMatrixFilter
{
public:
   CContour();
};
```

В конструкторе этого класса запоминаются нужная матрица и ее размер (листинг 11.32). В общем-то такие фильтры, как "Размытие" и "Контур" можно было бы реализовать одним классом, просто инициализировать разными матрицами.

Листинг 11.32. Метод `CBlur::CBlur()`. Файл Filter.cpp

```
CContour::CContour()
{
   m_pMatrix=ConturMatrix;
   m_rangX=3;
   m_rangY=3;
}
```

На рис. 11.26 показан результат применения фильтра "Контур" (так видит Терминатор своим страшным красным глазом)[1].

Рис. 11.26. Половина изображения обработана фильтром "Контур"

11.6.11. Фильтр "Четкость"

Фильтр "Четкость" иллюстрирует собой единство и борьбу противоположностей и, если вдуматься, то можно обнаружить в нем глубокий философский смысл. Для повышения четкости изображения в фильтре используется матрица "Размытие". Задача повышения четкости изображения заключается в том, чтобы выделить высокочастотные детали изображения. Светлые детали сделать ярче, темные — темнее. Для этого изображение сначала размывается,

[1] Шутка.

а затем определяется разность между размытым изображением и оригиналом. На величину этой разницы изменяется яркость оригинала. Таким образом, однородные участки изображения не подвергнутся изменениям, а те места картинки, где присутствуют высокочастотные детали, станут контрастнее.

Фильтр реализуется классом `CSharp` (листинг 11.33).

Листинг 11.33. Интерфейс класса `CSharp`. Файл Filter.h

```
class CSharp: public CMatrixFilter
{
public:
   CSharp();
   BOOL TransformPix(LONG x, LONG y);
};
```

В классе `CSharp` переопределен метод `TransformPix()`, реализация метода приведена в листинге 11.34.

Листинг 11.34. Методы класса `CSharp`. Файл Filter.cpp

```
CSharp::CSharp()
{
   m_pMatrix=BlurMatrix;
   m_rangX=5;
   m_rangY=5;
};
// Коэффициент увеличения резкости,
// его вполне можно задавать в диалоге
#define SHARP_COEFF 3
BOOL CSharp::TransformPix(LONG x, LONG y)
{
   // Размыли пиксел
   if(!CMatrixFilter::TransformPix(x, y))
      return FALSE;
   BYTE *pDPix=NULL, *pSPix=NULL;

   pSPix=m_pSourceBM->GetPixPtr(x,y);
   pDPix=m_pDestBM->GetPixPtr(x, y);
   int d=0;
```

```
    for(int c=0; c<3; c++)
    {
       // Нашли разницу
       d=*(pSPix+c)-*(pDPix+c);
       // Усилили разницу
       d*=SHARP_COEFF;
       // Присвоили пикселу новое значение
       if(*(pDPix+c)+d <0)
          *(pDPix+c)=0;
       else
          if(*(pDPix+c)+d > 255)
             *(pDPix+c)=255;
       else
             *(pDPix+c)+=d;
    }
    return TRUE;
}
```

Результат применения фильтра показан на рис. 11.27.

Рис. 11.27. Половина изображения обработана фильтром "Четкость"

11.6.12. Применение фильтров

Теперь, когда мы так много узнали о фильтрах и их внутреннем устройстве, можем использовать их со "знанием дела". Например, прежде чем искать контуры рисунка, можно сначала выполнить его размытие — это уберет "шум"; найденные контуры можно усилить фильтром "Четкость", затем можно использовать фильтр "Инверсия" и получить окончательный результат такой, как на рис. 11.28.

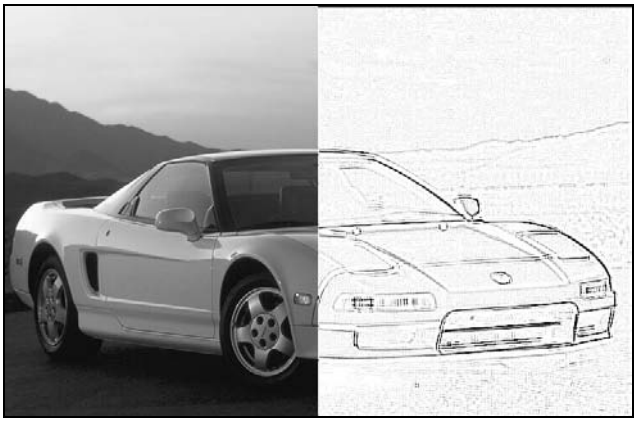


Рис. 11.28. Половина изображения последовательно обработана несколькими фильтрами

Таким образом, можно превратить отличную фотографию в неповторимый рисунок "углем". Приведенный пример, конечно, не ограничивает сферу применения рассмотренных фильтров.

11.7. Вывод изображений на печать

Вполне возможно, что у пользователя возникнет желание увековечить свое творение в твердой копии, т. е. распечатать. Однако, выполнив команду **File | Print Preview**, пользователь увидит, что вся красота сжалась до размеров почтовой марки (рис. 11.29). Но мы-то знаем, в чем причина, мы это уже "проходили" в *разд. 4.3.1.*

Там проблема была решена путем установки другого режима отображения. В программе же BMViewer облики работают в режиме отображения `MM_TEXT` (см. листинг 11.5). Это нас вполне устраивает, так как один пиксел экрана соответствует одному пикселу изображения. Решить же проблему можно путем масштабирования размеров картинки при выводе ее на печать. Для этого переопределим в классе облика `CBMView` виртуальный метод `CView::OnPrint()`. Сделать это можно с помощью ClassWizard. Новый метод приведен в листинге 11.35.

Листинг 11.35. Метод `CBMView::OnPrint()`. Файл BMView.cpp

```
void CBMView::OnPrint(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo)
{
// Разрешение устройства
   int DXRes=pDC->GetDeviceCaps(LOGPIXELSX);
```

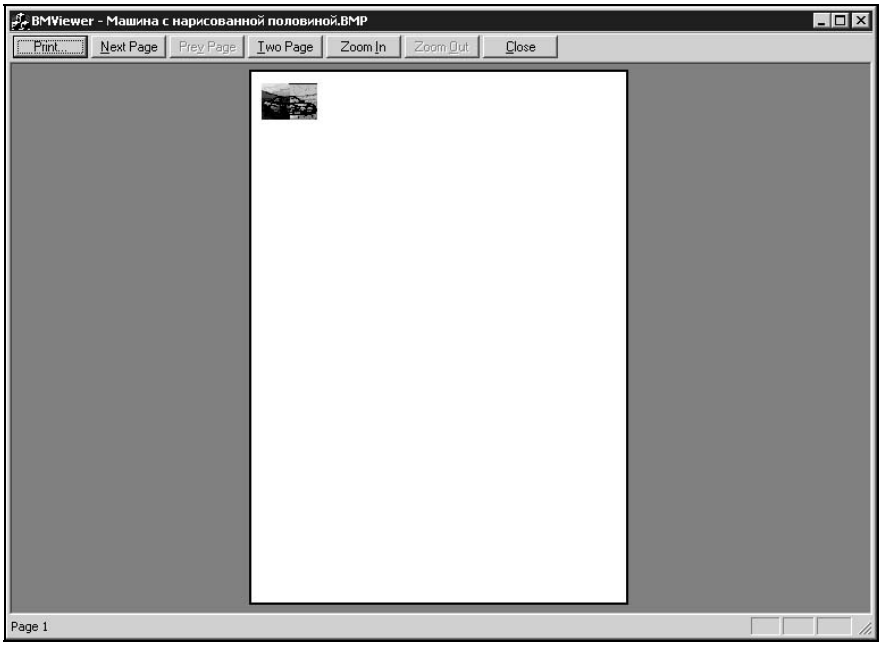


Рис. 11.29. Красота сжалась до размеров почтовой марки

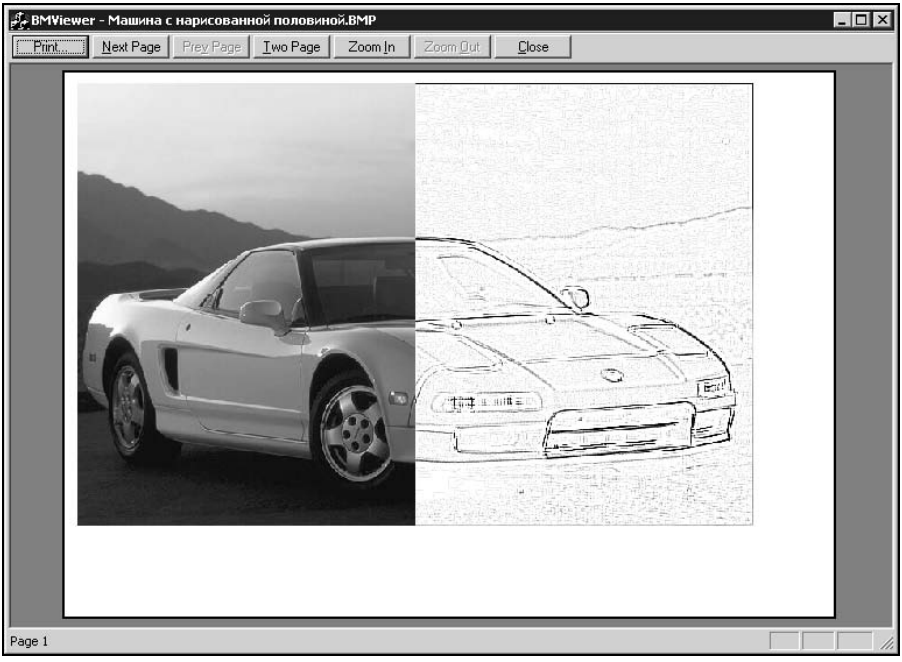


Рис. 11.30. Предварительный просмотр отпечатка

```
int DYRes=pDC->GetDeviceCaps(LOGPIXELSY);

   CBMDoc* pDoc = GetDocument();

ASSERT_VALID(pDoc);
   CRaster* pCurPic=pDoc->GetCurrentBMPtr();
   if(pCurPic==NULL) return;

   LONG  height, width;
   double resx, resy;
   // Перерасчет размера изображения под разрешение принтера
   width=pCurPic->GetBMWidth();
   height=pCurPic->GetBMHeight();

   resx=((double)pCurPic->GetBMInfoPtr()->bmiHeader.biXPelsPerMeter);
   resy=((double)pCurPic->GetBMInfoPtr()->bmiHeader.biYPelsPerMeter);
   // Переводим в dpi
   resx*=(25.4/1000);
   resy*=(25.4/1000);
   // Приведем к разумным пределам
   if(resx<=0 || resx> 3000) resx=72;
   if(resy<=0 || resy> 3000) resy=72;

   width=(int)(((double)width)*DXRes/resx+0.5);
   height=(int)(((double)height)*DYRes/resy+0.5);

   // Выводим изображение соответственно новым размерам
   pCurPic->DrawBitmap( pDC, 0, 0, width, height);
};
```

В методе `OnPrint()` сначала получаем разрешение печатающего устройства с помощью метода `CDC::GetDeviceCaps()`. Этот метод возвращает разрешение в точках на дюйм (dpi). Растровая картинка тоже имеет характеристику "разрешение", она записана в заголовке растра `BITMAPINFOHEADER` в полях `biXPelsPerMeter` и `biYPelsPerMeter`. Названия этих полей говорят о том, что разрешение в них записано в точках на метр. Это не может испугать нас, так как мы знаем, что в дюйме ровно 25,4 мм. Поэтому далее разрешение картинки приводится к единицам измерения "точек на дюйм". К сожалению, далеко не все программы, создающие растровые изображения, заполняют поля `biXPelsPerMeter` и `biYPelsPerMeter` значениями. Бывает, что

программы пишут в это поле значение 0, как, например Painter 4.2 (правильнее было бы записать туда разрешение экрана), а бывает, что оставляют его и вовсе неинициализированным, и там содержится какое-нибудь случайное значение. Эта ситуация проверяется на следующем этапе. Затем размеры картинки масштабируются пропорционально соотношению разрешений картинки и принтера. И, наконец, используются замечательные возможности метода `CRaster::OnDraw()` по выводу изображения на контекст
с масштабированием до заданного размера.

В принципе, в метод `OnPrint()` можно вставить вызов диалога, в котором пользователь мог бы задать нужные ему размеры отпечатка.

Результат работы программы с новым методом `OnPrint()` показан на рис. 11.30. Предварительно, с помощью стандартного диалога, вызываемого командой **File | Print Setup**, установлена альбомная (Landscape) ориентация листа.

11.8. Листинг программы

Реализация основных методов была приведена выше при описании процесса создания программы. Интерфейс и реализация класса `CRaster` приведены в *разд. 11.2*. Класс `CBMView` не претерпел особых изменений, его новые методы полностью описаны в *разд. 11.5* и *11.7*. Классы фильтров описаны в посвященных им разделах. Приведем здесь лишь полные листинги класса документа `CBMDoc` (обратите внимание, как происходит работа с буферами изображений) и классов диалогов, которые не были рассмотрены ранее (листинги 11.36—11.41). Кроме того, полный текст программы содержится на компакт-диске в каталоге Sources\BMViewer.

Листинг 11.36. Интерфейс класса `CBMDoc`. Файл BMDoc.h

```
#include "Raster.h"
#include "Filter.h"

class CBMDoc : public CDocument
{
protected: // create from serialization only
   CBMDoc();
   DECLARE_DYNCREATE(CBMDoc)

// Attributes
public:
```

```
    // Флаг
    BOOL   m_bEditable;   // Флаг, можем ли редактировать данные
    BOOL   m_bEditHalf;   // Редактировать половину изображения

    CRaster m_BM[2];      // Два буфера для изображений
    CRaster *m_pCurBM;    // Указатель на активный буфер

    // Виртуальный экран
    CSize    m_virtScreenSize;
    CDC      m_virtScreenDC;
    // Фильтры
    CFilter   *m_pCurFilter;
    CBrightCont  m_BrightContFilter;
    CHistogram   m_HistogramFilter;
    CInvertColors m_InvertColorsFilter;
    CEmboss m_EmbossFilter;

    CBlur    m_BlurFilter;
    CContour m_ContourFilter;
    CSharp   m_SharpFilter;

// Operations
public:
    // Работа с виртуальным экраном
    BOOL DrawOnVS();
    BOOL DrawVS(CDC *pDC);
    CSize GetVirtScreenSize(){ return m_virtScreenSize;}
    // Работа с буферами
    int GetNCurrentBM();
    // Возвращает указатель на текущую картинку
    CRaster* GetCurrentBMPtr();
    // Возвращает указатель на буфер
    CRaster* GetBufferBMPtr();
    // Меняет буферы местами
    void SwapBM();
    // Создает буфер заданного размера
    // (при вызове без аргументов размер равен текущей картинке),
    // совместимый с текущей картинкой
    BOOL CreateCompatibleBuffer(LONG width=0, LONG height=0);
```

```
    // Выполняет преобразование с использованием активного фильтра
    void Transform();

// Overrides
    // ClassWizard generated virtual function overrides
    //{{AFX_VIRTUAL(CBMDoc)
    public:
    virtual BOOL OnNewDocument();
    virtual void Serialize(CArchive& ar);
    virtual BOOL OnOpenDocument(LPCTSTR lpszPathName);
    virtual BOOL OnSaveDocument(LPCTSTR lpszPathName);
    //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
public:
    virtual ~CBMDoc();
#ifdef _DEBUG
    virtual void AssertValid() const;
    virtual void Dump(CDumpContext& dc) const;
#endif

protected:

// Generated message map functions
protected:
    //{{AFX_MSG(CBMDoc)
    afx_msg void OnViewHistogram();
    afx_msg void OnEditUndo();
    afx_msg void OnEditBrightnessandcontrast();
    afx_msg void OnEditInvertcolors();
    afx_msg void OnEditBlur();
    afx_msg void OnEditSharp();
    afx_msg void OnEditContour();
    afx_msg void OnEditHalf();
    afx_msg void OnUpdateEditHalf(CCmdUI* pCmdUI);
    afx_msg void OnEditEmboss();
    afx_msg void OnUpdateEditBlur(CCmdUI* pCmdUI);
    afx_msg void OnUpdateEditHistogram(CCmdUI* pCmdUI);
    afx_msg void OnUpdateEditEmboss(CCmdUI* pCmdUI);
```

```
    afx_msg void OnUpdateEditSharp(CCmdUI* pCmdUI);
    afx_msg void OnUpdateEditUndo(CCmdUI* pCmdUI);
    afx_msg void OnUpdateEditContour(CCmdUI* pCmdUI);
    afx_msg void OnUpdateEditBrightnessandcontrast(CCmdUI* pCmdUI);
    afx_msg void OnUpdateEditInvertcolors(CCmdUI* pCmdUI);
    //}}AFX_MSG
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

Листинг 11.37. Реализация методов класса CBMDoc. Файл BMDoc.cpp

```
#include "stdafx.h"
#include "BMViewer.h"

#include "BMDoc.h"
#include "HistDlg.h"
#include "BrightContDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBMDoc

IMPLEMENT_DYNCREATE(CBMDoc, CDocument)

BEGIN_MESSAGE_MAP(CBMDoc, CDocument)
    //{{AFX_MSG_MAP(CBMDoc)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_HISTOGRAM, OnViewHistogram)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_UNDO, OnEditUndo)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_BRIGHTNESSANDCONTRAST, OnEditBrightnessandcontrast)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_INVERTCOLORS, OnEditInvertcolors)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_BLUR, OnEditBlur)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_SHARP, OnEditSharp)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_CONTOUR, OnEditContour)
    ON_COMMAND(ID_EDIT_HALF, OnEditHalf)
```

```
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_HALF, OnUpdateEditHalf)
   ON_COMMAND(ID_EDIT_EMBOSS, OnEditEmboss)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_BLUR, OnUpdateEditBlur)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_HISTOGRAM, OnUpdateEditHistogram)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_EMBOSS, OnUpdateEditEmboss)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_SHARP, OnUpdateEditSharp)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_UNDO, OnUpdateEditUndo)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_CONTOUR, OnUpdateEditContour)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_BRIGHTNESSANDCONTRAST, OnUpdateEdit-
Brightnessandcontrast)
   ON_UPDATE_COMMAND_UI(ID_EDIT_INVERTCOLORS, OnUpdateEditInvertcolors)
   //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBMDoc construction/destruction

CBMDoc::CBMDoc()
{
   // TODO: add one-time construction code here
   m_virtScreenSize.cx=m_virtScreenSize.cy=0;
   m_pCurBM=NULL;
   m_bEditable=FALSE;
   m_bEditHalf=FALSE;

   m_pCurFilter=NULL;
}

CBMDoc::~CBMDoc()
{
}

BOOL CBMDoc::OnNewDocument()
{
   if (!CDocument::OnNewDocument())
      return FALSE;

   // TODO: add reinitialization code here
   // (SDI documents will reuse this document)
```

```
   return TRUE;
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBMDoc serialization

void CBMDoc::Serialize(CArchive& ar)
{
   if (ar.IsStoring())
   {
      // TODO: add storing code here
   }
   else
   {
      // TODO: add loading code here
   }
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBMDoc diagnostics

#ifdef _DEBUG
void CBMDoc::AssertValid() const
{
   CDocument::AssertValid();
}

void CBMDoc::Dump(CDumpContext& dc) const
{
   CDocument::Dump(dc);
}
#endif //_DEBUG
/////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBMDoc operations

BOOL CBMDoc::DrawOnVS()
{
   if(m_pCurBM==NULL) return FALSE;
   // Получим указатель на контекст главного окна программы
```

```
   CDC *pDC=AfxGetMainWnd()->GetDC();
   // Если виртуальный экран не создан,
   if(m_virtScreenDC.GetSafeHdc()==NULL)
   {
      // создадим совместимый с контекстом главного окна контекст памяти
      m_virtScreenDC.CreateCompatibleDC(pDC);
   }
   // Если размеры картинки, которую собираемся нарисовать,
   // отличаются от размеров виртуального экрана,
   if(m_pCurBM->GetBMWidth()!=m_virtScreenSize.cx ||
   m_pCurBM->GetBMHeight()!=m_virtScreenSize.cy)
   {
      m_virtScreenSize.cx=m_pCurBM->GetBMWidth();
      m_virtScreenSize.cy=m_pCurBM->GetBMHeight();
      // создадим  растр-заготовку, совместимый с контекстом
      CBitmap MemBM;
      MemBM.CreateCompatibleBitmap(pDC,   m_pCurBM->GetBMWidth(),
                                          m_pCurBM->GetBMHeight());
      // Поместим его в виртуальный экран
      m_virtScreenDC.SelectObject(&MemBM);
   }

   AfxGetMainWnd()->ReleaseDC(pDC);
   // Выведем на виртуальный экран картинку
   m_pCurBM->DrawBitmap(&m_virtScreenDC);
   // "Эй, облики мои, я уже изменился"
   UpdateAllViews(NULL);
   return TRUE;
};

BOOL CBMDoc::DrawVS(CDC *pDC)
{
   if(pDC==NULL) return FALSE;
   pDC->BitBlt(0, 0, m_virtScreenSize.cx, m_virtScreenSize.cy,
            &m_virtScreenDC, 0, 0, SRCCOPY);
   return TRUE;
};

int   CBMDoc::GetNCurrentBM()
```

```
{
   if(m_pCurBM==NULL || m_pCurBM==&m_BM[0]) return 0;
   else return 1;
};

CRaster* CBMDoc::GetCurrentBMPtr()
{
   return m_pCurBM;
};

CRaster* CBMDoc::GetBufferBMPtr()
{
   return &m_BM[1-GetNCurrentBM()];
};

void CBMDoc::SwapBM()
{
   m_pCurBM=GetBufferBMPtr();
};

BOOL CBMDoc::CreateCompatibleBuffer(LONG width/*=0*/, LONG height/*=0*/)
{
   if(!m_pCurBM) return FALSE;
   CRaster *pBuff=GetBufferBMPtr();
   if(!pBuff) return FALSE;
   return
      pBuff->CreateCompatible(m_pCurBM->GetBMInfoPtr(), width, height);
};

void CBMDoc::Transform()
{
   if(m_pCurFilter==NULL) return;
   if(!CreateCompatibleBuffer()) return;

   CRaster *pSBM=GetCurrentBMPtr(),   // источник
           *pDBM=GetBufferBMPtr();    // приемник
   // Установили в фильтр источник и приемник преобразований
   m_pCurFilter->SetBuffers(pSBM, pDBM);
```

```
   LONG start_x=0;
   ////////////////////////////////////////////////////////
   // В случае, если пользователь желает
   // посмотреть эффект на половине изображения,
   // в этом месте происходит копирование
   // первой половины изображения без преобразования
   if(m_bEditHalf)
   {
      start_x=pSBM->GetBMWidth()/2;
      // Первую половину картинки просто копируем в буфер
      BYTE *pSPix=NULL,  *pDPix=NULL;
      for(LONG x=0, y=0; y<pSBM->GetBMHeight(); y++)
         for(x=0; x<start_x; x++)
            if((pSPix=pSBM->GetPixPtr(x, y))!=NULL &&
               (pDPix=pDBM->GetPixPtr(x, y))!=NULL)
               // ВНИМАНИЕ! Предполагается, что 1 пиксел = 24 бита
               memcpy(pDPix, pSPix, 3);
   }
   ////////////////////////////////////////////////////////
   // Преобразование с использованием текущего фильтра
   for(LONG x=0, y=0; y<pSBM->GetBMHeight(); y++)
      for(x=start_x; x<pSBM->GetBMWidth(); x++)
         m_pCurFilter->TransformPix(x, y);

   SwapBM();    // Сделать буфер текущим изображением
   DrawOnVS();  // Вывести изображение на виртуальный экран
   SetModifiedFlag(); // Сообщить документу, что данные изменились
};

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBMDoc commands

BOOL CBMDoc::OnOpenDocument(LPCTSTR lpszPathName)
{
   if (!CDocument::OnOpenDocument(lpszPathName))
      return FALSE;

   // Загружаем в первый буфер
   if(m_BM[0].LoadBMP(lpszPathName))
```

```
   {
      m_pCurBM=&m_BM[0];
      // Умеем редактировать только RGB888 данные
      if(m_pCurBM->GetBMInfoPtr()->bmiHeader.biBitCount!=24)
         m_bEditable=FALSE;
      else
         m_bEditable=TRUE;
      // Рисуем на виртуальном экране
      if(DrawOnVS())
         return TRUE;
   }

   return FALSE;
}

BOOL CBMDoc::OnSaveDocument(LPCTSTR lpszPathName)
{
   if( m_pCurBM!=NULL && m_pCurBM->SaveBMP(lpszPathName))
   {
      SetModifiedFlag(FALSE);
      return TRUE;
   }
   else
      return FALSE;
}

void CBMDoc::OnEditUndo()
{
   SwapBM();
   DrawOnVS();
   SetModifiedFlag();
}

void CBMDoc::OnViewHistogram()
{
   const int Range=256;
   DWORD Hist[Range]; // Гистограмма из Range градаций яркости

   // Запросим гистограмму у текущего изображения
   if(m_pCurBM==NULL || !m_pCurBM->GetHistogham(Hist, Range))
```

```
      return;
   // Создаем объект-диалог
   CHistDlg HDlg;
   // Передадим гистограмму в диалог
   HDlg.SetData(Hist, Range);
   // Покажем гистограмму
   if(HDlg.DoModal()==IDCANCEL) return;
   // Требуется выполнить коррекцию контрастности
   if(HDlg.m_iOffset_b !=0 || HDlg.m_iOffset_t!=NULL)
   {
      // Настраиваем фильтр гистограммы
      m_HistogramFilter.Init(HDlg.m_iOffset_b, HDlg.m_iOffset_t);
      // Делаем фильтр активным
      m_pCurFilter=&m_HistogramFilter;
      // Выполняем преобразование
      Transform();
   }
}

void CBMDoc::OnEditBrightnessandcontrast()
{

   CBrightContDlg BCDlg;
   if(BCDlg.DoModal()==IDCANCEL) return;

   if(BCDlg.m_iBrightnessOffset!=0 || BCDlg.m_iContrastOffset!=0)
   {
      m_BrightContFilter.Init(BCDlg.m_iBrightnessOffset,
                              BCDlg.m_iContrastOffset);
      m_pCurFilter=&m_BrightContFilter;
      Transform();
   }
}

void CBMDoc::OnEditInvertcolors()
{
   m_pCurFilter=&m_InvertColorsFilter;
   Transform();
}
```

```
void CBMDoc::OnEditEmboss()
{
   m_pCurFilter=&m_EmbossFilter;
   Transform();
}
void CBMDoc::OnEditBlur()
{
   m_pCurFilter=&m_BlurFilter;
   Transform();
}

void CBMDoc::OnEditContour()
{
   m_pCurFilter=&m_ContourFilter;
   Transform();
}

void CBMDoc::OnEditSharp()
{
   m_pCurFilter=&m_SharpFilter;
   Transform();
}

void CBMDoc::OnEditHalf()
{
   m_bEditHalf=!m_bEditHalf;
}

void CBMDoc::OnUpdateEditHalf(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->SetCheck(m_bEditHalf);
}

void CBMDoc::OnUpdateEditUndo(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->Enable(IsModified());
}

void CBMDoc::OnUpdateEditBlur(CCmdUI* pCmdUI)
```

```
{
   pCmdUI->Enable(m_bEditable);
}

void CBMDoc::OnUpdateEditHistogram(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->Enable(m_bEditable);
}

void CBMDoc::OnUpdateEditEmboss(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->Enable(m_bEditable);
}

void CBMDoc::OnUpdateEditSharp(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->Enable(m_bEditable);
}

void CBMDoc::OnUpdateEditContour(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->Enable(m_bEditable);
}

void CBMDoc::OnUpdateEditBrightnessandcontrast(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->Enable(m_bEditable);
}

void CBMDoc::OnUpdateEditInvertcolors(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->Enable(m_bEditable);
}
```

Листинг 11.38. Интерфейс класса `CHistDlg`. Файл HistDlg.h

```
class CHistDlg : public CDialog
{
// Construction
```

```
public:
   CHistDlg(CWnd* pParent = NULL);   // standard constructor
// Data
   int      m_iRange;      // Диапазон значений яркости
   int      m_iOffset_b;   // Коррекция яркости снизу
   int      m_iOffset_t;   // Коррекция яркости сверху
   DWORD    *m_pHist;      // Указатель на значения гистограммы
// Operations
   void SetData(DWORD *pHist, int Range) {m_pHist=pHist;
m_iRange=Range;};
   BOOL DrawHist(CDC *pDC);
// Dialog Data
   //{{AFX_DATA(CHistDlg)
   enum { IDD = IDD_HIST };
   CSliderCtrl   m_ctrlOffset_b;
   CSliderCtrl   m_ctrlOffset_t;
   CString       m_strOffset_b;
   CString       m_strOffset_t;
   //}}AFX_DATA

// Overrides
   // ClassWizard generated virtual function overrides
   //{{AFX_VIRTUAL(CHistDlg)
   protected:
   virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV support
   //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:

   // Generated message map functions
   //{{AFX_MSG(CHistDlg)
   afx_msg void OnPaint();
   virtual BOOL OnInitDialog();
   afx_msg void OnHScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar* pScroll-
Bar);
   virtual void OnOK();
   //}}AFX_MSG
   DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

Листинг 11.39. Реализация методов класса `CHistDlg`. Файл HistDlg.cpp

```
#include "stdafx.h"
#include "BMViewer.h"
#include "HistDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CHistDlg dialog

CHistDlg::CHistDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
   : CDialog(CHistDlg::IDD, pParent)
{
   //{{AFX_DATA_INIT(CHistDlg)
   m_strOffset_b = _T("");
   m_strOffset_t = _T("");
   //}}AFX_DATA_INIT

   m_pHist=NULL;
   m_iRange=0;
   m_iOffset_b=0;
   m_iOffset_t=0;
}

void CHistDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
   CDialog::DoDataExchange(pDX);
   //{{AFX_DATA_MAP(CHistDlg)
   DDX_Control(pDX, IDC_SLIDER_HIST_B, m_ctrlOffset_b);
   DDX_Control(pDX, IDC_SLIDER_HIST_T, m_ctrlOffset_t);
   DDX_Text(pDX, IDC_OFFSET_B_TXT, m_strOffset_b);
   DDX_Text(pDX, IDC_OFFSET_T_TXT, m_strOffset_t);
   //}}AFX_DATA_MAP
```

```
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CHistDlg, CDialog)
   //{{AFX_MSG_MAP(CHistDlg)
   ON_WM_PAINT()
   ON_WM_HSCROLL()
   //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// Operations
BOOL CHistDlg::DrawHist(CDC *pDC)
{
   if(m_pHist==NULL || m_iRange==0 || pDC==NULL) return FALSE;
   CRect FrameRect;

   // Найдем среднее значение
   DWORD MaxBright=0, SumBright=0;
   for(int i=0; i<m_iRange; i++)
      SumBright+=m_pHist[i];

   // Пусть максимальное (показываемое на рисунке) значение
   // будет в три раза больше среднего
   MaxBright=3*SumBright/m_iRange;
   if(MaxBright==0) return TRUE;

   // Перо для рисования гистограммы
   CPen HistPen(PS_SOLID, 2, RGB(0, 50, 50));
   CPen *pOldPen=pDC->SelectObject(&HistPen);
   // Координаты рамки рисунка (запомнили, когда рисовали рамку)
   FrameRect.left=10; FrameRect.top=10;
   FrameRect.right=330;  FrameRect.bottom=110;
   MapDialogRect(&FrameRect);

   FrameRect.bottom-=1;
   double kx=((double)FrameRect.Width())/m_iRange;
   double ky=((double)FrameRect.Height())/MaxBright;

   int x=0, y=0;
```

```
   for(i=0; i<m_iRange; i++)
   {
      x=FrameRect.left+(int)(kx*i+0.5);
      y=FrameRect.bottom;
      pDC->MoveTo(x, y);
      y=FrameRect.bottom -(int)(ky*m_pHist[i]+0.5);
      if(y<FrameRect.top) y=FrameRect.top;
      pDC->LineTo(x, y);
   }
   if(pOldPen)
      pDC->SelectObject(pOldPen);
   return TRUE;
};

////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CHistDlg message handlers

void CHistDlg::OnPaint()
{
   // Контекст для рисования
   CPaintDC dc(this);
   // Рисуем
   DrawHist(&dc);
}

BOOL CHistDlg::OnInitDialog()
{
   CDialog::OnInitDialog();
   // Ползунок нижней границы
   m_ctrlOffset_b.SetRange(0, 127);
   // Бегунок в крайнем левом положении
   m_ctrlOffset_b.SetPos(0);
   // Ползунок верхней границы
   m_ctrlOffset_t.SetRange(128, 255);
   // Бегунок в крайнем правом положении
   m_ctrlOffset_t.SetPos(255);
   // Текст
   m_strOffset_b="0";
   m_strOffset_t="0";
```

```
   UpdateData(FALSE);

   return TRUE;
}

void CHistDlg::OnHScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar* pScrollBar)
{
   m_strOffset_b.Format("%d", m_ctrlOffset_b.GetPos());
   m_strOffset_t.Format("%d", 255-m_ctrlOffset_t.GetPos());
   UpdateData(FALSE);
   CDialog::OnHScroll(nSBCode, nPos, pScrollBar);
}

void CHistDlg::OnOK()
{
   m_iOffset_b=m_ctrlOffset_b.GetPos();
   m_iOffset_t=255-m_ctrlOffset_t.GetPos();
   CDialog::OnOK();
}
```

Листинг 11.40. Интерфейс класса `CBrightContDlg`. Файл BrightContDlg.h

```
class CBrightContDlg : public CDialog
{
// Construction
public:
   CBrightContDlg(CWnd* pParent = NULL);   // standard constructor

   int m_iBrightnessOffset;
   int m_iContrastOffset;
// Dialog Data
   //{{AFX_DATA(CBrightContDlg)
   enum { IDD = IDD_BRIGHT_CONT };
   CSliderCtrl   m_ctrlContrast;
   CSliderCtrl   m_ctrlBrightness;
   CString       m_strBrightness;
   CString       m_strContrast;
   //}}AFX_DATA

// Overrides
```

```
    // ClassWizard generated virtual function overrides
    //{{AFX_VIRTUAL(CBrightContDlg)
    protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV support
    //}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
protected:

    // Generated message map functions
    //{{AFX_MSG(CBrightContDlg)
    virtual BOOL OnInitDialog();
    afx_msg void OnHScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar* pScroll-
Bar);
    virtual void OnOK();
    //}}AFX_MSG
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

Листинг 11.41. Реализация методов класса `CBrightContDlg`. Файл BrightContDlg.cpp

```
#include "stdafx.h"
#include "BMViewer.h"
#include "BrightContDlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBrightContDlg dialog

CBrightContDlg::CBrightContDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
    : CDialog(CBrightContDlg::IDD, pParent)
{
```

```
   m_iBrightnessOffset=0;
   m_iContrastOffset=0;
   //{{AFX_DATA_INIT(CBrightContDlg)
   m_strBrightness = _T("");
   m_strContrast = _T("");
   //}}AFX_DATA_INIT
}

void CBrightContDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
   CDialog::DoDataExchange(pDX);
   //{{AFX_DATA_MAP(CBrightContDlg)
   DDX_Control(pDX, IDC_SLIDER_CONTRAST, m_ctrlContrast);
   DDX_Control(pDX, IDC_SLIDER_BRIGHTNESS, m_ctrlBrightness);
   DDX_Text(pDX, IDC_STATIC_BRIGHTNESS, m_strBrightness);
   DDX_Text(pDX, IDC_STATIC_CONTRAST, m_strContrast);
   //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CBrightContDlg, CDialog)
   //{{AFX_MSG_MAP(CBrightContDlg)
   ON_WM_HSCROLL()
   //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

/////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CBrightContDlg message handlers
#define MAX_CORRECTION_OFFSET 100
BOOL CBrightContDlg::OnInitDialog()
{
   CDialog::OnInitDialog();

   // Инициализация ползунков яркости и контрастности
   m_ctrlBrightness.SetRange(0, MAX_CORRECTION_OFFSET*2);
   m_ctrlBrightness.SetPos(MAX_CORRECTION_OFFSET);
   m_ctrlBrightness.SetTic(0);
```

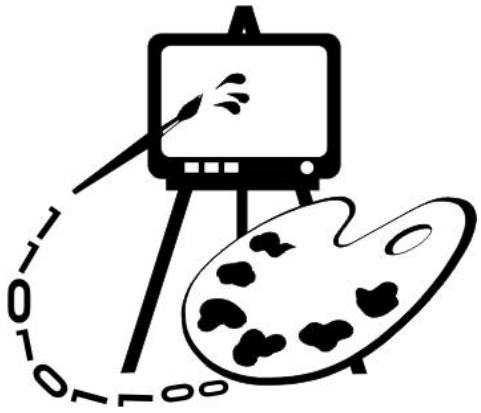
```
   m_ctrlBrightness.SetTic(MAX_CORRECTION_OFFSET);
   m_ctrlBrightness.SetTic(MAX_CORRECTION_OFFSET*2);

   m_ctrlContrast.SetRange(0, MAX_CORRECTION_OFFSET*2);
   m_ctrlContrast.SetPos(MAX_CORRECTION_OFFSET);
   m_ctrlContrast.SetTic(0);
   m_ctrlContrast.SetTic(MAX_CORRECTION_OFFSET);
   m_ctrlContrast.SetTic(MAX_CORRECTION_OFFSET*2);

   m_strBrightness="0";
   m_strContrast="0";
   UpdateData(FALSE);

   return TRUE;
}

void CBrightContDlg::OnHScroll(UINT nSBCode, UINT nPos, CScrollBar*
pScrollBar)
{
   m_strBrightness.Format("%d", m_ctrlBrightness.GetPos()-
                                MAX_CORRECTION_OFFSET);
   m_strContrast.Format("%d", m_ctrlContrast.GetPos()-
                              MAX_CORRECTION_OFFSET);
   UpdateData(FALSE);
   CDialog::OnHScroll(nSBCode, nPos, pScrollBar);
}

void CBrightContDlg::OnOK()
{
   // Преобразуем диапазон единиц коррекции к половине диапазона яркости
   m_iBrightnessOffset=(m_ctrlBrightness.GetPos()-MAX_CORRECTION_OFFSET)*
                        127/MAX_CORRECTION_OFFSET;
   m_iContrastOffset=(m_ctrlContrast.GetPos()-MAX_CORRECTION_OFFSET)*
                        127/MAX_CORRECTION_OFFSET;
   CDialog::OnOK();
}
```

11.9. Заключение

Приведенную программную реализацию можно, несомненно, значительно улучшить.

Неплохо, например, выделить выполнение "фильтровалки" в отдельный поток и показывать процент выполнения задачи ("process bar" в строке состояния). Это может потребоваться при выполнении продолжительных операций, таких как пространственная фильтрация, для того чтобы у пользователя не возникало ощущения, что программа "зависла".

В текущей реализации фильтры представлены переменными класса `CBMDoc`. Можно было бы придумать схему их динамического хранения. В этом случае фильтры можно реализовывать в динамически подключаемых библиотеках (DLL). Это позволило бы расширять возможности программы уже после ее написания. Подобная модель реализована в программе Adobe Photoshop и многих других программах. Конечно, такой подход требует более серьезного осмысления задачи. Однако даже та схема, что заложена в программу BMViewer, подразумевает возможность расширения функциональности программы. Так что, желаю успехов!



Часть IV

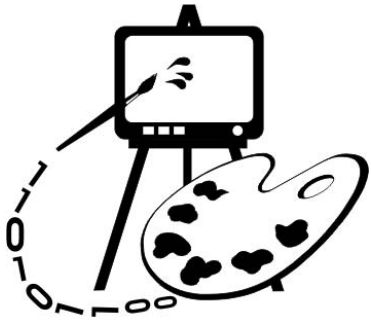
НАЗНАЧЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК

Глава 12. Библиотеки OpenGL и DirectX

Заключение

Глава 12

Библиотеки OpenGL и DirectX



В этой главе рассматриваются:

- назначение библиотек OpenGL и DirectX;
- пример использования библиотеки OpenGL для вывода на экран растрового и векторного изображений (программа FirstGL).

При программировании сложных, больших приложений целесообразно сконцентрировать основное внимание на задачах проекта и использовать для визуализации готовые графические библиотеки, которые позволяют избавиться от массы рутинной работы.

Необходимость создания специализированных библиотек для работы с графическими данными была обусловлена не только желанием сократить объем труда, но также и тем фактом, что стандартные средства GDI Windows работают с графикой довольно медленно. Поэтому ведущие фирмы-разработчики программного обеспечения объединили свои усилия и создали средства, позволяющие с наименьшими затратами работать с трехмерной графикой в операционной системе Windows.

В данной главе коротко рассказывается о назначении наиболее известных в настоящее время графических библиотек: OpenGL и DirectX. Приводится пример использования OpenGL для вывода на экран трехмерной сцены.

Для более подробного изучения библиотек можно порекомендовать литературу [3, 11, 17].

Кроме того, можно обратиться к документации Microsoft по DirectX (*DirectX 8.0 Programmer's Reference*), а также к электронной библиотеке Microsoft MSDN Library (*раздел Platform SDK, Graphics and Multimedia Services*).

12.1. Библиотека OpenGL

Прообразом библиотеки OpenGL стала библиотека IRIS GL, разработанная компанией Silicon Graphics для своих рабочих станций, которая оказалась

настолько удачной, что в настоящее время на ее основе разработан стандарт OpenGL. OpenGL — Open Graphics Library, открытая графическая библиотека. Термин "открытый" означает независимый от производителей. Библиотеку OpenGL могут производить разные фирмы и отдельные разработчики. Главное, чтобы библиотека удовлетворяла спецификации (стандарту) OpenGL и ряду тестов. Технология OpenGL лицензирована Microsoft и применяется в WIN32 API. Доступ к функциям WIN32 API может быть осуществлен из разных языков программирования: C, Delphi, Fortran и др. Общие принципы использования OpenGL в любой системе программирования одинаковы. OpenGL используется в приложениях моделирования и визуализации, применяется для вывода графических данных в системах автоматизированного проектирования (САПР), дизайнерских программах и т. д.

Процедуры OpenGL работают как с растровой, так и с векторной графикой и позволяют создавать двумерные и трехмерные объекты произвольной формы. Пространственные объекты могут быть представлены каркасными и тоновыми моделями. Для объекта может быть задан материал и наложена растровая структура. Объектами сцен являются также и источники света. Средства создания моделей объектов включают процедуры генерации стандартных трехмерных поверхностей, например, сфер и правильных многогранников, кривых Безье и рациональных B-сплайнов (NURBS-сплайнов).

В библиотеке OpenGL имеются средства взаимодействия графических объектов, которые позволяют создавать эффекты прозрачности, тумана, смешивания цветов, выполнять логические операции над объектами (например, вычитание), накладывать трафарет, передвигать объекты сцены, лампы и камеры по заданным траекториям и т. д.

При работе с растровой графикой данными являются массивы пиксельных значений, создаваемые в программе или загружаемые из файла.

Единицей информации при работе с векторными объектами является вершина, из них состоят более сложные объекты. Программист создает вершины, указывает, как их соединять (линиями или многоугольниками), устанавливает координаты и параметры камер и ламп, а библиотека OpenGL берет на себя всю остальную работу по созданию изображения на экране. OpenGL хорошо подходит как для начинающих программистов, которым необходимо создать небольшую трехмерную сцену и не задумываться о деталях реализации алгоритмов трехмерной графики, так и для профессионалов, занимающихся программированием трехмерной графики, т. к. она предоставляет развитые механизмы управления графическими сценами и обеспечивает определенную автоматизацию.

С точки зрения программиста библиотека OpenGL представляет собой множество команд, одна часть которых позволяет создавать двумерные и трехмерные объекты, а другая — управляет их отображением на экране.

Кроме широких возможностей и простоты в изучении библиотека OpenGL обладает следующими достоинствами:

- Стабильность. Как уже отмечалось, на OpenGL существует стандарт. Все новшества и изменения предварительно объявляются и вносятся таким образом, чтобы гарантировать нормальную работу уже написанных программ.
- Надежность и переносимость. Все приложения, использующие OpenGL, гарантируют получение одинакового визуального эффекта вне зависимости от используемого оборудования и операционной системы.
- Простота использования. Библиотека OpenGL хорошо структурирована и включает драйверы основного оборудования, что освобождает разработчика от проблем со специфичностью различных графических устройств.

Основным недостатком библиотеки OpenGL считают ее сравнительную медлительность, что, видимо, является расплатой за простоту ее инициализации и использования.

Реализация Microsoft OpenGL включает в себя следующие компоненты:

- Набор базовых команд OpenGL (около 300) для описания форм объектов, преобразования координат, управления освещением, цветом, текстурой, туманом, вывода растровых картинок и т. д. Имена базовых команд в реализации на C начинаются с префикса `gl`.
- Библиотеку утилит OpenGL (GLU-библиотеку). Команды этой библиотеки дополняют базовые функции OpenGL и позволяют выполнять триангуляцию многоугольников, создавать и выводить стандартные фигуры (сферы, цилиндры и диски), строить сплайновые кривые и поверхности, обрабатывать ошибки. Имена команд библиотеки утилит в C-реализации начинаются с префикса `glu`.
- Дополнительную библиотеку OpenGL (AUX-библиотеку). Библиотека содержит функции управления окнами, обработки событий, управления цветовой палитрой, вывода стандартных 3D-объектов (тор, тетраэдр и др.), управления двойной буферизацией. Имена команд этой библиотеки в C-реализации начинаются с префикса `aux`.
- Функции, соединяющие OpenGL с Windows, — WGL-функции. Эти функции управляют контекстом воспроизведения, списками команд, шрифтами. Имена WGL-функций начинаются с префикса `wgl`.
- Win32-функции для управления форматом пикселов и двойной буферизацией. Win32-функции в Windows-приложениях используются вместо команд библиотеки AUX. Имена Win32-функций не имеют специальных префиксов.

В конце главы будет рассмотрен пример использования OpenGL.

12.2. Библиотека DirectX

Так же как и в случае с OpenGL, причиной создания библиотеки DirectX явилась медлительность стандартных графических средств операционной системы Windows. Кроме того, желание сделать систему Windows стандартом для игровых программ подвигли Microsoft на создание технологии WinG, специально ориентированной на разработчиков компьютерных игр, которая затем и стала основой библиотеки DirectX.

DirectX представляет собой набор интерфейсов прикладного программирования (API) и программных инструментов, позволяющих создавать Windows-приложения со встроенным доступом к аппаратным компонентам, не зная подробностей аппаратной конфигурации конкретного компьютера. Другими словами, программисты получают унифицированный доступ к аппаратуре, причем без необходимости ограничиваться минимальными стандартными возможностями. Это позволяет ускорить работу с графикой до уровня DOS. Вдобавок DirectX содержит функции, позволяющие работать со звуком, портами ввода-вывода и другими устройствами. DirectX 8.0 состоит из следующих основных компонент:

- DirectX Graphics — объединяет компоненты DirectDraw и Direct3D предыдущих версий библиотеки DirectX в единый интерфейс (API). Компонент специализируется на работе с графикой. Благодаря этому компоненту, программы получают прямой доступ к видеоадаптеру компьютера, что позволяет им очень быстро переносить изображения из памяти на экран. Библиотека спроектирована так, что она может использовать все аппаратные возможности видеокарты по обработке изображений. Если какие-то требуемые возможности не реализованы аппаратно, то они эмулируются программно.
- DirectX Audio — объединяет компоненты DirectSound и DirectMusic предыдущих версий DirectX. Компонент предназначен для работы с устройствами воспроизведения звука. DirectSound работает значительно быстрее стандартных MCI-функций Windows, позволяет синхронизировать происходящее на экране со звуковыми эффектами, дает возможность замедлять и ускорять воспроизведение, выполнять смешивание звуков, создавать объемные звуковые эффекты и т. д.
- DirectInput — обеспечивает поддержку устройств ввода, например джойстика. Позволяет выполнить калибровку устройств, определить их состояние.
- DirectPlay — обеспечивает сетевую связь между компьютерами, организует взаимодействие между программами (сетевыми играми).
- DirectShow — используется для программирования мультимедиа-приложений, обеспечивает высококачественный "захват" и проигрывание мультимедийных потоков данных.
- DirectSetup — обеспечивает инсталляцию компонентов DirectX.

По мнению многих программистов, работающих с DirectX, основная сложность, возникающая при написании программ на основе этой библиотеки, заключается в определении возможностей аппаратуры и настройке драйверов. Этот недостаток, как и в случае с OpenGL, вытекает из основных достоинств библиотеки. Позволяя программисту почти напрямую работать с аппаратурой, библиотека требует от него большего внимания к "железу".

Вопрос выбора библиотеки OpenGL или DirectX надо решать исходя из задач, которые должно выполнять приложение. И та, и другая библиотеки встроены в операционные системы Windows. Однако интерфейс 3D-графики OpenGL встроен в архитектуру операционной системы на более высоком уровне, чем DirectX, и для связи с аппаратурой OpenGL опирается на DirectX. С другой стороны, по мнению некоторых экспертов, OpenGL лучше выполняет визуализацию (рендеринг) трехмерных сцен, чем выполняющий те же функции модуль Direct3D.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

- Качество визуализации трехмерных сцен с использованием OpenGL и DirectX если и отличается, то несущественно.
- Считается, что DirectX работает быстрее, чем OpenGL.
- DirectX в отличие от OpenGL имеет развитые компоненты управления звуком и взаимодействия с периферийными устройствами.
- OpenGL проще инициализировать.

Видимо поэтому OpenGL используется в основном не в играх, а в приложениях моделирования и визуализации. DirectX же применяется в мультимедийных приложениях, играх, тренажерах и других сложных программах, предусматривающих активное взаимодействие с пользователем или обработку больших потоков данных.

12.3. Пример использования библиотеки OpenGL

Создадим однодокументное MFC-приложение, которое будет выводить на экран движущуюся фигуру на фоне растрового изображения. Фигура будет представлять собой композицию из двух трехмерных объектов. Фигура будет вращаться вокруг своей оси и совершать круговые движения по экрану программы. В качестве заднего плана будем использовать растровую картинку, загружаемую в программу с помощью знакомого нам по *главе 11* класса `CRaster`. Визуализация трехмерной картинки будет происходить с использованием алгоритма "z-буфера" удаления невидимых линий (см. *разд. 7.3.3*). Показ заднего плана будем включать или выключать командой **View | Background**. В режиме показа заднего плана движение объекта

несколько замедляется. Это связано с тем, что алгоритму визуализации прибавляется работы.

Для реализации графики с использованием OpenGL программа должна, прежде всего, выполнить начальную инициализацию, которая включает следующие действия.

1. Подобрать и установить нужные параметры контекста воспроизведения.
2. Создать контекст воспроизведения.
3. Сделать созданный контекст воспроизведения активным. Программа может иметь несколько контекстов воспроизведения, но активным является только один.

После выполнения этих операций уже можно что-нибудь рисовать. В случае, если настройки OpenGL по умолчанию не подходят, их можно изменить с помощью функции `glEnable`. Можно также настроить параметры сцены, например, параметры освещения.

4. Следующее, о чем должна побеспокоиться ваша программа, — это обработка сообщения об изменениях размера вашего окна. В обработчике этого сообщения указывается часть окна, в которой будет располагаться контекст OpenGL. При этом контекст воспроизведения может занимать только часть окна, а остальная его часть может использоваться для размещения элементов управления (кнопки, поля ввода и т. п.) и других целей. Кроме того, требуется указать тип проекции, используемой в контексте отображения: перспективная или параллельная. В перспективной проекции две параллельные прямые сходятся вдалеке. В параллельной же проекции они всегда остаются параллельными.
5. Требуется установить точку наблюдения (точку, в которой находится камера или глаз наблюдателя) и точку, куда направлен "взгляд".
6. Задать ориентацию системы координат.

Итак, создадим заготовку простого однодокументного приложения (можно даже отказаться от панели инструментов и строки состояния). Назовем его FirstGL.

После создания каркаса приложения, подключим к проекту библиотечные файлы OpenGL. Для этого открываем диалоговое окно свойств проекта (команда **Project | Settings**) и вкладку **Link**. В поле **Object/library modules** добавим имена файлов opengl32.lib, glu32.lib и glaux.lib (имена файлов разделяются пробелами без запятых). В файл StdAfx.h добавим строчки, подключающие заголовочные файлы:

```
#include <gl/gl.h>
#include <gl/glu.h>
#include <gl/glaux.h>
```

12.3.1. Модификация класса облика

В классе `CFirstGLView` объявим переменную `m_hGLRC` типа `HGLRC` (указатель на контекст воспроизведения OpenGL) и переменную `m_pDC` (указатель на объект `CclientDC`). Интерфейс класса приведен в листинге 12.1. В класс `CFirstGLView` добавлены также объявления нескольких методов и переменных, назначение которых рассмотрим далее.

Листинг 12.1. Интерфейс класса `CFirstGLView`. Файл Firstvw.h

```
class CFirstGLView : public CView
{
protected: // create from serialization only
   CFirstGLView();
   DECLARE_DYNCREATE(CFirstGLView)
public:
   CFirstGLDoc* GetDocument();
   // Данные
   // Контекст устройства рисования
   CClientDC   *m_pDC;
   // Контекст воспроизведения OpenGL
   HGLRC   m_hGLRC;
   // Коэффициент пропорции размеров экрана
   double  m_dProportion;
   // Флаг "рисовать фон"
   BOOL    m_bViewBackground;

   // Операции
   // Установка параметров воспроизведения
   int   SetWindowPixelFormat(HDC);
   // Вывод всего изображения
   void   Display();
   // Вывод фона
   void   DisplayBackground();

// Overrides
   // ClassWizard generated virtual function overrides
   //{{AFX_VIRTUAL(CFirstGLView)
   public:
   virtual void OnDraw(CDC* pDC);  // overridden to draw this view
   protected:
```

```
   virtual BOOL OnPreparePrinting(CPrintInfo* pInfo);
   virtual void OnBeginPrinting(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo);
   virtual void OnEndPrinting(CDC* pDC, CPrintInfo* pInfo);
//}}AFX_VIRTUAL

// Implementation
public:
   virtual ~CFirstGLView();
#ifdef _DEBUG
   virtual void AssertValid() const;
   virtual void Dump(CDumpContext& dc) const;
#endif

protected:

// Generated message map functions
protected:
   //{{AFX_MSG(CFirstGLView)
   afx_msg int OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct);
   afx_msg void OnDestroy();
   afx_msg void OnSize(UINT nType, int cx, int cy);
   afx_msg void OnViewBackground();
   afx_msg void OnUpdateViewBackground(CCmdUI* pCmdUI);
   //}}AFX_MSG
   DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

#ifndef _DEBUG  // debug version in Firstvw.cpp
inline CFirstGLDoc* CFirstGLView::GetDocument()
   { return (CFirstGLDoc*)m_pDocument; }
#endif
```

Метод `CFirstGLView::SetWindowPixelFormat()` предназначен для установки параметров воспроизведения OpenGL (листинг 12.2).

Листинг 12.2. Метод `CFirstGLView::SetWindowPixelFormat()`. Файл Firstvw.cpp

```
int CFirstGLView::SetWindowPixelFormat(HDC hDC)
{
   int GLPixelIndex;
```

```
// PIXELFORMATDESCRIPTOR — структура,
// определяющая характеристики контекста воспроизведения.
// Инициализируем структуру значениями для полноцветного RGB-режима
PIXELFORMATDESCRIPTOR pfd =
{
   sizeof(PIXELFORMATDESCRIPTOR),   // размер структуры
   1,                               // номер версии
   PFD_DRAW_TO_WINDOW |     // разрешаем вывод в окно или на устройство
   PFD_SUPPORT_OPENGL |     // поддержка OpenGL
   PFD_DOUBLEBUFFER,        // двойная буферизация
   PFD_TYPE_RGBA,           // режим RGB
   24,                      // 24-битовая глубина цвета
   0, 0, 0, 0, 0, 0,        // игнорируем установки для битовых
                            // плоскостей и их смещения
   0,                       // без альфа-буфера
   0,                       // без смещения битов
   0,                       // без буфера-накопителя
   0, 0, 0, 0,              // без смещения бит в буфере-накопителе
   32,                      // размер z-буфера
   0,                       // без буфера-трафарета и
   0,                       // без вспомогательного буфера
   PFD_MAIN_PLANE,          // основная плоскость
   0,                       // резервный компонент
   0, 0, 0                  // без масок слоев
};

// Находит формат пикселов контекста устройства (монитора),
// наиболее близкий к заданному формату пикселов
// GLPixelIndex — номер поддерживаемого пиксельного формата
 GLPixelIndex = ChoosePixelFormat( hDC, &pfd);
if(GLPixelIndex==0) // Выбираем индекс формата по умолчанию
{
   GLPixelIndex = 1;
   // Получаем параметры режима
   if(DescribePixelFormat(hDC,GLPixelIndex,
                          sizeof(PIXELFORMATDESCRIPTOR),&pfd)==0)
      return 0;
 }
// Устанавливаем режим
```

```
   if (SetPixelFormat( hDC, GLPixelIndex, &pfd)==FALSE)
      return 0;

   return 1;
}
```

Метод `SetWindowPixelFormat()` вызывается из метода-обработчика сообщения `WM_CREATE`, добавленного в класс `CFirstGLView` с помощью ClassWizard (листинг 12.3). В методе `OnCreate()` создаются контекст Windows-окна программы и совместимый с ним контекст OpenGL, а также устанавливаются параметры визуализации трехмерной сцены.

Листинг 12.3. Метод `CFirstGLView::OnCreate()`. Файл Firstvw.cpp

```
int CFirstGLView::OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct)
{
   if (CView::OnCreate(lpCreateStruct) == -1)
      return -1;
   // Создаем контекст клиентской части окна
   if( (m_pDC = new CClientDC(this))==NULL)
      return -1;
   //
   if(SetWindowPixelFormat(m_pDC->m_hDC)==FALSE)
      return -1;
   // Создаем контекст отображения OpenGL
   if( (m_hGLRC = wglCreateContext(m_pDC->m_hDC)) == NULL)
      return -1;
   // Делаем контекст отображения активным
   if(wglMakeCurrent(m_pDC->m_hDC, m_hGLRC)==FALSE)
      return -1;
   // Устанавливаем параметры отображения
   // Параметры материала
   // отражение фонового света
   GLfloat  mat_ambient[4] = {0.2, 0.2, 0.2, 1.0};
   // диффузионное отображение
   GLfloat  mat_diffuse[4] = {0.8, 0.8, 0.8, 1.0};
   // зеркальное отражение
   GLfloat  mat_specular[4] = {1.0, 1.0, 1.0, 1.0};
   // интенсивность зеркального отражения
   GLfloat  mat_shineness = 50.0;
```

```
    // Устанавливаем параметры материала
    glMaterialfv(GL_FRONT,GL_AMBIENT, mat_ambient);
    glMaterialfv(GL_FRONT,GL_DIFFUSE, mat_diffuse);
    glMaterialfv(GL_FRONT,GL_SPECULAR, mat_specular);
    glMaterialfv(GL_FRONT,GL_SHININESS, &mat_shineness);

    // Задаем положение источника света
    GLfloat  pos[4] = {-100, 100, 100, 0};
    glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, pos);

    // Активизируем настройки:
    // использовать текущий цвет для задания свойств материала
    glEnable(GL_COLOR_MATERIAL);
    // для вычисления цвета использовать текущие параметры
    glEnable(GL_LIGHTING);
    // учитывать источник света №0
    glEnable(GL_LIGHT0);
    // проводить тест глубины
    glEnable(GL_DEPTH_TEST);
    // выводить на экран пикселы с наименьшими z-координатами
    glEnable(GL_LESS);

    // можно задать как минимум 8 источников
    return 0;
}
```

Для того чтобы размер окна OpenGL соответствовал размеру Windows-окна программы, определим в классе `CFirstGLView` с помощью ClassWizard метод обработки сообщения `WM_SIZE` (листинг 12.4).

Листинг 12.4. Метод `CFirstGLView::OnSize()`. Файл Firstvw.cpp

```
void CFirstGLView::OnSize(UINT nType, int cx, int cy)
{
    CView::OnSize(nType, cx, cy);
    // Вывод осуществляется в экранно-ориентированную
    // прямоугольную область окна OpenGL — видовой порт
    glViewport(0,0,cx,cy); // Устанавливаем размеры порта
    m_dProportion=(double)cy/cx; // пропорции окна
```

```
   glMatrixMode( GL_PROJECTION ); // Делаем активной матрицу GL_PROJECTION
   glLoadIdentity();
   // Устанавливаем масштаб по осям координат пропорционально
   // соотношению размеров окна.
   // Если окно станет прямоугольным, пропорции фигуры не изменятся
   glOrtho(-5./m_dProportion, 5./m_dProportion, -5., 5., 0, 10);
   // Направление взгляда
   gluLookAt( 0,0,5, 0, 0, 0,  0, 1, 0 );

   glMatrixMode( GL_MODELVIEW ); // Делаем активной матрицу GL_MODELVIEW
}
```

После завершения работы программы (закрытия окна) хорошим тоном будет вернуть все ресурсы, которые мы позаимствовали у системы. Поэтому добавим в класс `CFirstGLView` обработку еще одного сообщения `WM_DESTROY` (листинг 12.5).

Листинг 12.5. Метод `CFirstGLView::OnDestroy()`. Файл Firstvw.cpp

```
void CFirstGLView::OnDestroy()
{
   // Делаем контекст отображения неактивным
   if(wglGetCurrentContext()!=NULL)
      wglMakeCurrent(NULL, NULL);
   // Уничтожаем контекст отображения
   if(m_hGLRC!=NULL)
   {
      wglDeleteContext(m_hGLRC);
      m_hGLRC = NULL;
   }

   // Уничтожаем контекст устройства
   if(m_pDC)
      delete m_pDC;

   CView::OnDestroy();
}
```

Наконец-то пришла пора описать методы, которые предназначены для рисования (листинг 12.6). Метод `CFirstGLView::Display()` выводит на экран дви-

жущиеся трехмерные объекты. Метод `CFirstGLView::DisplayBackground()` вызывается из метода `Display()` и предназначен для вывода на экран фонового изображения. В качестве фона используется растровая картинка, загруженная при создании объекта-документа.

Листинг 12.6. Методы `CFirstGLView::Display()` и `CFirstGLView::DisplayBackground()`. Файл Firstvw.cpp

```
void  CFirstGLView::Display(void)
{
   double   rf=.5,    // радиус фигуры
            rt=3.,    // радиус траектории движения
            dalfa=2., // шаг поворота фигуры вокруг своей оси
            dbeta=1.; // шаг поворота траектории движения
   static double
            alfa=0.,  // угол поворота фигуры вокруг своей оси
            beta=0.;  // угол поворота траектории движения
   // Вычисляем положение фигуры
   double x=rt*cos(beta*3.14/180.);
   double y=rt*sin(beta*3.14/180.);
   if((beta+=dbeta)>360) beta=0;
   if((alfa+=dalfa)>360) alfa=0;
   // Рисуем сцену

   glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.); // цвет фона окна
   // Подготовка буфера
   glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT );
       DisplayBackground();   // рисуем фон
       glTranslated(x,y,0);   // смещаем оси координат
       glRotated(alfa, 1.0, 1.0, 1.0); // поворачиваем оси координат
       glColor3d(1.0, 0.0, 0.0);       // устанавливаем цвет
       auxSolidSphere(rf);             // сплошная сфера
      //auxWireSphere(rf);             // проволочная сфера
       auxSolidTorus(rf, rf*3);        // сплошной тор
      //auxWireTorus(rf, rf*3);        // проволочный тор

      // Поворачиваем и смещаем оси координат обратно,
      // чтобы преобразование не накапливалось
      glRotated(-alfa, 1.0, 1.0, 1.0);
         glTranslated(-x,-y,0);
```

```
   glFinish();  // Закончить вывод и преобразования и отобразить объекты
   SwapBuffers(wglGetCurrentDC()); // Выводим на экран
}

void  CFirstGLView::DisplayBackground()
{
   glPixelStorei(GL_UNPACK_ALIGNMENT, 4);
   // Получаем указатель на растровую картинку фона
   CRaster *pImage=GetDocument()->GetBackground();
   // Проверяем условия, при которых картинка может быть показана
   if(!m_bViewBackground || pImage==NULL || pImage->GetBMWidth()==NULL)
      return;
   // Позиция картинки
   glRasterPos3d(-5./m_dProportion, -5, -5);
   // Прозрачность картинки задается параметром от 0 до 1
   // 0-прозрачная 1-непрозрачная,
   glPixelTransferf(GL_ALPHA_SCALE, 1);
   // Выводим картинку
   glDrawPixels(pImage->GetBMWidth(), pImage->GetBMHeight(),
            GL_BGR_EXT, GL_UNSIGNED_BYTE,
            pImage->GetBMDataPtr());
}
```

Для того чтобы можно было включать или выключать показ заднего плана, добавим в меню **View** программы команду **Background**, а в класс `CFirstGLView` методы-обработчики сообщений, связанных с этой командой (листинг 12.7).

Листинг 12.7. Обработчики сообщений команды View-Background. Файл Firstvw.cpp

```
void CFirstGLView::OnViewBackground()
{
   m_bViewBackground=!m_bViewBackground;
}

void CFirstGLView::OnUpdateViewBackground(CCmdUI* pCmdUI)
{
   pCmdUI->SetCheck(m_bViewBackground);
}
```

Метод `CFirstGLView::OnViewBackground()` управляет значением переменной `m_bViewBackground` (первоначально установленной в `FALSE` конструктором класса `CFirstGLView`).

Метод `CFirstGLView::OnUpdateViewBackground()` ставит "птичку" напротив имени команды **Background** в меню, если значение `m_bViewBackground` равно `TRUE`.

12.3.2. Модификация класса документа

В класс документа требуется добавить лишь объект класса `CRaster` и метод, возвращающий указатель на него.

```
CRaster m_BackgroundImage;
CRaster* GetBackground(){return &m_BackgroundImage;};
```

Загрузка изображения будет выполняться методом `CRaster::LoadBMP()` в конструкторе класса `CFirstGLDoc` (листинг 12.8).

Листинг 12.8. Конструктор класса `CFirstGLDoc`. Файл Firstdoc.cpp

```
CFirstGLDoc::CFirstGLDoc()
{
   m_BackgroundImage.LoadBMP("Car.bmp");
}
```

Загрузка изображения выполняется из файла с именем Car.bmp, который должен находиться в одном каталоге с приложением (рабочем каталоге).

12.3.3. Модификация класса приложения

Обновление позиции трехмерного объекта происходит каждый раз при вызове метода `CFirstGLView::Display()`. Поэтому для того чтобы происходило движение объекта, этот метод должен периодически вызываться. Вызывать этот метод можно было бы, например, при обработке сообщений таймера. Для этого нам пришлось бы добавить в программу таймер и метод обработки его сообщений. Однако мы используем другой подход. Виртуальный метод `CWinApp::OnIdle()` вызывается каждый раз, когда очередь сообщений окна пуста и приложение простаивает. С помощью ClassWizard переопределим метод `OnIdle()` в классе `CFirstGLApp` (листинг 12.9).

Листинг 12.9. Метод `CFirstGLApp::OnIdle()`. Файл FirstGL.cpp

```
BOOL CFirstGLApp::OnIdle(LONG lCount)
{
```

```
    // Вызываем метод рисования
    ( (CFirstGLView*) ((CMainFrame*)m_pMainWnd)->GetActiveView() )->
       Display();
    return 1;// Повторять вызов OnIdle
}
```

12.4. Заключение

Результат работы программы FirstGL показан на рис. 12.1. Конечно, прочитав эту главу, вы не научитесь в совершенстве использовать OpenGL. Однако кое-какую "пищу для ума" можно извлечь из рассмотренного материала, можно поэкспериментировать с программой. Например, заменив в методе `CFirstGLView::Display()` функцию `auxSolidTorus()` на `auxWireTorus()`, можно получить изображение каркасного (проволочного) тора, можно изменить траекторию движения объектов, составить из фигур новую композицию, поменять положение источника освещения и т. д.

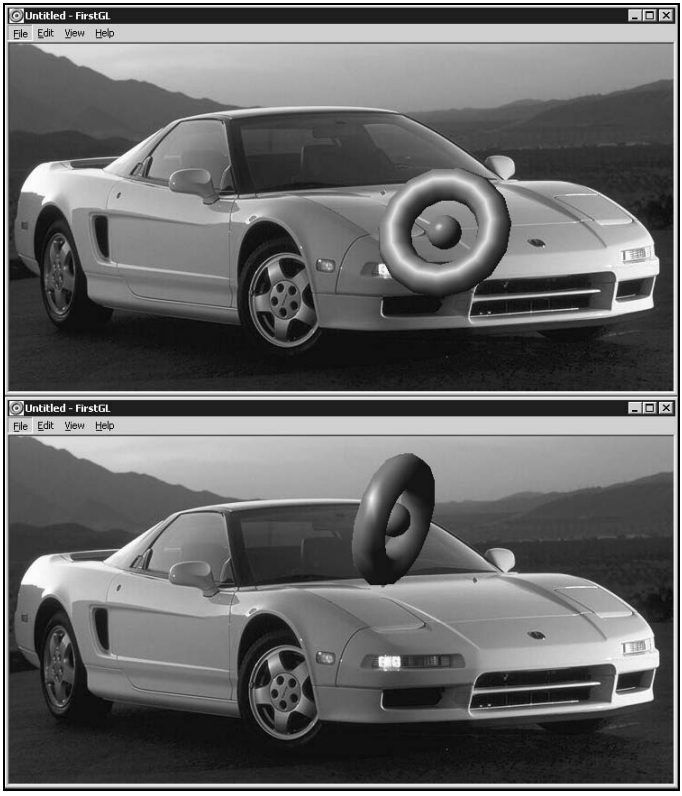


Рис. 12.1. FirstGL в работе

Заключение

Ну вот, и пришла пора сказать что-нибудь на прощание. Мы с вами рассмотрели довольно большой круг задач, связанных с компьютерной графикой: рисовали линии и разные фигуры, выполняли преобразования на плоскости и в пространстве, поработали и с векторными, и с растровыми картинками. Надеюсь, полученные знания будут вам полезны. Я постарался сделать книгу понятной и интересной. Насколько мне это удалось, судить, конечно, вам.

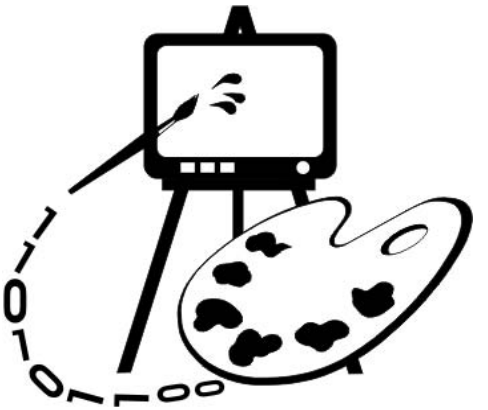
Каким бы долгим ни был пройденный путь, всегда открываются новые горизонты, и становится ясно, как много еще предстоит изучить и понять. В нашем случае в качестве горизонта может выступать, например, освоение работы с библиотеками DirectX и OpenGL. Интересным направлением также является написание модулей plug-in для графических редакторов. В *главе 11* я упомянул о варианте реализации графических фильтров в виде DLL-модулей. Компания Adobe Systems Incorporated построила архитектуру своих приложений таким образом, что их возможности могут динамически наращиваться путем подключения модулей plug-in. О том, как создавать plug-in-модули можно прочитать в документации (Software Developers Toolkit, SDK), которая свободно доступна на сайте **http://www.adobe.com**. Документация содержит подробное описание и примеры программ, изучив которые вы сможете написать свой собственный фильтр, например, к Adobe Photoshop. Другой известный производитель программного обеспечения для работы с графикой и мультимедиа — фирма Ulead Systems также поддерживает "плагинную" идеологию своих продуктов и предлагает разработчикам SDK-документацию (**http://www.ulead.com**).

Желаю вам успехов и соответствовать определению:

"Инженеры! — Творчески одаренные и рационально мыслящие ученые, которые способны выстроить планету в любое время в любом месте[1]".

---

[1] Роберт Шекли "Планета по смете".



Часть V

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение

Описание содержимого компакт-диска

Папка	Описание	Глава
\Sources	Исходные тексты и выполняемые файлы программ-примеров	–
\Sources\Bezier	Программа Bezier для построения сплайновых кривых различных типов	8
\Sources\BMViewer	Программа BMViewer для просмотра и редактирования растровых изображений	11
\Sources\MFCApp	"Минимальная MFC-программа"	2
\Sources\Painter1	Программа Painter1. Реализовано рисование линий	3
\Sources\Painter2	Программа Painter2. Вывод на принтер. Рисование фигур. Установка размеров листа	4
\Sources\Painter3	Программа Painter3. Реализованы функции редактирования, рисования полигонов, преобразования на плоскости	6
\Sources\Painter4	Программа Painter4. Преобразования в трехмерном пространстве. Поверхности и линии уровня	7
\Sources\Painter4.1	Программа Painter4.1. Работа с графическими ресурсами. Добавлена инструментальная панель и возможность заливки фигур растровым шаблоном	9
\Sources\Painter4.2	Программа Painter4.2. Добавлена возможность экспорта изображений в растровый BMP-файл	10
\Pics\Painter	Рисунки, созданные в программах Painter	3–7, 9, 10
\Pics\Samples	Примеры растровых изображений после обработки в программе BMViewer	11
\Sources\FirstGL	Программа FirstGL. Пример использования библиотеки OpenGL	12

Список литературы

1. Абламейко С. В., Лагуновский Д. М. Обработка изображений: технология, методы, применение: Учебное пособие. — Минск: Амалфея, 2000. — 304 с.

   Описаны теоретические основы и методы обработки изображений, преобразование полутоновых изображений, распознавание образов.

2. Аммерал Л. Принципы программирования в машинной графике: Пер. с англ. — М.: Сол Систем, 1992. — 224 с.

   Рассматриваются вопросы аналитической и проективной геометрии и программирования в машинной графике. Алгоритмы доведены до "готовых к работе" программ на языке С. Подробно и доступно излагаются основы компьютерной графики. Изложение проиллюстрировано многими примерами. Немного староват стиль программирования, однако очень полезно почитать с точки зрения эффективного использования языка С. Третья книга серии "Машинная графика на языке Си" из 4-х книг этого автора.

3. Бартеньев О. В. Графика OpenGL: программирование на Фортране. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. — 368 с.

   Рассматриваются возможности графической библиотеки OpenGL. Примеры приводятся на языке Fortran, однако принципы использования OpenGL одинаковы для всех языков, поэтому книга полезна и для программистов, предпочитающих другие языки. В приложении приведен пример программирования с использованием OpenGL на языке С.

4. Биллиг В. А., Мусикаев И. Х. Visual C++ 4. Книга для программистов. — М.: Русская редакция, 1996. — 352 с.

   В книге рассмотрены основы программирования в Microsoft Visual C++. Хорошо подходит для самостоятельного изучения.

5. Линдли К. Практическая обработка изображений на языке Си: Пер. с англ. — М.: Мир, 1996. — 512 с.

   Рассмотрены аппаратные и программные средства вывода изображений на экран. Классические методы и алгоритмы обработки изображений. Приведена программная реализация алгоритмов на языке С.

6. Мюррей Д., ван Райпер У. Энциклопедия форматов графических файлов: Пер. с англ. — Киев: BHV, 1997. — 672 с.

Подробно рассмотрено большое количество форматов графических файлов и методы сжатия. На прилагаемом компакт-диске содержатся программы чтения/записи и преобразования различных форматов, исходные коды, а также интернет-адреса, где можно добыть свежую информацию и программы.

7. Нортон П., Макгрегор Р. Руководство Питера Нортона. Программирование в Windows 95/NT 4 с помощью MFC.: В 2-х книгах. — М.: СК Пресс, 1998. — 1176 с.

Пособие по программированию на C++ в 32-разрядной Windows с использованием MFC. Рассмотрен широкий круг вопросов, начиная с функции WinMain и главного цикла выбора сообщений, графический интерфейс, управление страницами памяти, написание DLL, работа с OLE, сетевые взаимодействия, ActiveX и работа с Web-страницами. Изложение проиллюстрировано интересными примерами. Коды программ содержатся на прилагаемом компакт-диске.

8. Рассохин Д. От Си к Си++. — М.: ЭДЕЛЬ, 1993. — 128 с.

В книге рассматриваются отличия языка C++ от C. Объясняются принципы объектно-ориентированного программирования. Приводится большое число примеров, позволяющих понять особенности ООП.

9. Рихтер Дж. Windows для профессионалов: создание эффективных Win32-приложений с учетом специфики 64-разрядной Windows: Пер. с англ. 4-е изд. — СПб: Питер; М.: Русская редакция, 2001. — 752 с.

Подробно рассматривается использование функций API Windows. Использование виртуальной памяти. Управление процессами и потоками. Разработка DLL-библиотек.

10. Страуструп Б. Дизайн и эволюция C++: Пер. с англ. — М.: ДМК Пресс, 2000. — 448 с.

В книге описан процесс проектирования и разработки языка C++, изложены принципы правильного применения объектно-ориентированного языка программирования.

11. Томпсон Н. Секреты программирования трехмерной графики для Windows 95: Пер. с англ. — СПб.: Питер, 1997. — 325 с.

Рассматривается использование библиотеки DirectX для программирования трехмерной графики.

12. Шилдт Г. MFC: основы программирования: Пер. с англ. — Киев: BHV, 1997. — 560 с.

В книге подробно рассматривается использование MFC.

13. Шикин Е. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения. — М.: Диалог-МИФИ, 1995. — 288 с.

В книге изложены основные понятия и методы компьютерной графики: растровые алгоритмы, алгоритмы построения геометрических сплайнов, методы удаления скрытых линий и поверхностей, закрашивание, трассировка лучей, реализация алгоритмов на языке С.

14. Шикин Е. В., Плис А. И. Кривые и поверхности на экране компьютера: Руководство по сплайнам для пользователей. — М.: Диалог-МИФИ, 1996. — 240 с.

В книге описаны одномерные кубические и двумерные бикубические интерполяционные и сглаживающие сплайны. Приведены примеры их программной реализации.

15. Шлихт Г. Ю. Цифровая обработка цветных изображений. — М.: ЭКОМ, 1997. — 336 с.

Книга знакомит с основами теории цвета и ее применением в полиграфии, принципами работы сканеров, мониторов и принтеров, описывает работу с графическими и мультимедиа-приложениями. Подробно описаны операции обработки растровых изображений, математические основы цифровой фильтрации.

16. Эйткен П., Джерол С. Visual C++ для мультимедиа. — Киев: КОМИЗДАТ, 1996. — 384 с.

Рассматривается практическое применение Visual C++ для создания мультимедийных приложений, поддерживающих гипертекст, вывод графических файлов, анимацию, воспроизведение видео- и аудиофайлов.

17. Энджел Э. Интерактивная компьютерная графика: Вводный курс на базе OpenGL: Пер. с англ. 2-е изд. — М.: Вильямс, 2001. — 592 с.

Рассматриваются математические принципы построения трехмерных объектов и методика программирования с использованием OpenGL. Обсуждаются современные тенденции создания интерактивных графических систем типа "клиент/сервер" и методика разработки графических программ. Рассматривается применение графических средств при визуализации результатов научных расчетов.

Интернет-ресурсы

1. **http://msdn.microsoft.com**

Сайт Microsoft содержит массу технической документации, программных кодов примеров, статей.

2. **http://www.codeguru.com**

   Сайт посвящен программированию для Windows, содержит большое количество примеров программ на различных языках. Среди прочего есть и раздел компьютерной графики.

3. **http://opengl.org.ru**

   Сайт посвящен программированию графики с использованием библиотеки OpenGL. На сайте можно найти много полезной информации по этому вопросу, в частности, электронную версию книги Игоря Тарасова "Введение в OpenGL". Книга позволяет изучить основы использования библиотеки OpenGL. Также на сайте (в разделе "Links") содержатся ссылки на другие интернет-ресурсы, посвященные вопросам компьютерной графики.

4. **http://www.enlight.ru**

   Сайт посвящен разработке мультимедийных проектов, как его характеризуют авторы, "объемный проект, содержащий различную информацию по демомейкингу, его истории и терминологии, программированию видео- и аудиоэффектов, математике, компьютерной графике, звуку, по программированию 3D-графики".

Предметный указатель

3

3D
  controls 39

A

AddFunction 48
AddShape 97
Application Programming Interface (API) 25
AppWizard 26, 35

B

BitBlt 297
Bitmap 10, 255
  Device Dependent 269
  Devise Independent 269
BITMAPFILEHEADER 270
BITMAPINFO 272
BITMAPINFOHEADER 271, 343
Bitmaps 64
BlurMatrix 336

C

C3DPolygon 196
C3DShape 197
CBasePoint 84, 257
CBitmap 64, 256
CBlur 335
CBrightCont 326
CBrush 64, 84
CContour 337
CDC 64
CDialogBar 257
CDocument 47, 59, 60
CDotFilter 315
CEmboss 333
CFilter 314
CFont 64
CFrameWnd 29
CImageList 259
CInvertColors 332
ClassView 42, 43
ClassWizard 26, 48
CMatrixFilter 316
CObject 84
CObList 94
COLORREF 84
CPagePropertyDlg 78
CPainterDoc 47
CPainterView 47
CPen 64, 84
CPoint 45, 84
CPolygon 122
CRaster 285, 373
Create 259
CreateWindow 24
CRgn 119
CScrollView 66
CSharp 339
CSquare 91
CTypedPtrList 94
CView 47, 59, 60
CWinApp 29, 247

D

DECLARE_SERIAL 86
Device Context (DC) 63
Digital Video Disk (DVD) 9
DirectX 372
DispatchMessage 24
Display 381
Document-View 36, 59
Dot per inch (DPI) 66
Dpi 343
DPtoLP 72
Dynamic Link Libraries (DLL) 25

E

Edit Box 75
Ellipse 65

F

FileView 41
Fonts 64

G

GetClassLong 251
GetDeviceCaps 66, 343
GetDIBits() 281
GetDocument 61
GetHistogham 304
GetMessage 24
GetRegion 86
GlEnable 374
Graphic Device Interface (GDI) 25
Graphic Device Interface (GDI) 63

H

HGLRC 375
Hotspot 250

I

IMPLEMENT_SERIAL 86
Initial status bar 39
Invalidate 61

L

LIFO 295
LineTo 64
LoadBitmap 256
LoadCursor 251
LoadIcon 247
LoadImage 247, 264

M

Mailslot 19
Menu 80
Message Maps 48
Messages 48
Microsoft Developer Network (MSDN) 26
Microsoft Foundation Class Library (MFC) 25, 29
Microsoft Visual C++ 25
MM_TEXT 341
Multiple Document Interface (MDI) 59

O

OnCreate 378
OnDraw 50, 61, 98
OnIdle 383
OnInitialUpdate 69
OnLButtonDown 49, 72, 96
OnMouseMove 246
OnNewDocument 52
OnPrepareDC 73
OnPrint 341
OnUpdate 69
OpenGL 369

P

Perspective 196
Picture 305
POINT 45
POINT3D 196
PolyBezier 229
Printing and print preview 39

R

Rectangle 64
Regions 64
ResourceView 42
RGBQUAD 272

S

SaveBitmapToBMPFile 275
SelectObject 64
Serialize 51, 86, 101, 145, 198, 200
SetBrush 86
SetClassLong 253
SetCursor 252
SetPen 86
SetScrollSizes 67
SetStretchBltMode 294
Show 86
Single Document Interface (SDI) 59
Slider 305
Spin 75
Static 305
Static Text 78
StretchDIBits 294

T

Toolbar 248
  docking 39
  normal 39
TransformPix 315, 334, 339
TranslateAccelerator 24
TranslateMessage 24

U

UpdateAllViews 61

V

VERSIONABLE_SCHEMA 90

W

Win16 17
Win32 17
Windows:
  концепции 17
  сообщение 31
  структура приложения 20
WinMain 20, 29
WM_CREATE 251
WM_DESTROY 380
WM_HSCROLL 321
WM_NOTIFY 259
WM_PAINT 307
WM_SETCURSOR 252
WM_SIZE 379
WNDCLASS 251
Workspace 41, 244
WS_CHILD 258
WS_VISIBLE 258

Битовая глубина 10

A

Алгоритм:
  z-буфера 193, 373
  Варнака 194
  отсечения нелицевых граней 192
  построчного сканирования 195
  Робертса 192
Аппроксимация 222

Б

Базовые точки 222

B

Вектор 105
  векторное произведение 108
  скалярное произведение 107
Видео:
  цифровое 9
Визуализация 219
Виртуальная реальность 9
Виртуальный экран 297
Вытесняющая многозадачность 17

Г

Генератор:
  классов 48
  приложений 35

Д

Данные:
  векторные 9
  визуализация 7
  растровые 9, 270
  сжатие 12
  типы 20
Детерминант 109
Документ 60

Е

Единицы:
  логические 68
  физические 68

З

Заголовок:
  растра 270
  файла 270

И

Изображение:
  truecolor 14
  битовое 64
  буфер 344
  гистограмма яркости 303
  контраст 319
  монохромное 14
  яркость 325
Интерполяция 222
  линейная 222
Интерфейс:
  MDI 284
  SDI 284

К

Карта сообщений 32, 48
Кисть 64
Класс 27
  базовый 27
  документа 59
  методы 27
  облика 59
  переменные 27
  приложения 63
  производный 27
  члены 27
Контекст устройства 63
Кривая:
  Catmull-Rom 226
  Безье 227, 370
  Бета-сплайновая 227
  геометрически непрерывная 225
  сегмент 225
  составная 223
  сплайновая 224
Курсор 248

Л

Линейная комбинация 110
Линия уровня 210

М

Макрокоманда 32
Матрица преобразования 186
  инвертированная 187
Меню 94
Метод:
  виртуальный 27
  переопределение 27
  член класса 27
Моделирование геометрическое 8

О

Облик 60
Объект 27
Объектно-ориентированное
  программирование (ООП) 27

П

Панель инструментов 248
Перо 64
Пиксел 9
Пикселы:
  логические 13
  физические 13
Пиктограмма 244
Поверхность 205, 370
Поле 11
Полигон 122
Полином 222
Поток 11, 18
  синхронизация 18
Правило Крамера 109
Преобразование на плоскости:
  перенос 113
  поворот 113
Преобразования в трехмерном пространстве:
  перенос 185
  перспектива 191
  поворот 186
Преобразования растровых данных:
  геометрические 303
  покадровые 303
  пространственные 301
  точечные 301
Приложения:
  многодокументные 59
  однодокументные 59
Проекция:
  параллельная 188, 190
  перспективная 188
Пространство:
  виртуальное адресное 18
  рабочее 41
Процесс 18

Р

Разрешающая способность 66
Распознавание образов 8
Растр 9
Растровое изображение 255
Растровые изображения 243
Реакция на нажатие клавиш 135
  Ctrl 137
  Insert 136
  Shift 137
Регион 64
Режим отображения 67
Ресурсы 243

С

Сегмент 211
Сжатие:
  без потерь 12
  логическое 12
  с потерями 12
  физическое 12
Синхронизация:
  критические секции 18
  семафоры 18
  события 18
Система координат:
  видовая 188
  мировая 187
  однородная 111
  правая 108
Сообщение:
  WM_LBUTTONDOWN 48
Сплайн 221
Страничная организация памяти 19

Т

Таблица акселераторов 135
Таблица преобразования 313
Тег 11
Точка:
  базовая 9
Транспонирование 110
Триангуляция 192, 210

Ф

Файл:
BMP 266
проецируемый 19
Фильтр 310
базовый класс 314
Гистограмма 319
Инверсия цветов 332
Контур 337
пространственный 316
Размытие 335
Рельеф 333
точечный 315
Четкость 338
Яркость/Контраст 326
Формат:
BMP 11, 52, 269
CDR 11, 52
GIF 11
JPEG 11
PCX 11
TIFF 11
PR2 101
PT1 52
векторный 11
графический 9
метафайловый 11
растровый 11
Функция:
виртуальная 83
обработчик сообщения 32
обратного вызова 24
окна 21
полиморфная 28

Ц

Цвет:
аддитивная модель 15
глубина 10
инверсия 120, 130, 313
палитра 14
пространство 15
субтрактивная модель 15
формат RGB101010 274
формат RGB555 273
формат RGB565 274
формат RGB888 273, 296

Ш

Шрифт 64

Э

Экстраполяция 222