Н. А. Литвиненко

Технология программирования на C++

Начальный курс

- **Основы программирования на C++** – описание синтаксиса языка C, рассмотрение приемов и методов программирования в стиле классического C
- **Классы** – введение понятия класса, рассмотрение шаблонных классов, вопросов наследования и построения сложных классов
- **Потоковый ввод/вывод** – организация современного подхода к организации ввода/вывода при помощи потоковых классов
- **Стандартная библиотека шаблонов STL** – описание стандартной библиотеки и многочисленные примеры ее использования
- **Организация оконного интерфейса** – структура Windows-программы, методы обработки стандартных сообщений. Программирование с использованием API-функций

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

bhv

Н. А. Литвиненко

Технология программирования на C++

Начальный курс

Допущено УМО вузов по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 654600
«Информатика и вычислительная техника»

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2005

УДК 681.3.068+800.92C++(075.8)
ББК 32.973.26-018.1я73
Л64

Литвиненко Н. А.

Л64 Технология программирования на C++. Начальный курс. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 288 с.: ил.

ISBN 5-94157-655-2

Рассмотрены основы программирования на C++, начиная с описания синтаксиса языка C, приемов и методов программирования в стиле классического C до введения понятий классов, шаблонов классов и вопросов наследования. Уделено особое внимание использованию стандартной библиотеки шаблонов STL. Представлен современный подход к организации ввода/вывода при помощи потоковых классов. Рассматривается техника создания простейших Windows-приложений с использованием API-функций. Материал иллюстрируется многочисленными примерами.

Для студентов и преподавателей технических вузов и самообразования

УДК 681.3.068+800.92C++(075.8)
ББК 32.973.26-018.1я73

Группа подготовки издания:

Главный редактор	*Екатерина Кондукова*
Зам. главного редактора	*Игорь Шишигин*
Зав. редакцией	*Григорий Добин*
Редактор	*Дарья Масленникова*
Компьютерная верстка	*Ольги Сергиенко*
Корректор	*Зинаида Дмитриева*
Дизайн обложки	*Игоря Цырульникова*
Зав. производством	*Николай Тверских*

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 22.04.05.
Формат $70\times100^{1}/_{16}$. Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,22.
Тираж 3000 экз. Заказ №
"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию
№ 77.99.02.953.Д.006421.11.04 от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП "Типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 5-94157-655-2

© Литвиненко Н. А., 2005
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2005

Оглавление

Введение

Основной причиной, побудившей автора взяться за написание данной книги, послужило желание создать учебник для студентов, изучающих дисциплины "Технология программирования" и "Объектно-ориентированное программирование". Несмотря на обилие различной литературы по языку программирования C++, сложно порекомендовать какую-то одну книгу в качестве подобного учебника. Из недавно изданных можно отметить учебник и практикум Павловской [3, 4] — серьезные издания со строгим изложением материала, хорошо подходящие в качестве справочных пособий. Однако для первоначального изучения языка требуется менее формализованный подход, который автор и попытался реализовать в данном учебном пособии, построенном на основе курса лекций, читаемых студентам специальностей "Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем" и "Информационные системы и технологии". В качестве дополнительной литературы можно рекомендовать очень неплохое издание Р. Лафоре [2] из серии "Классика Computer Science". Книга отличается хорошим стилем изложения, но приведенные в ней примеры не всегда удачны.

При построении курса возникает вопрос о его структуре и содержании. Язык программирования C++ является языком объектно-ориентированного программирования (ООП). Существует несколько подходов к изучению данного языка. Иногда начинают с классического C и лишь после этого переходят к расширению языка C++, собственно классам и ООП. В последнее время многие авторы сразу начинают изложение с введения классов, однако автор данной книги не считает это правильным, выбирая гибридный подход к изложению материала — расширения языка включены с самого начала описания, а переход к классам осуществлен лишь после того, как детально разобран процедурный подход к программированию.

Правда, и здесь трудно удержаться и не воспользоваться возможностями потокового ввода/вывода. Этот современный подход используется в данной книге сразу, а соответствующие функции классического C не рассмотрены.

В первых главах книги не рассмотрены также и графические построения, поскольку в современных операционных системах графика тесно связана с оконным интерфейсом, чему у нас посвящена отдельная, последняя глава. В ней собраны простейшие графические функции и приведены примеры их использования.

Книга состоит из пяти глав.

Глава 1. "Основы программирования на C++" — описание синтаксиса языка C, рассмотрение приемов и методов программирования в стиле классического C.

Глава 2. "Классы" — вводится понятие класса, рассматриваются шаблонные классы, вопросы наследования и построения сложных классов. Приводятся многочисленные примеры.

Глава 3. "Потоки" — рассматривается современный подход к организации ввода/вывода при помощи потоковых классов.

Глава 4. "Стандартная библиотека шаблонов STL" — описание стандартной библиотеки. На многочисленных примерах рассмотрено использование STL.

Глава 5. "Организация оконного интерфейса" — рассматривается структура скелета Windows-программы, методы обработки стандартных сообщений. Приведены многочисленные примеры вывода текста и простейшей графики. Программирование основано на непосредственном использовании API-функций.

Сразу оговоримся для будущих критиков, что данная книга ни в коей мере не претендует ни на полноту, ни на строгость, все это принесено в жертву ясности изложения. Некоторые вопросы рассматриваются поверхностно, некоторые вообще опущены. Это лишь вводный курс, цель которого — изучение синтаксиса языка C++ и основных методов программирования. В книге достаточно поверхностно рассмотрено создание Win32-приложений — лишь на том уровне, чтобы у читателя сложилось представление о структуре стандартной Windows-программы и принципах ее функционирования.

В заключение отметим, что все примеры, рассмотренные в книге, являются фрагментами работающих программ, а тексты некоторых программ приведены полностью в листингах. Все программы тестировались в MS Visual C++ 6.0 под управлением операционной системы Windows XP.

ГЛАВА 1

Основы программирования на C++

Часто формализм языка рассматривается безотносительно конкретной реализации. И все же читателю будет предложено использовать в качестве основного инструмента для построения программ консольное приложение среды MS Visual C++ 6.0 (Win32 Console Application), ориентируясь на приведенные далее примеры, реализованные в этой среде программирования. Язык программирования в классическом стиле, рассмотренный в данной главе, будет дополнен лишь элементами расширения, принципиально не меняющими его сути. Однако для организации ввода/вывода воспользуемся подходом C++, применив потоковые классы, подробнее о которых будет рассказано далее, в *главе 3*.

Структура классической C-программы

#*Директивы препроцессора*	Объявление файлов включения
Объявление функций	Описание прототипов функций
Описание глобальных переменных и констант	

`main` (*параметры*) // *заголовок программы*
{
Описание локальных переменных и констант
Операторы
}
	Головная функция

Описание функций	

В основу любого компилятора для языка C и C++ заложена однопроходовая схема, т. е. процесс построения программы осуществляется за один проход по тексту. Таким образом, все имена переменных и констант программы должны быть объявлены до их первого использования.

Препроцессор

Для создания дополнительного сервиса, а также улучшения переносимости программ, в C++ реализован так называемый *препроцессор*, который выполняет набор инструкций перед началом компиляции программы. Все директивы препроцессора начинаются с символа #.

#include

Директива включения файла. Обычно используется для вызова так называемых файлов включений, содержащих *прототипы* (т. е. описания) библиотечных функций. Также позволяет включить часть текста программы, записанного в другой файл. По сути дела, как в текстовом редакторе, объединяются два файла.

Формат директивы:

```
#include <имя файла включения>
```

Здесь угловые скобки < > являются частью конструкции и указывают на то, что файл ищется в каталоге файлов включения, прописанном в среде программирования.

Формат директивы:

```
#include "имя файла включения"
```

Двойные кавычки " " означают, что поиск файла включения осуществляется в том же каталоге, в котором открыт исходный файл.

```
#include <stdlib.h>   // Включение стандартной библиотеки
#include "meny.h"     // Включение файла meny.h
```

#define

Определение символического обозначения. Устаревшая конструкция, вместо нее более целесообразно определять константные переменные, но об этом чуть позже.

Формат директивы:

```
#define ИМЯ ЗНАЧЕНИЕ
```

В результате действия директивы все символические обозначения ИМЯ в тексте программы заменятся на ЗНАЧЕНИЕ перед началом компиляции. Исключе-

ние составляют текстовые константы, заключенные в двойные кавычки "...", внутри которых подстановки не производятся. Опять же, проводя аналогию с текстовым редактором, это просто операция *"поиск и замена"*, например:

```
#define PI 3.14159
```

Перед компиляцией все переменные `PI` будут заменены их значением `3.14159`.

Примечание

Компилятор языка C++ различает строчные и прописные буквы, поэтому для выделения в тексте программы символических констант их принято писать заглавными буквами.

Некоторые другие директивы мы рассмотрим по мере надобности, но на данном этапе главная директива препроцессора, с которой будут начинаться все наши программы, — это директива включения `#include`.

Создание простой программы

C-программа имеет ярко выраженный модульный характер. Ее головная функция состоит из множества обращений к функциям, выполняющим те или иные действия, и отличается от прочих только тем, что имеет фиксированное имя `main`.

Листинг 1.1. Простейшая C-программа

```
#include <iostream.h>                // Включение библиотеки
main()
{ int i;                             /* Описание целой переменной*/
       for (i = 0; i < 10; i++)      // Оператор цикла
              cout << i << endl;     // Вывод числа
}
```

Здесь после двойного слэша `//` помещен комментарий, который занимает остаток строки и игнорируется компилятором. Можно также располагать комментарий между парами ограничителей `/*...*/`, в этом случае он может и не ограничиваться одной строкой.

Не вдаваясь пока в детали, прокомментируем приведенный текст программы:

1. Первая строка — подключение файла `iostream.h`, расположенного в стандартном каталоге `include` среды разработки (на это указывают угловые скобки `< >`), который должен быть в ней прописан, что обычно происходит при инсталляции компилятора. Этот файл необходим для того, чтобы

можно было воспользоваться оператором потокового вывода `cout <<`. Вообще-то `cout` — это экземпляр класса `ostream`, но пока не будем углубляться, отметим только, что это работает.

2. `main()` — имя головной функции. Именно ей, согласно стандарту языка, передается управление при запуске программы. В С-программе должна обязательно присутствовать функция `main()`.
3. Тело функции располагается между открывающей и закрывающей скобками `{ }`. Надо иметь в виду, что компилятор очень скрупулезно подсчитывает, сколько скобок открыто и сколько закрыто — если скобку забыли закрыть, он выдает сообщение об ошибке.
4. `int i;` — описываем переменную для хранения целого числа.
5. `for (i = 0; i < 10; i++)` — оператор цикла, обеспечивает выполнение оператора вывода на консоль 10 раз, изменяя значение переменной `i` от 0 до 9.
6. `cout << i << endl;` — вывод числа на экран монитора (консоль вывода), после чего производится переход в начало следующей строки `endl` *(end of line)*. Читаем `cout` как *console output*. Как видно из примера, оператор `cout <<` можно применять агрегатно и выводить сразу несколько значений, а тип выводимого значения оператор определит сам.

Для выполнения рассмотренного примера откроем среду программирования MS Visual C++ 6.0, запустив головной модуль msdev.exe. Пока будем работать с консольными приложениями.

1. Выполнив команду меню **File | New**, выберем **Win32 Console Application** в окне создания проекта New, открытом на вкладке **Projects** (рис. 1.1).
2. В поле **Location** введем вручную (либо воспользуемся поиском по кнопке **...**) имя рабочей папки. Например, `C:\WORK`.
3. В поле **Project name** введем имя нашего будущего проекта — `example1`, после чего нажмем кнопку **OK**.
4. Появляется диалоговое окно, приведенное на рис. 1.2, в котором мы оставим настройку по умолчанию — **An empty project** (Пустой проект).
5. Получаем диалоговое окно **New Project Information**. Писать программу пока негде, на данном этапе лишь создана папка для нового проекта `C:\WORK\example1`.
6. Выполнив команду меню **File | New**, выберем на вкладке **Files** пункт **C++ Source File** (рис. 1.3) и в поле **File name** введем имя файла, например `main`. (Проверьте, что перед полем **Add to project** выставлен флаг, иначе потом придется "вручную" добавлять файл к проекту.)

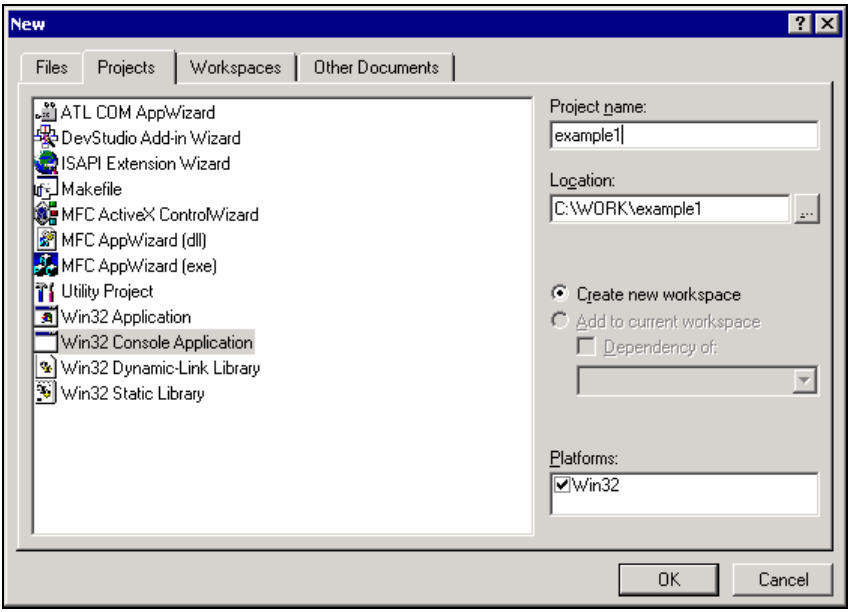

Рис. 1.1. Окно создания проекта

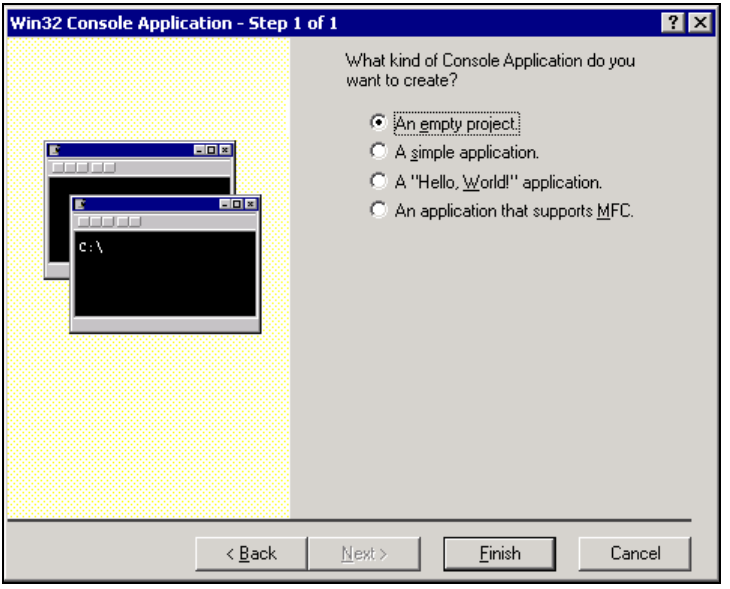

Рис. 1.2. Создание проекта Win32 Console Application. Шаг 1

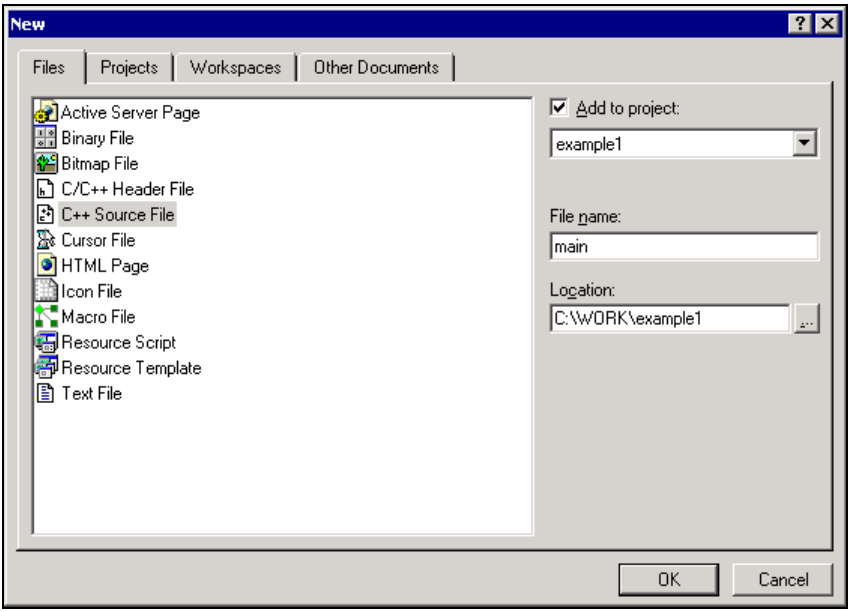

Рис. 1.3. Добавление файла к проекту

7. Введем текст программы и запустим на выполнение нажатием кнопки **!**. Это единственная кнопка со значком красного цвета. Получим результат, приведенный на рис. 1.4.

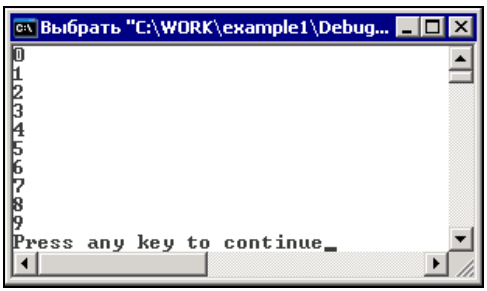

Рис. 1.4. Результат выполнения программы

Набирая текст этой программы, сложно допустить ошибку, но если это все-таки произошло, перейдите в окно вывода **Output** на вкладку **Build** и установите указатель на сообщение об ошибке. После двойного щелчка на нем компилятор отметит строку с ошибкой. Исправьте ошибку и повторите процедуру запуска программы. Если у вас есть навыки работы в текстовых редакторах, то ввод и редактирование текста программы не должны вызывать никаких проблем. Однако, поскольку это все-таки специализированный ре-

дактор, он имеет некоторые дополнительные возможности. Например, если в тексте программы установить курсор рядом со скобкой либо выделить ее, можно использовать одну из следующих полезных команд: поиск парной скобки и выделение блока текста, заключенного в скобки.

Полный список команд редактора можно посмотреть, выполнив команду меню **Help | Keyboard Map**.

Типы данных. Описание переменных

Вначале рассмотрим подробнее, как хранятся переменные различных типов в памяти. Адресуемая единица памяти, *байт*, состоит из 8 разрядов *(бит)*, куда и записывается число в двоичном коде, например:

$00010101 = 2^4 + 2^2 + 2^0 = 16 + 4 + 1 = 21$.

Примечание

Двоичная система счисления — позиционная система с основанием 2.

Правила двоичной арифметики очень просты (табл. 1.1).

Таблица 1.1. *Двоичная арифметика*

`0 + 0 = 0`	`0 * 0 = 0`
`0 + 1 = 1`	`0 * 1 = 0`
`1 + 1 = 10`	`1 * 1 = 1`

В один байт может быть записан код от 0 до 255 (2^8–1).

Таблица 1.2. *Перевод двоичных чисел в восьми-, десяти- и шестнадцатеричное представление*

2	16	8	10	2	16	8	10
0000	0	0	0	1000	8	10	8
0001	1	1	1	1001	9	11	9
0010	2	2	2	1010	A	12	10
0011	3	3	3	1011	B	13	11
0100	4	4	4	1100	C	14	12
0101	5	5	5	1101	D	15	13
0110	6	6	6	1110	E	16	14
0111	7	7	7	1111	F	17	15

Пользуясь табл. 1.2, можно очень просто представить двоичное число в виде его шестнадцатеричного аналога. На самом деле, числа записывают в двоичной форме очень редко, поскольку тогда они занимают много разрядов. Обычно двоичное число записывают более компактно, используя шестнадцатеричную форму записи, пример которой приведен на рис. 1.5.

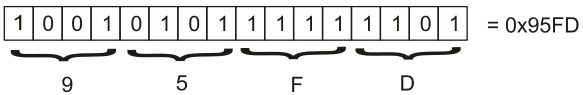

Рис. 1.5. Преобразование двоичного числа в шестнадцатеричное представление

Нетрудно было разбить это число на тетрады и записать, сверившись с таблицей кодов, результат. Обратное преобразование также не вызывает сложности, достаточно вместо каждой шестнадцатеричной цифры записать соответствующую двоичную тетраду.

Размер выделенной памяти под переменные различных типов и диапазон их изменения приведен в табл. 1.3—1.4.

Таблица 1.3. *Размер типа данных Visual C++*

Тип	Размер в битах	Диапазон
`bool`	8	true, false
`char`	8	–128 .. 127
`short`	16	–32768 .. 32767
`int, long`	32	–2147483648 .. 2147483647
`float`	32	3.4E-38 .. 3.4E+38
`double`	64	1.7E-308 .. 1.7E+308
`long double`	80	3.4E-4932 .. 1.1E+4932

Примечание

- Тип `bool` отсутствовал в классическом C и появился лишь в C++.
- Для 32-битных приложений тип `int` совпадает с `long` (полная запись `long int`).
- Целые типы данных могут иметь модификатор `unsigned` (беззнаковый). Диапазон таких переменных отсчитывается от 0.

Таблица 1.4. *Размер целых беззнаковых типов*

Тип	Размер в битах	Диапазон
`unsigned char`	8	0 .. 255
`unsigned short`	16	0 .. 65535
`unsigned int, long`	32	0 .. 4294967295

Рассмотрим подробнее, как в памяти представлена переменная типа `short`. Например, константа 1 в двоичном представлении имеет вид:

```
0000 0000 0000 0001.
```

Чтобы получить число 2, нужно прибавить к 1 еще 1 и т. д., в результате получаются все целые числа.

```
    + 0000 0000 0000 0001
      0000 0000 0000 0001
    = 0000 0000 0000 0010
```

Отрицательные числа для процессора 80×86 представлены в дополнительном коде и образуются инверсией числа с добавлением 1 (при инвертировании кода 1 заменяется на 0, а 0 на 1), например –1 получается по следующей схеме:

```
    + 1111 1111 1111 1110        + ~1
      0000 0000 0000 0001          1
    = 1111 1111 1111 1111        = -1
```

Такой способ образования отрицательных чисел позволяет свести операцию вычитания к операции сложения с отрицательным числом. Таким образом, операция вычитания является излишней для системы команд процессора и может быть исключена. Пример: 1 – 1 = 1 + (–1) = 0.

```
    + 0000 0000 0000 0001
      1111 1111 1111 1111
    =  0000  0000  0000  0000
```

C++ относится к таким языкам программирования, в которых все переменные, используемые программой, должны быть предварительно описаны. В описании переменной задается ее класс памяти и тип для того, чтобы транслятор выделил нужное количество памяти и в нужном разделе. Для обозначения переменной служит имя — символическое обозначение переменной. Начинается имя с буквы или символа подчеркивания "_", может содер-

жать буквы латинского алфавита, цифры и знак подчеркивания. Длина имени может быть произвольной, но распознается по первым 32 символам (это зависит от настроек компилятора). Строчные и прописные буквы различаются компилятором как разные буквы.

Переменные могут быть описаны в любом месте текста программы, но обязательно до их использования. Имена переменных в операторах описания отделяются запятыми. Пример:

```
int i,j,k;
```

Возможна инициализация переменных при описании, например:

```
int i = 0;
```

Переменные целого типа: *bool*, *char*, *short*, *int*, *long*

При описании переменной целого типа необходимо учитывать диапазон ее изменения. Если переменная может принимать одно из двух значений (`true`, `false`), используется тип `bool`. Если же необходим больший диапазон выбора значений, можно использовать переменную одного из следующих типов: `char` (от –127 до +127), `short` (от –32 768 до +32 767) или `int` (от –2 147 483 648 до +2 147 483 647). Тип `long` совпадает с типом `int`. Однако для переменных целого типа необходимо иметь в виду, что при выполнении арифметических операций процессор разворачивает число до длины машинного слова (для 32-битных приложений удвоенное машинное слово — 4 байта), т. е. никакой экономии в скорости выполнения операций не достигается при использовании типа меньшей размерности, так что выбор типа данных определяется лишь экономией памяти при хранении данных.

Если заведомо известно, что переменная принимает только положительные значения, целесообразно использовать модификатор `unsigned`, который обеспечит дополнительный контроль со стороны компилятора на присваивание отрицательного значения и увеличит вдвое диапазон положительных чисел.

enum — перечисляемый тип

Перечисляемый тип используется, как правило, для описания символических констант. Переменным, перечисленным в списке `enum`, присваиваются последовательно целые значения, начиная с 0. Пример:

```
enum { BLACK, BLUE };
```

Здесь описан неименованный объект перечисляемого типа, в котором определены две символические константы: `BLACK = 0` и `BLUE = 1`.

Можно, однако, описать переменную и присваивать значение в списке `enum` явно, например:

```
enum io_state { goodbit = 0x00,
                eofbit  = 0x01,
                failbit = 0x02,
                badbit  = 0x04 };
```

В данном контексте переменная `io_state` может принимать только значения, указанные в перечислении.

Переменные с плавающей точкой: *float, double, long double*

Внутреннее представление переменных с плавающей точкой более сложно. Число представляется в виде: $0.m*2^p$, где первый сомножитель *(мантисса)* лежит в диапазоне от 0.5 до 1, а порядок `p`, чтобы не вводить знаковый разряд, записывается с дополнением.

Основные типы переменных с плавающей точкой

1. `float` занимает 4-байтную область памяти, которая делится на три поля:
   - Знаковый разряд — 1 бит.
   - Порядок с дополнением +127 — 8 бит.
   - Мантисса — 23 бита.

1	8	23
знак	порядок+127	мантисса

Так, например, число $0{,}75*2^2$ может быть представлено в виде:

знак + = 0, порядок p = 127+2=129, мантисса m = 0.75= ½ + ¼.

На самом деле ситуация еще интересней. Если мантисса больше 0.5, то первый разряд мантиссы будет всегда заполнен, а если это так, то нет никакого смысла хранить этот разряд в памяти. Так и происходит, первый разряд мантиссы при записи числа исключается, а перед операцией процессор автоматически добавляет этот разряд (½ не отображается).

0	10000001	10000000000000000000000

Примечание

С этим связано разночтение у некоторых авторов. Иногда пишут, что мантисса лежит в диапазоне от 0 до 0.5.

2. `double` занимает 8-байтную область, которая также делится на три поля.
   - Знаковый разряд — 1 бит.
   - Порядок с дополнением +1023 — 11 бит.
   - Мантисса — 52 бита.

1	11	52
знак	порядок+1023	мантисса

   Особенность типа `double` заключается лишь в увеличении диапазона для порядка до 11 разрядов и 52 разряда под мантиссу, что позволяет увеличить точность записи числа. Так, если для типа `float` числа записываются с точностью до 5—6 значащих цифр, то для `double` — с точностью до 15—16 значащих цифр.

3. `long double` имеет расширенный диапазон `3.4e-4932 .. 1.1e+4932` и занимает 10-байтную область. Этот тип используется редко.

   Своеобразие арифметики с плавающей точкой в языке C++ заключается в том, что для повышения точности вычислений компилятор для переменных типа `float` автоматически ставит преобразование в `double` перед операцией, а результат приводит вновь к типу `float`. Таким образом, использование типа `float` оправдано лишь экономией памяти при хранении данных, но приводит к "буйному" преобразованию типов, что вряд ли следует приветствовать. Поэтому мы в большинстве случаев будем использовать тип `double` для данных с плавающей точкой.

Целые константы

Целые константы могут быть записаны в десятичном, восьмеричном и шестнадцатеричном представлении. Отличительным признаком восьмеричной константы является первый символ "0", а шестнадцатеричной — "0x".

Пример:

- 2, 5, –18 — десятичные константы;
- 076, –0237 — восьмеричные константы;
- 0xf1, 0x4ea3 — шестнадцатеричные константы.

Знак "-" перед константой рассматривается как унарная операция "минус".

Примечание

Унарная операция имеет 1 операнд, а бинарная, соответственно, два.

По умолчанию целые константы конструируются компилятором типа `int`. Суффикс `u (U)` определяет модификацию типа `unsigned`, а `l (L)` — `long`.

Пример:

```
129u, 0xf0e1u;
2l, 0xffl;
```

Константы с плавающей точкой

Если константа содержит десятичную точку "`.`" или символ экспоненты "`e`", то она рассматривается как *константа с плавающей точкой* типа `double`. Константа типа `float` может быть получена добавлением суффикса `f`.

Пример:

```
1.2e-2, .85, 10., 1e-6f;
```

Константа `1.2e-2` интерпретируется как $1.2*10^{-2}$.

Символьные константы

Символьные константы состоят из символа, заключенного в одинарные кавычки, например: `'a'`, `'b'`, `'0'`. Константа является целым числом, равным коду символа. Допускается использование четырехсимвольных констант, таких как `'abcd'`, которые занимают удвоенное машинное слово (4 байта), при этом первый символ находится в младшем байте, а второй — в старшем и т. д.

Примечание

Зависит от размера типа `int`, в Turbo C допускаются 2-символьные константы.

Для ввода специальных символов в C++ зарезервированы управляющие символьные константы, перечисленные в табл. 1.5.

Таблица 1.5. *Управляющие символьные константы*

`\a`	Звуковой сигнал
`\b`	Возврат курсора на одну позицию
`\f`	Перевод страницы
`\n`	Перевод строки

Таблица 1.5 *(окончание)*

\a	Звуковой сигнал
\r	Возврат каретки
\t	Табуляция
\v	Вертикальная табуляция
\\	Обратный слэш
\'	Одинарная кавычка
\"	Двойная кавычка
\?	Знак вопроса
\bbb	Любой символ, где bbb — восьмеричное число
\xhh	Любой символ, где hh — шестнадцатеричное число

Строковые константы

Любая последовательность символов, заключенная в двойные кавычки, например `"текст"`, рассматривается как *текстовая (строковая) константа*. В C++ принято считать признаком конца текста символ `'\0'`, который добавляется автоматически. Таким образом, любая текстовая константа занимает в памяти на 1 байт больше количества символов. В C++ также предусмотрена неявная конкатенация, т. е. "склеивание" строк.

Так, для константы:

```
"строка 1" "строка 2";
```

компилятор построит следующую строку:

```
"строка 1строка 2".
```

Для переноса длинной строковой константы в тексте программы необходимо завершить переносимую строку символом "\".

Пример 1.

```
"Очень длинный текст, который хотелось бы \
         разместить в одной строке"
```

Пример 2.

```
#include <iostream.h>
main()
{
   int i, j = 6, k = -1;
   char h = '0', ch;
```

```
   double pi = 3.14;
   i = j + k;
   cout << "int i=j+k: " << i << endl;
   ch = h + 1;
   cout << h << '\t' << ch << endl;
   cout << "pi: " << pi << endl;
}
```

Первая строка, как обычно, подключает стандартную библиотеку потокового ввода/вывода. Далее в функции `main()` описываем переменные целого типа:

```
int i, j = 6, k = -1;
```

Причем первая переменная объявлена, но значение ей не присвоено (значением может быть любой "мусор"), второй переменной присвоено значение 6, а третьей –1.

```
char h = '0', ch; // Две переменных типа char.
double pi = 3.14; // Одна переменная double,
        // инициализированная значением 3.14
i = j + k;     // Обычная операция сложения, об этом чуть позже.
cout << "int i=j+k: " << i << endl;
```

Здесь выводим текстовую строку и переменную `i`. Отметим также, что оператор вывода `<<` корректно выведет данные различного типа. Пока воспринимаем это как данность, с потоковым выводом мы будем разбираться позже.

```
ch = h + 1;
```

А вот здесь интересная операция, к символу `'0'` прибавили 1. Ничего удивительного, наверное, нет в том, что в результате получится символ `'1'`, но, пожалуй, ни один другой язык программирования не позволит такой операции.

```
cout << h << '\t' << ch << endl;
```

Чтобы убедиться в этом, посмотрите результат вывода двух символов. Мы вставили между ними разделитель "горизонтальная табуляция" и завершили вывод специальным манипулятором `endl (end of line)`, который обеспечит перевод строки. Он описан в файле включений `iostream.h`.

```
cout << "pi: " << pi << endl;
```

И наконец, вывод числа с плавающей точкой.

Переменные-константы

Когда мы определяем в программе константу, мы, как правило, хотели бы быть уверены, что значение этой константы случайно не изменилось. Конеч-

но, по большей части такие проблемы остаются на совести программиста, но компилятор дает возможность обеспечить дополнительный контроль над изменением значений переменных. Для этого служит модификатор `const`, который ставится перед указанием типа переменной. Например, можно было бы написать:

```
const double pi = 3.14;
const int NULL = 0;
```

Теперь, при попытке изменить значение константной переменной, будет выдано сообщение об ошибке.

```
NULL = 1;      // Ошибка
```

Комментарии

Для включения комментария в текст программы на языке C++ предусмотрены две конструкции:

- Если *комментарий* занимает одну строку, то достаточно поставить два символа `//` (двойной слэш) и текст, расположенный далее до конца строки, будет считаться комментарием и игнорироваться компилятором.
- Если же комментарий занимает несколько программных строк, он ограничивается с обеих сторон парой символов `/* . . . */`.

```
// Простой комментарий
/*Комментарий,
        занимающий
        несколько строк */
```

Классы памяти

Как правило, программиста не заботит проблема, в какой области памяти компилятор разместит переменные, но иногда возникает необходимость управлять этим процессом. По умолчанию компилятор строит переменные *класса памяти* `auto` — это автоматические переменные, которые создаются в стеке при входе в функцию и освобождаются при выходе из нее, причем начальные значения таких переменных могут быть произвольными. Переменные класса `static` располагаются в фиксированном блоке памяти, выделяемом перед началом выполнения программы, инициализируются нулевым значением. Время жизни таких переменных совпадает с временем жизни программы. И наконец, для переменных целого типа, определен весьма специфичный класс `register`. В этом случае компилятор пытается выделить свободный регистр, и если это удается, операции с такой переменной будут осу-

ществляться существенно быстрее, если же свободного регистра нет, строится обычная переменная класса `auto`.

```
static const int NULL = 0;
register int k;
```

Операторы и операции

Основной *операцией* любого языка программирования является *операция присваивания*:

операнд = выражение;

```
i = j + k;
```

В отличие от других языков программирования, в C++ допускается многократное присваивание, причем операция выполняется справа налево, например:

```
i = j = k = 0;
```

или так:

```
i = 2 + (k = 3);
```

Во втором случае переменная `i` принимает значение `5` и, попутно, переменная `k` принимает значение `3`, т. к. в языке C++ принято, что скобка имеет значение последней выполняемой в ней операции.

Арифметические операции

В языке имеется набор обычных математических операций, выполнение которых осуществляется в соответствии с общепринятыми правилами соблюдения приоритетов. Причем операции одного приоритета, например умножение и деление, выполняются слева направо.

- `*` — умножение
- `/` — деление
- `%` — остаток от деления (для целых)
- `+` — сложение
- `-` — вычитание

Примечание

- Операция `%` корректно работает с положительными значениями, но для отрицательных чисел ее результат не очевиден и зависит от компилятора.

- Необходимо иметь в виду, что в языке C++ отсутствует операция возведения в степень, однако имеется функция, реализующая данную операцию.

Приведение типов

При выполнении арифметических операций результат зависит от типов операндов. Так, если операнды целого типа, то и результат будет целого типа. Однако часто возникает ситуация, когда операнды принадлежат разным типам. В этом случае работает правило *приведения типа*, согласно которому типы операндов приводятся к более общему типу.

Примечание

При совершении арифметической операции с переменными типа `char` и `short`, они разворачиваются до базового типа `int`.

Так, в выражении:

```
double avg, sum;
int n;
. . .
avg = sum/n;
double num = n;
```

переменная типа `double` делится на переменную типа `int`. Здесь компилятор вставит *автоматическое преобразование типа* `int` в `double`, который является более общим типом. То же самое произойдет и в следующей операции присваивания.

Однако часто бывает необходимо *явно преобразовать тип данных*, например, если мы хотим получить результат от деления двух целых чисел:

```
int a = 3, b = 2;
double r = a/b;
```

то мы получим `r = 1.0` вместо `1.5`. Дело в том, что вначале происходит деление двух целых чисел, результат которого `1`, и лишь затем это значение будет приведено к типу `double`. Для того чтобы деление произошло над данными типа `double`, необходимо хотя бы один из операндов привести к типу `double`. Для этого нужно воспользоваться оператором явного преобразования типа одним из трех способов:

- `(double)a` — базовый оператор классического C.
- `double(a)` — расширение языка, преобразование типа как функция.
- `static_cast<double>(a)` — современный стиль.

Если мы напишем выражение:

```
double r = double(a)/b;
```

получим: `r = 1.5;`

Операции ++ и --

Специфичные для языка C++ *операции приращения* для переменной целого типа `char`, `short`, `int`, `long` приводят к увеличению `++ (increment)` или уменьшению `-- (decrement)` значения переменной на `1`. Если данная операция стоит перед переменной, то она будет произведена перед использованием переменной *(префиксная операция)*, если после переменной — после ее использования *(постфиксная операция)*.

Именно наличием этих операций объясняется название языка C++ (следующий шаг после C). Эти операции сводятся к одной машинной команде и выполняются с большей эффективностью, чем операции сложения и вычитания.

```
i = 0;
j = ++i;       // j = 1, i = 1
k = i--;       // k = 1, i = 0
```

Битовые операции

Осуществляются над переменными, рассматриваемыми как битовые цепочки, и применяются для целого типа `char`, `short`, `int`, `long`. *Битовая операция* производится над каждым разрядом без переносов.

Таблица 1.6. *Битовые операции*

`&`	Битовое умножение
	Пример: (10010011) & (00111101) = (00010001)
		`1 & 1 = 1`
		`0 & 1 = 0`
		`0 & 0 = 0`

`|`	Битовое сложение (ИЛИ)
	Пример: `(01101110) | (10000000) = (11101110)`
		`1 | 1 = 1`
		`0 | 1 = 1`
		`0 | 0 = 0`

`^`	Битовое исключающее сложение (исключающее ИЛИ)
	Пример: `(01010101) ^ (11111111) = (10101010)`
		`1 ^ 1 = 0`
		`0 ^ 1 = 1`
		`0 ^ 0 = 0`

`~`	Битовое отрицание (НЕ) Пример: `~(10011010) = (01100101)`	`~1 = 0` `~0 = 1`

Таблица 1.6 *(окончание)*

<<	Логический сдвиг влево Все разряды переменной сдвигаются на указанное количество разрядов влево, разряды, выходящие за разрядную сетку, теряются, а освобождающиеся разряды справа устанавливаются в 0. Пример: `(00000001) << 4 = (00010000)`	
>>	Логический сдвиг вправо Все разряды переменной сдвигаются на указанное количество разрядов вправо, разряды, выходящие за разрядную сетку, теряются, а освобождающиеся разряды слева устанавливаются в 0. Пример: `(00010000) >> 4 = (00000001)`	

Примеры использования битовых операций:

```
i << 1;        // умножить на 2
i >> 2;        // поделить на 4
i & 1;         // проверка на нечетность
i | 128;       // установить в 1 7-й бит
i ^ 128;       // инвертировать 7-й бит
~i;            // инвертировать все биты
```

Примечание

Умножение и деление нацело на число, кратное 2, при помощи операций сдвига корректно только для положительных значений.

Комбинированные операции

Часто возникает необходимость осуществлять операции с одной переменной в левой и правой части операции присваивания. В этом случае удобно использовать так называемые *комбинированные операции*. Например, вместо операции `i = i + 2` можно написать `i += 2`, что имеет такой же смысл, но облегчает компилятору построение более эффективного программного кода.

Приведем список комбинированных операций:

```
i += j;        // i = i + j;
i -= j;        // i = i - j;
i *= j;        // i = i * j;
i /= j;        // i = i / j;
i %= j;        // i = i % j;
i <<=j;        // i = i <<j;
```

```
i >>=j;        // i = i >>j;
i &= j;        // i = i & j;
i |= j;        // i = i | j;
i ^= j;        // i = i ^ j;
```

Операции отношения

Для сравнения значений переменных используются *операции отношения*:

```
>   больше               (a > b)
>=  больше или равно     (a >= b)
<   меньше               (i < 0)
<=  меньше или равно     (i <= j)
==  равно                (i == k)
!=  не равно             (ch != 'y')
```

Примечание

Равенство выполнено двумя знаками равно. Типичная ошибка начинающего программиста, когда вместо равенства записывается операция присваивания =.

В классическом C не было логических переменных, они появились лишь в C++. Однако и при отсутствии логических переменных язык C обходился без больших проблем. Было принято считать, что результат имеет значение ИСТИНА, если он отличен от 0, и ЛОЖЬ в противном случае. В C++ можно использовать как логические переменные, так и подход классического C, когда вместо логических выражений применяются арифметические значения. Например, для проверки нечетности целого значения можно воспользоваться выражением `(i & 1) != 0` или просто `(i & 1)`.

В первом случае получаем логическое выражение, равное `true`, если переменная `i` равна нечетному числу, во втором случае получаем просто `1`, что и так ИСТИНА. Вообще, в языке C++ считается дурным тоном сравнивать с `0`.

Логические операторы

Логические операторы применяются над логическими операндами, в качестве которых могут выступать операции отношения или те же логические операторы (табл. 1.7).

Таблица 1.7. *Логические операторы*

&&	И	(i > j) && (k != 1)
||	ИЛИ	(ch == 'y') || (ch == 'Y')
!	НЕ	!(i > 1)

Примечание

Обычно компилятор оптимизирует код операции логического умножения, и если первый операнд имеет значение `false`, то и результат операции `&&` также будет `false`, так что второе выражение можно и не вычислять.

С помощью логических операторов можно конструировать сложные логические выражения. Нужно иметь в виду, что операторы языка выполняются в соответствии с их приоритетами, таблица приоритетов помещена в *приложении*, но если есть сомнения в порядке выполнения операций, можно использовать скобки.

Операторы языка C++

Оператор может быть простым либо составным. *Простой оператор* заканчивается символом точка с запятой `";"` — частью оператора, отличающейся C++ от других языков программирования, где символ `";"` — разделитель операторов. *Составной оператор* представляет собой последовательность простых операторов, заключенную в фигурные скобки.

Каждый оператор может иметь метку, которая используется оператором перехода `goto`. *Метка* — это имя, за которым стоит двоеточие `":"`. Областью действия метки является текущая функция. В C++ метки предварительно не описываются.

```
{ int i;
  home: i = 0;
  . . .
}
```

Оператор перехода *goto*

Оператор перехода служит для безусловной передачи управления оператору с данной меткой в пределах текущей функции:

```
goto метка;
```

Хорошо структурированная программа не должна вызывать необходимости использования оператора перехода, поэтому в современном стиле программирования считается дурным тоном использование операторов `goto`. Однако они могут быть весьма полезны для обработки критических ситуаций или выхода из глубоко вложенных циклов.

Примечание

Сейчас для обработки критической ситуации используется механизм исключений.

```
goto end;
...
end: exit(1);
```

Условный оператор *if . . . else*

Назначение *условного оператора* заключается в организации ветвлений программы в зависимости от условия. Используются две формы записи данного оператора.

Сокращенная форма записи:

```
if (логическое выражение) оператор;
```

Оператор выполняется, если логическое выражение истинно, иначе выполняется следующий по тексту программы оператор.

Или полная форма записи:

```
if (логическое выражение) оператор 1;
else оператор 2;
```

Если выражение истинно, выполняется `оператор 1`, иначе — `оператор 2`, например:

```
if ( i & 1) a = 0; else a = 1;
// Если i нечетно, то переменной a присваивается 0, иначе 1
```

Условный арифметический оператор

Последний пример выглядит несколько коряво. В самом деле, для выполнения простого присваивания пришлось написать оператор два раза. К счастью, в C++ есть механизм для более элегантного решения этой задачи, так называемый *условный арифметический оператор*. Его формат:

```
(условие)? выражение 1 : выражение 2;
```

если условие истинно, то результатом оператора будет `выражение 1`, иначе — `выражение 2`. Так предыдущий пример можно записать:

```
a = (i & 1)? 0 : 1;
```

Числовая константа является частным случаем арифметического выражения.

Операторы цикла

Для повышения гибкости языка в C++ используются три *оператора цикла*.

Цикл с предусловием *while*

```
while (логическое выражение) оператор;
```

Оператор цикла выполняется до тех пор, пока логическое выражение истинно. Если условие сразу не выполняется, оператор ни разу не выполнится. Например:

```
a = i = 0;
while(i < n) a += ++i;
```

Цикл с постусловием *do-while*

```
do
оператор;
while (логическое выражение);
```

Оператор цикла выполняется до тех пор, пока логическое выражение истинно. Оператор будет выполнен хотя бы один раз.

```
s = i = 0;
do
   s += ++i;
while(i < n);
```

Цикл *for*

```
for(Нач.установки; Лог.выражение; Приращение переменных) оператор;
```

- `Начальные установки` — позволяют производить начальную инициализацию переменных.
- `Логическое выражение` — контролируется в начале каждой итерации, в случае его истинности тело цикла выполняется. Если логическое выражение ложно при входе в цикл, тело цикла не выполнится ни разу.
- `Приращение переменных` — происходит после завершения тела цикла.

Если некоторые из выражений в скобках отсутствуют, то символ `";"` все равно должен присутствовать. Пример:

```
for (i = 0, s = 0.0; i < n; i++) s += x[i];
```

Примечание

- В операторе цикла могут отсутствовать все три выражения `for(;;) {...}`, в этом случае выход должен быть организован внутри тела цикла.
- При выходе из цикла переменная цикла сохраняет свое последнее значение.

- Здесь использована специфичная для языка C++ операция *запятая*. Смысл этой операции заключается в том, что выражения, перечисленные через запятую, представляют собой один оператор, а именно один оператор должен стоять в блоке начальной инициализации.

Простая программа с циклами

В качестве примера составим программу вычисления чисел Фибоначчи (листинг 1.2). Числа образуются согласно следующей рекуррентной формуле:

$$f_n = f_{n-1} + f_{n-2};\ f_0 = 1, f_1 = 1.$$

Каждое число есть сумма двух предыдущих, а два первых значения равны 1.

Листинг 1.2. Задача нахождения чисел Фибоначчи

```
#include <iostream.h>
void main()
{ int f0, f1, f, i, n;
       cout << "Fibonacci series? ";
       cin >> n;
       for (f = f1 = 1, i = 2; i <= n; i++)
       {
              f0 = f1;
              f1 = f;
              f = f0 + f1;
              cout << i << '\t' << f << endl;
       }
}
```

Результат выполнения программы:

```
Fibonacci series? 10
2      2
3      3
4      5
5      8
6      13
7      21
8      34
9      55
10     89
```

Здесь мы используем оператор консольного ввода `cin`, который выглядит аналогично оператору вывода, но символы `>>` показывают направление передачи данных к переменной `cin >> n;`.

Вспомогательные операторы: *break*, *continue*

Эти операторы предназначены для повышения гибкости языка и используются в операторах цикла, а оператор `break` и в переключателе `switch`. Так оператор `break` приведет к выходу из оператора цикла или переключателя, а оператор `continue` — к переходу для выполнения следующей итерации.

```
for (i = k = 0; i < n; i++)
  {
   if ( x[i] < 0) continue;
   if ( x[i] == 0) break;    // Выход, если нуль
   k++;        // Подсчет количества положительных значений
               // до первого нуля
  }
```

Переключатель *switch*

Переключатель `switch` является удобным способом организации альтернативных процессов в зависимости от значения ключевого арифметического выражения.

```
switch (арифметическое выражение) {
       case константа 1 : операторы 1;
       ...
       case константа n : операторы n;
       default : операторы;
}
```

Здесь происходит сравнение выражения и констант. Начинают выполняться операторы той строки, константа которой совпадает с выражением. Если же ни одна из констант не совпала с арифметическим выражением, выполняются операторы строки альтернативы `default`, если же отсутствует строка `default`, то не выполняется ни одного оператора в переключателе и управление передается следующему за переключателем оператору.

Примечание

В отличие от аналогичной конструкции языка Паскаль, здесь не происходит автоматического выхода из переключателя после выполнения всех операторов строки `case`, поэтому каждая строка обычно заканчивается оператором `break`. Иначе будут выполняться следующие строки программного кода в переключателе.

Пример:

```
switch (ch) {
       case '+': c = a + b; break;
```

```
        case '-': c = a - b; break;
        default : c = 0;
        }
```

В качестве примера сделаем простой калькулятор, выполняющий четыре арифметические операции (листинг 1.3).

Листинг 1.3. Программа "Калькулятор"

```
#include <iostream.h>
void main()
{ double a, b, c;
  char ch;
  cout << "Calculator" << endl;
  cout << "Example: a + b <Enter>\n";
        cin >> a >> ch >> b; // Оператор ввода также применяется агрегатно
        switch (ch)
        { case '+': c = a + b; break;
        case '-': c = a - b; break;
        case '*': c = a * b; break;
        case '/': c = a / b; break;
        default: cout << "Error operator " << ch << endl;
}
        cout << c << endl;
}
```

Массивы и указатели

Для решения многих задач требуется вводить набор однотипных данных и, естественно, в языке программирования предусмотрена такая конструкция, как *массив*. Описывается массив следующим образом:

```
тип имя[размер];
```

В качестве типа элементов массива может использоваться любой стандартный тип, а также и пользовательский тип. Имя массива образуется по тем же правилам, что и имя простой переменной, а размер — целое число или переменная, значение которой компилятор может определить (константная переменная). Дело в том, что под массив компилятор должен выделить память, и размер этой памяти ему должен быть известен.

```
const int N = 100;
int a[10];     // Описан массив из 10 чисел типа int
double x[N];   // Описан массив из 100 чисел типа double
```

Доступ к элементам массива осуществляется при помощи индекса:

```
a[0], a[1], ... a[9]
```

Нужно учитывать, что индексы в C++ отсчитываются от `0`, поэтому если размер массива N, то последний *индекс* будет N–1. Если при описании массива используется переменная класса памяти `auto`, то при загрузке программы содержимое элементов массива не определено, поэтому, прежде чем использовать элементы массива в вычислениях, им нужно присвоить некоторые значения. При описании же массива в статической области памяти `static` начальные значения элементов массива будут нулевыми. Можно также присвоить значения элементам массива прямо при описании:

```
тип имя[размер] = {первый элемент, второй элемент,...};
```

Пример:

```
int a[10] = {1, 2, 3, 4, 5};
```

Здесь описан массив из 10 чисел типа `int`, где первым 5 числам будет присвоено значение. Возникает вопрос — а чему равны остальные 5 элементов массива? Оказывается, компилятор присвоит им нулевые значения. Можно при присваивании значений элементам массива вообще не указывать размер массива, в этом случае компилятор сам подсчитает количество инициализирующих значений и создаст массив необходимого размера, например:

```
int a[] = {1, 2, 3, 4, 5};
```

Здесь будет создан массив из 5 значений типа `int`.

Или такое описание:

```
static double arr[16]; // Массив инициализирован 0.0
```

Примеры программ с использованием массивов

Рассмотрим несколько типичных программ с использованием массивов (листинги 1.4—1.6):

Листинг 1.4. Табулирование функции $y(x) = e^{-x^2}$ на отрезке `[-1;1]` с шагом `h=0.2`

```
#include <iostream.h>
#include <math.h>            // Здесь описана функция exp()
void main()
{       const int N = 100;
        int i;
        double x, h, a = -1.0, b = 1.0, y[N+1];
        h = (b - a)/N;
```

```
        for (i = 0, x = a; i <= N; i++, x += h)
        {
                y[i] = exp(-x*x);
                cout << x << '\t' << y[i] << endl;
        }
}
```

Листинг 1.5. Суммирование элементов массива

```
#include <iostream.h>
void main()
{
        int i, s, k[] = {2, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 14};
        for (i = s = 0; i < 8; i++) s += k[i];
        cout << "sum: " << s << endl;
}
```

Здесь нам пришлось подсчитать размер массива, чтобы написать условие завершения цикла `i < 8`. Однако можно возложить эту работу на компилятор и воспользоваться функцией `sizeof(k)`, которая вернет размер массива в байтах. Если этот размер поделить на размер одного элемента, мы получим количество элементов массива. Условие сейчас записывается:

```
i < sizeof(k)/sizeof(int)
```

Такую конструкцию можно использовать без риска понижения производительности вычислений, поскольку функция вычисляется на этапе компиляции.

Примечание

Можно использовать и операторную запись `sizeof k`.

Листинг 1.6. Вычисление минимального и максимального значения в массиве данных

```
#include <iostream.h>
void main()
{ double min, max, m[5] = { 1.2, -3, 2.8, 8, 4.0 };
  int i;
  cout << "Minimum & Maximum" << endl;
  for (i = 1, min = max = m[0]; i < 5; i++)
  {
       if (m[i] > max) max = m[i];
       else if (m[i] < min) min = m[i];
  }
```

```
  cout << "min: " << min << endl;
  cout << "max: " << max << endl;
}
```

Здесь мы просто организовали перебор всех значений массива и сравнение с переменными `min`, `max`, которые предназначены для хранения минимального и максимального значения. Важно, что мы им присвоили в качестве начального значения первый элемент массива (в принципе, можно выбрать любые значения, принадлежащие массиву). Если этого не сделать, мы не сможем правильно решить задачу, поскольку начальные значения могут изначально оказаться либо больше, либо меньше всех значений, принадлежащих массиву. А поскольку нет смысла сравнивать значение само с собой, цикл мы начинаем с 1.

Указатели

Что же такое указатели и почему они являются кошмаром для программистов? Оказывается, *указатели* — это просто адреса памяти, указывающие на соответствующие переменные. Описываются указатели при помощи символа `*`:

```
тип *имя;
```

Указатели описываются обязательно с указанием типа. Это необходимо для поддержки арифметики указателей, например:

```
int *q;
```

Здесь описан указатель на переменную целого типа, причем компилятор выделяет память только под указатель (адрес), для хранения самой переменной памяти не выделено. Теперь можно установить указатель на существующую переменную при помощи *операции взятия адреса (&)*.

```
int *q, r = 1;
q = &r;        // q - адрес переменной r, где хранится число 1
```

Для того чтобы получить значение, на которое указывает указатель, используется *операция разадресации* с помощью все того же символа '`*`'. Получается какая-то тавтология, но такова терминология в языке C++. Сейчас можно, например, совершить операцию:

```
int k = *q;
```

Здесь переменная `k` будет равна `1`, поскольку ей присваивается значение переменной `r`, на которую указывает указатель `q`. Таким образом, `r` и `*q` являются одной и той же переменной.

Посмотрим сейчас, каким образом указатели связаны с массивами, и что это нам дает. Так, имя массива — это просто *константный указатель*, который указывает на первый байт начала массива. Напомним, что константная переменная не может изменить своего значения. Таким образом, мы можем присвоить указателю имя массива и оперировать с массивом посредством указателя, но не можем присвоить имени массива другое значение. Например, опишем массив и указатель:

```
int a[5],*q = a; // a и q — указатели первого элемента массива a[0]
```

От указателей было бы мало толку, если бы не арифметика указателей. Можно над указателями совершать следующие операции (пример программы, демонстрирующей их выполнение, приведен в листинге 1.7):

- *Сравнение указателей*. Например, если имеется два указателя `p` и `q`, то можно проверить их на равенство `p == q` или на неравенство `p!= q`. Разумеется, типы указателей должны совпадать. Очень часто сравнивают указатель с нулевым значением: `p!= 0`.
- *Сложение указателя с числом*. Что означает выражение `q+1`? Оказывается это указатель следующего элемента массива. То есть увеличение указателя на единицу означает увеличение адреса переменной не на один байт, а на размер соответствующего типа данных. Так, если у нас тип `int` занимает 4 байта, то и значение указателя увеличится на 4. Таким образом, можно считать эквивалентными следующие выражения:

```
a[0] ≡ *q;
a[1] ≡ *(q+1);
. . .
a[n-1] ≡ *(q+n-1);
```

- *Вычитание из указателя* целого числа. Аналогично предыдущему пункту, но указатель здесь сдвигается не вперед, а назад на заданное количество данных соответствующего типа.
- *Операции* `++` *и* `--`. Причем поддерживаются как префиксные, так и постфиксные операции: `++q`, `q++`. То есть приращение указателя может осуществляться как до его использования, так и после.
- *Разность двух указателей*. Эта операция дает нам количество элементов соответствующего типа в промежутке между двумя указателями. Разумеется, указатели должны принадлежать одному массиву данных, иначе операция теряет смысл.

Листинг 1.7. Пример программы, демонстрирующей операции над указателями

```
#include <iostream.h>
void main()
{ char *t = "text";
  char *q = t;
  cout << "Pointer *q" << endl;
  while(*q) cout << *q++; // Вывод строки посимвольно
  cout << "\nLength: " << q - t << endl;
}
```

Эта программа требует некоторых комментариев. Так, в строке:

```
char *t = "text";
```

мы описываем указатель типа `char` и присваиваем его текстовой строке. Компилятор выделяет область памяти под текстовую константу и присваивает ее адрес указателю `t`. Здесь указатель `t` не является именем массива, и мы могли бы не вводить дополнительного указателя, но тогда мы потеряем адрес текстовой константы и не сможем больше ею воспользоваться, что не является хорошим решением. Поэтому мы ввели еще один указатель и установили его на ту же текстовую константу:

```
char *q = t;
```

после чего можем использовать его для продвижения по строке.

Отметим также, что в выражении `*q++` первой выполнится операция разадресации, после чего указатель перемещается на следующий байт (см. в *приложении* таблицу приоритетов операций).

В операторе `while` мы довольно странно записали условие `(*q)`, но если вспомнить соглашение языка C++, по которому любое ненулевое значение считается истиной, то все становится ясно. Действительно, `*q` принимает последовательно значения `'t'`, `'e'`, `'x'`, `'t'`, `'\0'`, и как только `*q == '\0'`, цикл завершится, поскольку нулевое значение интерпретируется как ложь. В языке C++ именно такой стиль программирования считается общепринятым.

И наконец, в записи комментария `"\nLength: "` мы использовали предопределенную константу `'\n'` (перевод строки), чтобы последующий вывод пошел с новой строки.

Ответим, в заключение, на следующий вопрос: почему указатели очень опасны в использовании? Дело в том, что для повышения эффективности C-программ во время выполнения не проводится контроль выхода указателя за границу массива, поэтому типичная ошибка заключается в выходе указате-

ля за допустимый диапазон. А с помощью указателя можно попасть как в системную область памяти, так и в область другого работающего приложения и испортить там данные.

Примечание

Windows NT обеспечивает дополнительный контроль и не позволит перейти в адресное пространство другого приложения.

Определение псевдонимов

Для того чтобы текст программы выглядел более читаемым, часто бывает удобно вводить *псевдонимы имен*. Для этой цели используется ключевое слово `typedef`.

Формат директивы:

```
typedef существующий_тип псевдоним
```

Например, нужно описывать много указателей типа `int*`, и нам хотелось бы, чтобы описание выглядело более наглядно, тогда можно определить синоним для типа и описать указатели примерно так:

```
typedef int* IntPtr;
IntPtr q, r, w;
```

Здесь переменные `q,r,w` — указатели типа `int*`.

Многомерные массивы

Массивы могут иметь и более одной размерности, описание *многомерных массивов* осуществляется следующим образом:

```
тип имя [размер 1][размер 2]...
```

В отличие от языка Паскаль, здесь для каждой размерности нужно писать свою пару скобок, например:

```
double q[3][4]; // Двумерный массив 3*4 типа double
```

Индексы массива всегда отсчитываются от 0. При таком описании в памяти выделяется непрерывная область, причем правый индекс меняется быстрее левого.

`q[0][0]`	`q[0][1]`	`...`	`q[0][3]`	`q[1][0]`	`q[1][1]`	`...`	`q[2][3]`

Получить значение элемента массива при помощи указателя можно следующим образом:

```
double x;
x = *q;             // x = q[0][0]
x = *(q + 2);       // x = q[0][2]
x = *(q + 4);       // x = q[1][0]
```

Тип указателя служит для автоматического определения размера переменной, чтобы можно было правильно найти элемент массива в операции разадресации `*(p + n)`.

Для двумерного массива переменная с одним индексом также является указателем и указывает на первый элемент строки матрицы, так:

```
q[0] - указатель на элемент  q[0][0],
q[1] - указатель на элемент  q[1][0].
q[2] - указатель на элемент  q[2][0].
```

Многомерные массивы можно при описании инициализировать, для этого, помимо общих скобок, каждая строка матрицы заключается в фигурные скобки, например:

```
double q[3][4] = { { 1, 0, 0, 0 },
                   { 0, 1, 0, 0 },
                   { 0, 0, 1, 0 }
                 };
```

Динамическое выделение памяти

Часто возникает проблема выделения памяти для переменной уже в процессе работы программы (динамическое выделение). Если в классическом C эту задачу можно было решить, используя функцию `malloc()` или ее модификацию, то в C++ предусмотрен специальный оператор `new`. Если нужно выделить память под переменную, то операндом служит имя типа, а результатом работы оператора будет адрес памяти (указатель), расположенной в куче (динамической области памяти):

```
new тип;
```

Например:

```
int *q = new int;
```

Если же необходимо выделить блок памяти (массив), его размер указывается после имени типа в квадратных скобках, а возвращаемым значением будет указатель на начало массива, например:

```
double* v = new double[100];
```

Выделенная область памяти доступна, пока не будет освобождена оператором `delete`. После завершения работы программы выделенная в куче память освобождается.

Аргументом оператора `delete` будет указатель для простой переменной, или же указатель с пустыми квадратными скобками для выделенного массива, например:

```
delete q;
delete[] v;
```

Примечание

- Вообще-то оператор `new` в конечном итоге сводится к С-функции `malloc()`.
- Правило освобождения памяти простое: если в операторе `new` были квадратные скобки — они должны быть и в операторе `delete`.

Причина специфического описания оператора `delete` состоит в том, что при выделении памяти массиву оператором `new` происходит выделение на два байта памяти больше, и в этих двух байтах, находящихся перед началом массива, записан его размер в виде целого числа. Таким образом, наличие скобок в операторе `delete[]` является указанием, что размер массива записан на два байта ранее адреса `v`.

Листинг 1.8. Пример программы с динамическим выделением памяти

```
#include <iostream.h>
void main()
{ int *q, *k = new int[10];
  int i = 0;
  while (i < 10) k[i++] = i;
  for (q = k,i = 0; i < 10; i++) cout << *q++ << endl;
  delete[] k;
}
```

В листинге 1.8 рассмотрен пример, демонстрирующий возможность обращения к элементам массива как по индексу, так и по указателю при динамическом выделении памяти. Причина, по которой мы вынуждены ввести еще один указатель, заключается в том, что при изменении указателя `k` мы не вправе использовать оператор освобождения памяти `delete[] k;`, поскольку в этом случае система будет пытаться освободить память по адресу, по которому она не выделялась, что приведет к ошибке времени выполнения.

В листинге 1.9 приведем пример динамического выделения памяти для двумерного массива. В этом случае нам потребуется описать *указатель на ука-*

затель `**q`, поскольку здесь `*q` должен быть массивом указателей на строки массива.

Листинг 1.9. Динамическое выделение памяти для двумерного массива

```
#include <iostream.h>
void main()
{ int i,j;
double **q = new double *[9];
for (i = 0; i < 9; i++) q[i] = new double[9];
       for (i = 0; i < 9; i++)
              { for (j = 0; j < 9; j++)
                     cout << (q[i][j] = (i+1)*(j+1)) << '\t';
                     cout << endl;
              }
for (i = 0; i < 9; i++) delete[] q[i];
delete[] q;
}
```

Схема выделения памяти для двумерного массива приведена на рис. 1.6.

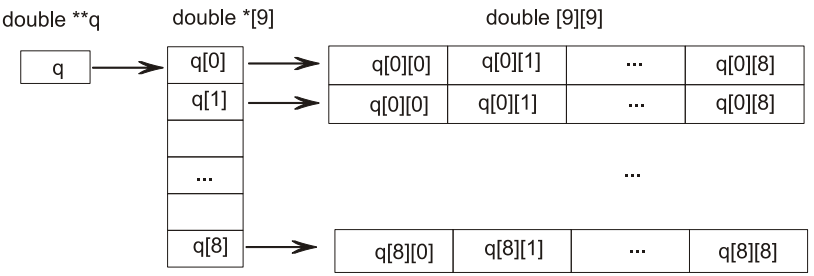

Рис. 1.6. Иллюстрация механизма выделения памяти для двумерного массива

Очевидно, что в этом случае освобождение памяти должно осуществляться в обратном порядке, т. к. вначале необходимо освободить память, выделенную для каждой строки массива, и лишь затем освободить память, выделенную под массив указателей на эти строки.

Примечание

Здесь мы совместили вывод на консоль и вычисление элемента массива

```
cout << (q[i][j] = (i+1)*(j+1)) << '\t';
```

воспользовавшись побочным эффектом — скобка возвращает результат последней выполненной операции.

Пример программы с использованием двумерного массива

Рассмотрим в качестве примера задачу нахождения решения системы линейных уравнений методом Гаусса.

$$A_{11}*x_1 + A_{12}*x_2 + \ldots\ldots + A_{1n}*x_n = B_1$$
$$A_{21}*x_1 + A_{22}*x_2 + \ldots\ldots + A_{2n}*x_n = B_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$A_{n1}*x_1 + A_{n2}*x_2 + \ldots\ldots + A_{nn}*x_n = B_n$$

Идея метода состоит в том, чтобы последовательно исключать неизвестные из уравнений с тем, чтобы последнее уравнение стало уравнением с одним неизвестным. Это прямой ход метода Гаусса. Первый его шаг состоит в том, чтобы исключить переменную x_1 из второго и до n-го уравнений. Это можно сделать, умножив первое уравнение на коэффициент A_{21}/A_{11}, и вычесть его из второго уравнения. Аналогично поступим со следующими уравнениями, используя коэффициент A_{i1}/A_{11}. Нетрудно заметить, что при таком преобразовании коэффициенты при x_1 в этих уравнениях обращаются в нуль. Повторяя процедуру n–1 раз и исключая переменные x_2, x_3, . . . из следующих строк, мы приведем систему к треугольной форме:

$$A_{11}*x_1 + A_{12}*x_2 + \ldots\ldots + A_{1n}*x_n = B_1$$
$$A_{22}*x_2 + \ldots\ldots + A_{2n}*x_n = B_2$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$A_{nn}*x_n = B_n$$

Здесь коэффициенты A_{22} и последующие модифицированы и определяются на каждом шаге по формулам:

$$A_{jk} = A_{jk} - A_{ik}*(A_{ji}/A_{ii}),$$
$$B_j = B_j - B_i*(A_{ji}/A_{ii}).$$

Затем осуществляется обратный ход метода Гаусса, который заключается в том, что мы из последнего уравнения определяем x_n и, подставляя его в предыдущее уравнение, определяем x_{n-1}, и т. д., пока не определим x_1.

Реализуем данный алгоритм (листинг 1.10), где для повышения точности осуществим выбор главного элемента, т. е. найдем строку с максимальным значением коэффициента A_{ii} и обменяем строки уравнения так, чтобы уравнение с максимальным по модулю первым коэффициентом было верхним.

Листинг 1.10. Программа решения системы линейных уравнений методом Гаусса

```
#include <iostream.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
int main()
{       char *p,str[82];
        int i, j, k, n;
        double a[10][11],x[10],q,z;
        cout << "The decision of systems of the linear equations\n"
                << "Enter factors of system on lines\n";
// Ввод первой строки и определение размерности системы
        cin.getline(str,80);  // Ввод первой строки
        p = strtok(str," \t,;"); // Выделение первой лексемы
        i = 0;
        do {    a[0][i++] = atof(p);
                p = strtok(NULL," \t,;"); // Выделение следующей лексемы
                } while (p);
        n = --i;        // Размерность системы
// Ввод остальных строк
        for (k = 1; k < n; k++)
        {       cin.getline(str,80);  // Ввод следующей строки
                p = strtok(str," \t,;");
                i = 0;
                do {    a[k][i++] = atof(p);
                        p = strtok(NULL," \t,;");
                        } while (p);
        }
// Прямой ход метода Гаусса
        for (i = 0; i < n - 1; i++)
        { // Выбор главного элемента
//////////////////////////////////////////////////////////
        z = fabs(a[i][i]);
        for (j = i,k = i + 1;k < n;k++)
                if ((q = fabs(a[k][i])) > z) z = q, j = k;
        if (j != i){ for (k = i;k <= n;k++) // Обмен строк
                                z = a[i][k], a[i][k] = a[j][k], a[j][k] = z;
                        }
//////////////////////////////////////////////////////////
        for (j = i + 1;j < n;j++)
        { q = a[i][i];
        if (fabs(q) < 1e-300)
                { cout << "The system is incompatible\n"; return 1; }
```

```
        z = a[j][i]/q;
        for (k = i + 1;k <= n;k++) a[j][k] -= a[i][k]*z; }
        } k = n - 1;
        if (fabs(q = a[k][k]) < 1e-300)
                { cout << "The system is incompatible\n"; return 1; }
// Обратный ход метода Гаусса
        x[k] = a[k][n]/q;
        for (i = k-1; i >= 0;i--)
        {       z = 0.0;
                for (j = k; j > i; j--) z += a[i][j]*x[j];
                x[i] = (a[i][n] - z)/a[i][i];
        }
        cout << "\nThe decision of system of the equations:\n";
        for(i = 0;i<n;i++) cout << "x(" << i + 1 << ")=" << x[i] << endl;
        return 0;
}
```

Комментарии к программе

Для организации ввода матрицы коэффициентов системы уравнений по строкам опишем символьный массив `char str[82]`. Для хранения коэффициентов используем двумерный массив размерностью 10×11 `double a[10][11]`. Это означает, что мы можем решить систему из не более чем десяти уравнений. Свободные члены будем записывать в тех же строках, поэтому столбцов в матрице у нас 11.

Вводим первую строку коэффициентов в символьный массив при помощи метода оператора потокового ввода `cin.getline(str,80)`, где указан массив, куда нужно ввести строку и максимальное количество символов. Мы не можем в этой ситуации использовать оператор форматного ввода `cin >> str`, поскольку оператор вводит до первого разделителя, которым является знак пробела.

Для выделения числовых коэффициентов из введенной строки воспользуемся стандартной функцией `strtok()`, прототип которой находится в файле включений `string.h`. Функция принимает в качестве параметров исходную строку, которую нужно разделить на *лексемы* (фрагменты текста между разделителями), а также строку, содержащую разделители в виде набора символов. Функция находит позицию первого разделителя и вместо него вставляет в исходную строку символ конца строки, после чего возвращает указатель на начало строки.

```
p = strtok(str," \t,;");
```

Мы задали в качестве разделителей символы пробела, табуляции, запятой и точки с запятой. Таким образом, при первом обращении мы получаем указа-

тель строки, содержащий всего одно число, которое может быть преобразовано к числу типа `double` при обращении к функции `atof()` из файла включений `math.h`.

Однако для выделения следующей лексемы необходимо в функции `strtok()` вместо имени строки указать нулевой указатель `NULL`. Это является признаком для функции, что работа продолжается с той же строкой. Теперь функция переставит признак конца строки на следующую лексему, а указатель возвратит также начала следующей лексемы. И так будет продолжаться до тех пор, пока не будет достигнут конец исходной строки, в этом случае функция `strtok()` возвращает нулевой указатель, что и будет служить признаком конца цикла:

```
do { ... } while (p);
```

По завершении обработки первой строки мы можем определить размерность системы — это на `1` меньше количества прочитанных коэффициентов: `n = --i`.

Сейчас, когда известна размерность системы, остальные строки ввести можно и проще, но мы, для единообразия процесса, поступим аналогично предыдущему.

Теперь, после того как исходные данные введены, начинается прямой ход метода Гаусса. Организуем цикл по `i`, начиная с первой строки матрицы до предпоследней. Выбор главного элемента для начала можно и опустить, но в этом случае, если первый коэффициент окажется равным нулю, у нас могут возникнуть проблемы.

Внутри этого цикла организуем цикл по `j` для перебора всех последующих строк матрицы коэффициентов, причем, если коэффициент верхней строки `a[i][i]` равен нулю, мы считаем, что определитель системы равен нулю и система несовместна, в связи с чем дальнейшие вычисления не имеют смысла.

Здесь имеется проблема сравнения числа с плавающей точкой с нулем. Если просто написать `a[i][i] == 0`, это вряд ли будет хорошо, поскольку преобразование из символьного представления числа во внутреннее представление происходит приближенно и сохраняется лишь `16` значащих цифр, в связи с чем возникает вопрос, а 10^{-308} — это нуль или не нуль? Обычно в такой ситуации сравнивают с очень маленьким числом, как мы и поступаем, сравнивая по модулю с константой 10^{-300}. Если вспомнить нижний предел для чисел типа `double`, то это практически и есть нуль.

Теперь вычисляем коэффициент `z = a[j][i]/q`, который является общим для преобразуемой строки, в том числе и для правой части уравнения. Далее, еще в одном цикле, производим преобразование коэффициентов текущей строки:

```
for (k = i + 1;k <= n;k++) a[j][k] -= a[i][k]*z;
```

На очередном шаге цикла по `j` преобразуем следующую строку и т. д. до последней строки. Затем, в цикле по `i`, спускаемся на строку ниже и повторяем процедуру, пока не дойдем до последней строки матрицы.

Прямой ход метода Гаусса завершен. Матрица коэффициентов сейчас имеет треугольную форму и, если последний коэффициент отличен от нуля, можно приступить к реализации обратного хода метода Гаусса — найти `x[k]` из последнего уравнения, которое является уравнением с одним неизвестным:

```
x[k] = a[k][n]/a[k][k];
```

После чего, полученное решение подставляется в предыдущее уравнение и находится `x[k-1]` и т. д., пока мы не доберемся до первой строки и не найдем `x[0]`.

Задача решена, осталось лишь вывести результаты на консоль.

Функции

Классический C — язык сугубо процедурный и основной логической единицей программы является *функция*. Формат описания функции следующий:

```
[тип возвращаемого значения] имя_функции(список параметров)
{
       тело функции
       [return возвращаемое_значение]
}
```

Примечание

В скобках помещена необязательная часть конструкции. Вообще, функция должна возвращать какое-то значение, но если указать тип возвращаемого значения `void`, то функция ничего не возвращает и оператор `return` не нужен. Если же совсем не указывать тип возвращаемого значения, то по умолчанию компилятором понимается тип `int`.

Имя функции образуется по тем же правилам, что и имя переменной, и желательно, чтобы имя отражало назначение функции.

Список параметров:

```
тип_1 имя1[, тип_2 имя2, ... тип_n имя_n = const_val]
```

В отличие, например, от языка Паскаль, тип указывается для каждой переменной. Также допускается задание значения по умолчанию для последних в списке параметров.

Все функции, используемые программой, должны быть предварительно описаны. Если это пользовательские функции, то их описание можно поместить

перед головным модулем `main()`, или же поместить перед ним *прототип* функции, а само описание вынести в конец файла. Прототип функции состоит из ее заголовка, после которого вместо тела функции стоит точка с запятой, он необходим компилятору для того, чтобы правильно установить тип и количество параметров, а также тип возвращаемого значения. Имена параметров в прототипе можно опустить, поскольку компилятор все равно их игнорирует, так, например, можно написать:

```
int min(int, int);
```

Если же мы используем в программе стандартные библиотечные функции, то достаточно описать в начале программы соответствующий файл включений, как раз и содержащий описание прототипов этих функций. А тело библиотечной функции расположено в откомпилированном виде в соответствующем библиотечном файле, доступ к которому получит программа-компоновщик при создании исполняемого модуля.

Рассмотрим, как можно было бы написать функцию вычисления минимального значения двух переменных типа `int`:

```
int min(int a, int b)
{       return (a < b)? a : b;}
```

Здесь мы воспользовались арифметическим условным оператором.

Или еще один пример, обмен местами двух переменных типа `int`:

```
void swap(int *a, int *b)
{ int tmp = *a;
        *a = *b;
        *b = tmp;
}
```

Функция ничего не возвращает, но, поскольку принимает в качестве параметров указатели (по сути, адреса переменных), то имеет возможность работать со значениями этих переменных и поменять их местами. Для извлечения значения переменной используется операция разадресации `*a;`.

Обращение к функции:

```
int k = 1, m =2;
swap(&k, &m);
```

При использовании функции нужно передавать ей либо указатели на переменные, либо использовать операцию взятия адреса &.

В следующем листинге (листинг 1.11) приведен пример сортировки "методом пузырька". *Сортировка* означает упорядочение, в нашем случае — по возрастанию.

Листинг 1.11. Сортировка "методом пузырька"

```
#include <iostream.h>
void sort(int n, double x[])
       { int i,j;
       double z;
       for (i = 0; i < n-1; i++)
              for (j = n-1; j > i; j--)
              if (x[j] < x[j-1]) z = x[j], x[j] = x[j-1], x[j-1] = z;
}
void main()
{
       double x[] = {1.2, -8, 3.4, 7,8, 0, 8.1, 10};
       int k = sizeof(x)/sizeof(double);
       sort(k, x);
       for (int i = 0; i < k; i++) cout << x[i] << endl;
}
```

Функция принимает в качестве параметров количество элементов массива и указатель начала массива данных. Просматривает, начиная с конца массива каждую пару значений, и обменивает их местами, если меньшее число лежит ниже. Меньшие числа как бы "всплывают" наверх, как пузырьки воздуха, отсюда и название метода. Таким образом, просмотрев весь массив, мы перемещаем самое маленькое число наверх, после этого, начиная со следующего элемента массива, повторяем процедуру. Проделав это n–1 раз, мы полностью упорядочим массив.

Встраиваемые функции

Накладные расходы по вызову функции достаточно велики, поэтому для небольших функций, состоящих из одного-двух операторов, имеется возможность объявить их *встраиваемыми* при помощи ключевого слова `inline`. Это будет служить рекомендацией компилятору — вместо построения функции встроить ее код. Если компилятор сочтет, что функция слишком велика, он проигнорирует это указание.

Например, функцию, вычисляющую минимальное значение двух переменных, можно было бы построить так:

```
inline int min(int a, int b)
{       return (a < b)? a : b;}
```

Указатели на функции

Можно определить *указатель на функцию*. Например, функция, которая вызывается без аргументов и не имеет возвращаемого значения, может быть определена следующим образом:

```
void (*func)();
```

Присваивание значения указателю осуществляется так:

```
func = f;
```

где `f` — функция, описанная как:

```
void f() { ... }
```

Нетрудно, по аналогии, построить указатель на функцию, принимающую переменные типа `int` и `double`, а возвращающую значение типа `double`:

```
double (*fd)(int, double);
```

Можно также описать и массивы указателей на функции, например:

```
void (*func[10])();
```

Примеры некоторых функций работы со строками

Эти и множество других функций описаны в файле включений `string.h`, но мы рассмотрим их организацию, чтобы лучше понять принципы их функционирования.

Вычисление длины строки

```
int strlen(char *s)
{ for (int i = 0; *s++; i++);
  return i;
}
```

Функция принимает указатель на строку, мы используем его для чтения символов операцией разадресации `*s`, что возвращает нам текущий символ, который есть `true`, если он не является завершающим символом строки, после чего указатель увеличивается `s++`. Таким образом, мы доберемся до конца строки `'\0'`, а поскольку мы наращивали параллельно индекс `i++`, то при выходе из цикла переменная `i` равна длине строки. Ее и возвращает функция. Тело цикла заменяет *пустой оператор* (`;`). Обращение же к этой функции будет выглядеть так: `n = strlen(str);`.

Заполнение строки

```
void strfill(char *s, int n, char ch = ' ')
{ for (int i = 0; i < n; i++) *s++ = ch;
  *s = '\0';
}
```

Эта функция принимает три параметра, и если первые два не вызывают вопросов, то последний, `char ch = ' '`, требует некоторых комментариев. В расширении C++ допускается при описании параметров функции задавать значение по умолчанию. Можно обратиться к функции с двумя параметрами, тогда символ-заполнитель будет равен значению по умолчанию `strfill(str,10)`. Если же обратиться к функции с тремя параметрами, то мы можем изменить значение символа-заполнителя, например `strfill(str,10,'*')`. Отметим только, что параметры функции с определенным значением по умолчанию должны быть последними в списке параметров. В цикле `for` присваиваем `n` символам массива значение символа-заполнителя, после чего самостоятельно формируем признак конца текстовой строки `*s = '\0'`. Здесь указатель `s` как раз и указывает на символ после последнего заполненного. Возвращаемого значения функции не требуется, поскольку при передаче в функцию в качестве параметра указателя операция заполнения осуществляется с исходной строкой.

Примечание

Типичная ошибка при формировании строки как раз и заключается в том, что забывают про завершающий нулевой символ.

Копирование C-строк

```
void strcpy(char *out, char *in)
{
  while(*out++ = *in++);
}
```

Очень элегантное решение задачи с использованием указателей. Посимвольно копируем содержимое исходной строки с автоматическим увеличением обеих указателей. При копировании завершающего нулевого символа цикл завершается. Тело цикла пустое, возвращаемого значения мы также не предусматриваем.

Обращение строки

```
char* revers(char s[])
{ int i,j,n = strlen(s);
  char ch, *p, *q;
```

```
  for (p = s, q = s + (n-1); p < q; p++, q--)
       { ch = *p; *p = *q; *q = ch; }
  return s;
}
```

Примечание

Используем здесь функцию `strlen()`, описанную ранее.

Эту задачу можно решить несколькими способами, но наиболее эффективный код, как представляется, будет с использованием указателей. Мы определим два указателя и установим первый на начало, а второй — на конец строки. Теперь обмениваем символы в цикле, пока второй указатель больше первого (рис. 1.7).

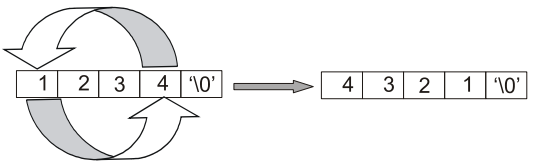

Рис. 1.7. Иллюстрация к функции `revers()`

Здесь мы еще поставили оператор `return` для возврата указателя на строку. Сейчас можно использовать эту функцию и в потоке вывода, что иногда бывает удобно, например:

```
cout << revers(str);
```

Ссылки

Ссылочный тип данных введен в C++ как расширение синтаксиса классического языка C. Ссылка объявляется со знаком амперсанда `&`, является просто псевдонимом имени переменной и должна быть связана с существующей переменной сразу при описании.

Примечание

За исключением передачи ссылки как параметра функции.

Пример:

```
int k;
int& q = k;
```

Теперь можно использовать переменные k и q как синонимы.

```
k = 1; cout << q;     // Будет выведена 1
```

На самом деле, при объявлении ссылочной переменной компилятор не создает отдельной переменной, а работает с исходной переменной, поэтому ссылке не может быть присвоено другое значение, также не разрешается создавать массивы ссылок. Наиболее удобно использование ссылочных переменных при передаче параметров в функцию вместо указателей.

Рассмотрим в качестве примера, как можно переопределить функцию swap() с использованием ссылок:

```
void swap(int& a, int& b)
{ int tmp = a;
       a = b;
       b = tmp;
}
```

Очевидно, такое определение выглядит более ясно. Здесь переменные a и b передаются по ссылке, поэтому в тексте функции под a и b понимаются именно те переменные, которые являются аргументами функций. Обращение к функции сейчас будет выглядеть так:

```
swap(k,m);
```

Примеры простых вычислительных задач

Решение трансцендентного уравнения

Рассмотрим в качестве примера реализацию простейшего алгоритма решения методом половинного деления трансцендентного уравнения или, другими словами, уравнения, не имеющего решения в элементарных функциях.

```
x = cos(x)
```

Суть метода заключается в следующем. Составляем функцию (рис. 1.8):

```
F(x) = cos(x) - x.
```

Очевидно, что решение уравнения есть нуль этой функции, поэтому сформулируем задачу как поиск нуля функции F(x). Решение задачи представлено в листинге 1.12.

Алгоритм можно описать так:

1. Вводим интервал для поиска решения a, b.
2. Начало цикла.
3. Делим интервал пополам, получаем точку c = (a + b)/2.

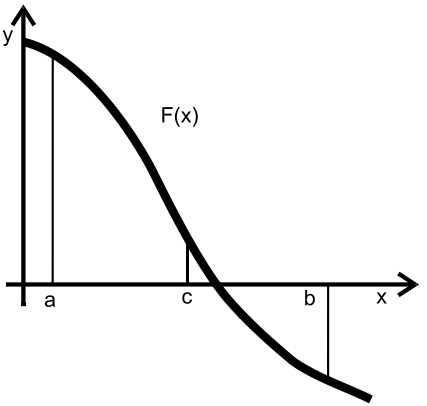

Рис. 1.8. Иллюстрация алгоритма метода половинного деления

4. Если знаки функции `F(x)` в точках `a` и `c` различны, решение находится на интервале `(a,c)`, тогда положим `b = c;`, иначе, если знаки функции в точках `c` и `b` различны, решение находится на интервале `(c,b)`, тогда положим `a = c`, иначе прекращаем работу, поскольку решения нет.
5. Пока `b-a > e`, возвращаемся к началу цикла, иначе выводим середину интервала `(a + b)/2` и заканчиваем работу.

Листинг 1.12. Программа решения трансцендентного уравнения методом половинного деления

```
#include <iostream.h>
#include <math.h>
const double e = 1e-6;
double f(double x)    // Вычисление значения функции
{ return cos(x) - x; }
int main()
{
       double a,b,c;
       cout << "Method of halving\n";
       cout << "Enter borders of an interval [a, b]: ";
       cin >> a >> b;
       if ( a > b) c = a, a = b, b = c; // "Защита от дурака"
       do
       { c = (a + b)/2.0;
              if (f(a)*f(c) < 0) b = c;
              else   if (f(c)*f(b) < 0) a = c;
                     else{ cout << "Decisions in the given interval\
not exist\n"; return 1; }
       }
```

```
        while (b - a > e);
        cout << "x = " << (a + b)/2.0 << endl;
        return 0;
}
```

Некоторые комментарии к программе

1. Оператор `return 1;` обеспечивает завершение работы программы в случае задания неверного интервала поиска решения и возвращает `1`. Для операционной системы любой ненулевой код принято считать ненормальным завершением работы программы. В этом случае мы должны описать тип возвращаемого значения головной функции `int main()`.
2. Константу, задающую точность вычислений, мы определяем как `const double e = 1e-6;`.
3. Поскольку функцию мы описываем перед ее употреблением в функции `main()`, то нет необходимости описывать ее прототип.
4. После ввода границ интервала мы используем так называемую "защиту от дурака", т. е. предусматриваем ситуацию, когда пользователь введет интервал наоборот.
5. Смену знака функции на отрезке мы проверяем по знаку произведения значений функции на границах `(f(a)*f(c) < 0)`. Решение не самое эффективное, но простое.
6. И наконец, в строковой константе `"Decisions in the given interval\`, которая не поместилась в строку, мы использовали соглашение языка C++ о переносах, а именно в конце строки ставится символ `\` "обратный слэш", а продолжение — в следующей строке программы `not exist\n";`.

Суммирование бесконечных рядов

Рассмотрим задачу о суммировании бесконечного ряда на примере широко известного разложения:

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \cdots + \frac{-1^{\,n} x^{2n+1}}{2n+1\,!} + \cdots .$$

Однако вычислять сумму прямо по этой формуле вряд ли целесообразно, поскольку при $x > 1$ числитель дроби быстро растет, знаменатель также быстрорастущая функция, а при делении одного большого числа на другое большое число ошибки округления начинают сильно сказываться. К тому же, мы очень быстро придем к переполнению в знаменателе. Поэтому для решения подобной задачи лучше подобрать рекуррентное соотношение, т. е. найти

формулу, связывающую очередное слагаемое с предыдущим. Нетрудно убедиться, что следующее выражение и будет искомым рекуррентным соотношением:

$$s_n = -s_{n-1} \cdot \frac{x^2}{2n\ 2n+1}.$$

Построим программу табулирования суммы этого ряда на отрезке [0; π/2] (листинг 1.13), пользуясь полученной формулой. Причем оборвем суммирование тогда, когда очередное слагаемое станет меньше заданной точности. Поскольку ряд знакопеременный, то точность будет достигнута (согласно теореме об оценке остаточного члена в знакопеременном ряде).

Листинг 1.13. Программа суммирования бесконечного ряда

```
#include <iostream.h>
#include <math.h>
main()
{ const double PI_2 = 1.571, E = 1e-8;
  double x, sum, sn, n, h = 0.1;
  for (x = 0.0; x < PI_2; x += h)
  {
  n = 1.0;
  sum = sn = x;
  do {
   sn *= -x*x/(2.0*n*(2.0*n + 1.0));
   sum += sn;
   n += 1.0;
     }
  while (fabs(sn) > E);
  cout << x << '\t' << sum << endl;
   }
}
```

Комментарии к программе

1. Директивы включения обеспечивают доступ к оператору потокового вывода `<<`, а также математической библиотеке `math.h`, где нам потребуется функция `fabs()`.
2. Константы, необходимые для работы программы, опишем как `const double`.

3. В цикле по `x` присваиваем начальные значения и начинаем суммировать члены ряда, проверяя, не достигли ли заданной точности, и наращиваем номер `n`. Здесь следует обратить внимание, что, несмотря на то, что значение переменной `n` — целое, мы объявили ее как `double`, чтобы избежать неявного преобразования типа в каждой арифметической операции. Из этих же соображений целые константы `0`, `1` и `2` мы описываем с десятичной точкой `0.0`, `1.0`, `2.0`, чтобы компилятор построил их типа `double`.

Вычисление интеграла методом Симпсона

Рассмотрим вычисление определенного интеграла методом Симпсона (листинг 1.14) по следующей формуле:

$$S = \frac{h}{3}\sum_{i=0}^{\frac{n}{2}-1} f(x_{2i}) + 4f(x_{2i+1}) + f(x_{2i+2}) \ ,$$

где n — количество интервалов разбиения области интегрирования, h — шаг разбиения (рис. 1.9).

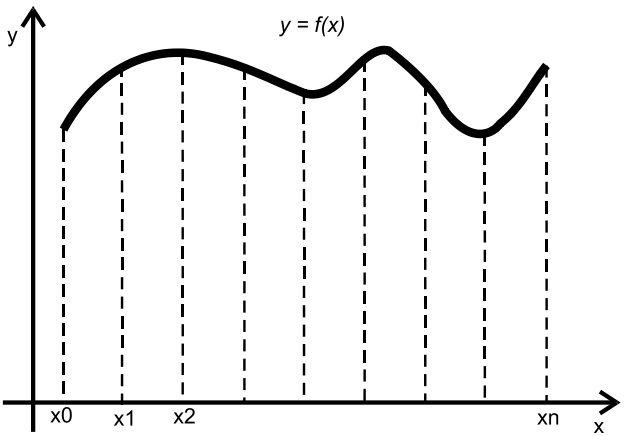

Рис. 1.9. Разбиение интервала интегрирования

Вычислим для примера интеграл Френеля, который, как известно, не вычисляется в элементарных функциях.

$$F = \int_0^1 \sin(x^2)dx \ .$$

Табличное значение его известно, и мы сможем проконтролировать правильность работы программы.

Листинг 1.14. Программа вычисления определенного интеграла методом Симпсона

```
#include <iostream.h>
#include <math.h>
double f(double x) { return sin(x*x); }
main()
{ const double a = 0.0, b = 1.0, e = 1e-8;
double s, w, x, h, n = 10.0;
cout << "Frenel Integral: ";
s = 0.0;
do
{       w = s; h = (b - a)/n;
        for (s = 0.0, x = a; x < b - h; x += 2.0*h)
        s += f(x) + 4.0*f(x + h) + f(x + 2.0*h);
        s *= h/3.0;
        n *= 2.0;
}
while (fabs(s - w) > e);
cout << s << endl;
}
```

В результате должны получить значение $S = 0.310268$.

Комментарии к программе

1. В директивах включения мы подключили необходимые файлы, нам потребуются оператор вывода и функция `sin()`.
2. Далее описываем функцию `double f(double x) { return sin(x*x); }`. Поскольку мы помещаем ее перед головной функцией, нет необходимости описывать прототип.
3. Основная проблема в вычислении интеграла заключается в решении вопроса — когда нужно прекратить дробление отрезка для достижения необходимой точности? Очевидно, что чем меньше интервал разбиения, тем точнее сумма криволинейных трапеций совпадает со значением интеграла. Мы поступаем просто, сравнивая два последовательно вычисленных значения этой суммы при уменьшении величины интервала вдвое. Согласно теореме Рунге, точность вычисления, по меньшей мере, на порядок меньше модуля этой разности.

Структуры

Структура является составной переменной и предназначена, в основном, для того, чтобы можно было оперировать с блоком разнотипных данных как с единым объектом. Формат объявления структуры следующий:

```
struct имя {
               тип1   имя переменной 1;
               тип2   имя переменной 2;
               ...
           };
```

Примечание

Можно и сразу описать переменные структурного типа при описании структуры после закрывающейся скобки и перед точкой с запятой.

Структура определяет новый тип данных и описывается, как правило, вне описания функции, а переменные описываются, используя имя структуры как имя нового типа. Точка с запятой в конце описания структуры должна обязательно присутствовать.

В качестве примера опишем структуру `Student` с двумя полями: `name`, `number`.

```
struct Student
{       char name[20];
        int number;
};
void main()
{ Student st;
  ...
}
```

Доступ к элементам структуры осуществляется посредством операции *"точка"* над структурной переменной, например:

```
st.name   - поле name переменной st.
st.number - поле number переменной st.
```

Возможности структур

1. При описании структурной переменной возможна начальная инициализация ее полей. Для этого начальные значения соответствующих типов записываются в фигурных скобках аналогично инициализации массива. Например, для структуры `Student`:

   ```
   Student st = {"P.Norton",200083 };
   ```

2. Присваивание структурных переменных.

   В языке реализована возможность прямого присваивания структурных переменных. В этом случае происходит просто копирование области памяти, занимаемой переменной-источником, в переменную-приемник. Например:

```
st1 = st;
```

3. Доступ к элементам структур через указатели.

   Можно описать указатель на структурную переменную. Если теперь установить этот указатель на переменную типа структуры, то доступ к элементам структуры осуществляется операцией ->. Операция описывается двумя символами: *"минус*" и *"больше"*. Например:

```
Student *p = &st.
p->name;    // Имя
p->number;  // Номер
```

Примечание

Операцию -> следует называть *селектором выбора*.

Приведем пример программы с использованием структуры в листинге 1.15.

Листинг 1.15. Программа, в которой используется структура

```
#include <iostream.h>
struct Student
{ char name[20];
  int number;
};
void main()
{ Student st = {"P.Norton",200083 };
  Student *p, st1;
  st1 = st;
  p = &st1;
  cout << p->name << '\t' << p->number << endl;
}
```

В этом примере видно еще одно принципиальное отличие структуры от массива, а именно: если имя массива — это указатель на начало массива, то имя структуры — это сама структура, что позволяет осуществлять операции присваивания, а при присваивании значения указателю структурной переменной требуется операция "взятия адреса" `p = &st1;`.

4. Возможность описания указателя структуры внутри структуры.

   Часто возникает проблема при описании структуры описать там указатель на эту же структуру, и хотя описание структуры еще не завершено, формат языка это позволяет. Например, опишем структуру `List`, представляющую собой однонаправленный список, где в качестве данных опишем переменную типа `int` и указатель на эту же структуру `List` (листинг 1.16).

Листинг 1.16. Программа, создающая список и выводящая его содержимое на консоль

```
#include <iostream.h>
struct List
{ int dat;
  List* next;
};
void main()
{    int i;
     List *p, *heap = new List;   // Начало списка
     for (p = heap, i = 0; i < 10; i++)
     { p->dat = i;
       p = p->next = new List; // Порождаем следующий элемент списка
     }
     for (p = heap, i = 0; i < 10; i++)
     {
      cout << p->dat << endl;
      p = p->next; // Читаем указатель следующего элемента списка
     }
}
```

Здесь мы описали два указателя: `heap` — для указания начала списка, `p` — для передвижения по списку; и простую переменную, как счетчик цикла. В отличие от массива, наш список будет "разбросан" по памяти, поскольку оператор `new` выделяет первые свободные блоки памяти, но это неважно, поскольку мы передвигаемся по списку, используя сохраненные в самом списке адреса: `p = p->next;`.

Объединения

Объединения похожи на структуры, но выполняют несколько иные функции. В объединении все переменные начинаются с одного адреса, они совмещены в памяти, что позволяет интерпретировать одну и ту же область памяти, как

данные разного типа. Размер объединения определяется максимальным размером переменной.

Формат объединения отличается от структуры только служебным словом `union`:

```
union имя {
              тип1   имя переменной 1;
              тип2   имя переменной 2;
              ...
          };
```

Объединение, как и структура, определяет новый тип данных и описывается, как правило, вне описания функции, а переменные описываются, используя его имя как имя нового типа. Точка с запятой в конце описания объединения должна обязательно присутствовать.

Доступ к элементам объединения осуществляется так же, как к элементам структуры — через точку для имени объединения, или по селектору, для обращения через указатель.

Например, имеется 4 флага, и мы хотели бы сократить время для операций с несколькими флагами сразу. Для простоты рассмотрим, как можно обнулить все флаги одной операцией (листинг 1.17).

Листинг 1.17. Пример программы с объединением

```
#include <iostream.h>
union Flag
{ long g;
  char ch[4];
};
void main()
{
Flag fl;
fl.ch[0] = 1;
fl.ch[1] = 2;
fl.ch[2] = 4;
fl.ch[3] = 8;
cout << "Flag = " << hex << fl.g << endl;
fl.g = 0;                    // Все флаги равны 0
cout << "Flag = NULL\n";
for (int i = 0; i < 4; i++) cout << (int)fl.ch[i] << endl;
}
```

Мы описали объединение, как переменную типа `long`, и, одновременно, в виде массива типа `char`. Теперь для переменной типа `Flag` мы можем рабо-

тать с каждым флагом независимо, или, используя операцию с переменной типа `long`, обнулить все флаги простой операцией присваивания `fl.g = 0;`.

Здесь нужно пояснить некоторые особенности использования операторов вывода. Так, присутствие в потоке вывода конструкции `<< hex` означает вызов так называемого манипулятора для вывода последующего числа в шестнадцатеричной форме, чтобы мы могли увидеть значение отдельных флагов, действительно получив число `8040201`, мы сразу видим каждый байт — это двузначное шестнадцатеричное число:

```
01 02 04 8.
```

В следующем операторе вывода мы хотели вывести каждый символ в виде целого числа, поэтому мы поставили оператор явного преобразования типа: `(int)fl.ch[i]`.

Описание головного модуля

Описание функции `main()` допускает три формы:

1. `main()` без параметров.
2. `main(int argc,char *argv[])`,

   где:

   - `argc` — количество переданных параметров;
   - `argv[0]` — имя программы;
   - `argv[1]` — первый параметр командной строки;
   - ...
   - `argv[n]` — n-й параметр.
3. `main(int argc, char *argv[], char *envp[])`,

   где `envp[]` — массив указателей на переменные окружения.

При запуске программы из командной строки параметры разделены пробелом, причем первым параметром по умолчанию считается имя запускаемого файла (пример такой программы см. в листинге 1.18).

Листинг 1.18. Пример программы, которая запускается с параметрами в командной строке и выводит эти параметры на экран монитора

```
#include <iostream.h>
main(int n, char *arg[])
{
       for (int i = 0; i < n; i++) cout << arg[i] << endl;
}
```

Запуск программы `c:\work>test a b c`.

Вывод:

```
test.exe
a
b
c
```

Можно просмотреть *переменные среды окружения*, учитывая, что массив указателей заканчивается нулевым значением (листинг 1.19).

Листинг 1.19. Программа вывода переменных среды окружения

```
#include <iostream.h>
main(int n, char *arg[], char *env[])
{
       cout << "Environment:\n";
       for (int i = 0; env[i]; i++) cout << env[i] << endl;
}
```

Вывод:

```
Environment:
ALLUSERSPROFILE=C:\Documents and Settings\All Users
APPDATA=C:\Documents and Settings\Application Data
CLIENTNAME=Console
CommonProgramFiles=C:\Program Files\Common Files
COMPUTERNAME=MASTER
ComSpec=C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
HOMEDRIVE=C:
HOMEPATH=\Documents and Settings\
include=
INTDIR=
lib=
LOGONSERVER=\\MASTER
NUMBER_OF_PROCESSORS=1
OS=Windows_NT
OUTDIR=
Path=C:\WINDOWS\system32;C:\WINDOWS;C:\WINDOWS\System32\Wbem;
PATHEXT=.COM;.EXE;.BAT;.CMD;.VBS;.VBE;.JS;.JSE;.WSF;.WSH
PROCESSOR_ARCHITECTURE=x86
...
```

Вопросы к главе

1. Назначение директив препроцессора `#include`, `#define`.
2. Этапы создания проекта консольного приложения в среде Visual Studio 6.0.
3. Основные типы данных классического языка C, новые типы данных C++. Диапазон значений, размер типа.
4. Запись констант в языке C++. Управляющие символьные константы. Особенности записи строковых констант.
5. Формат описания переменных, инициализация переменных, константные переменные.
6. Классы памяти.
7. В чем своеобразие операции присваивания языка C++?
8. Арифметические операции, приоритеты операций.
9. Правила неявного преобразования типов. Форматы явного преобразования типов.
10. Операции `++` и `--`. Префиксное и постфиксное использование.
11. Битовые операции, их использование для преобразования данных.
12. Комбинированные операции.
13. Операции отношения.
14. Логические выражения и операторы.
15. Оператор перехода `goto`, целесообразность его использования.
16. Условный оператор `if ... else`. Сокращенная и полная форма записи оператора.
17. Условный арифметический оператор `()?`.
18. Три формы операторов цикла. Вспомогательные операторы `break`, `continue`.
19. Переключатель `switch`.
20. Описание одномерного массива и массивов большей размерности. Инициализация массива.
21. Указатели, их описание. Имя массива — указатель? Операция "взятия адреса", разадресация указателя. Арифметика указателей.
22. Как определить псевдоним типа данных?
23. Операторы выделения и освобождения памяти для переменной и массива.

24. Ссылочный тип данных. Связь с указателями.
25. Структура — пользовательский тип данных. Доступ к элементам структуры по имени и через указатель. Операция присваивания для структур.
26. Объединение, его назначение.
27. Механизм передачи параметров головному модулю C++-программы.

Задание для самостоятельной работы

1. Напишите программу, реализующую арифметические операции с целыми типами данных. Посмотрите, как работает операция вычисления остатка от деления "`%`" с отрицательными числами.
2. Напишите программу, в которой умножение и деление целого числа на 2^n реализуется при помощи логических сдвигов.
3. Найти порядок `n` для целого числа `k` < 2^n при помощи операций сдвига.
4. Реализуйте программу решения квадратного уравнения с обязательной проверкой существования действительных корней, а также кратного корня. Функцию вычисления квадратного корня `sqrt()` найдите в файле включений `math.h`.
5. Составьте программу табулирования функций: `sin(x)`, `cos(x)`, x^2, $\sqrt{x}$ на интервале `[0, π/2]`.
6. Определите одномерный массив из 10 чисел с плавающей точкой в тексте программы. Вычислите минимальное и максимальное значение и позиции этих чисел в массиве, сумму элементов массива и среднее значение.
7. Решите предыдущую задачу с вводом 10 чисел с консоли.
8. Определите двумерный массив размером 4×4 из целых чисел в тексте программы. Вычислите минимальное значение в каждой строке, сумму элементов массива в каждом столбце. Найдите сумму и произведение элементов главной и побочной диагонали.
9. Решите предыдущую задачу, вводя матрицу значений с консоли.
10. Написать программу, которая вводит целое число `n` и выделяет память для массива из `n` данных типа `char`, `int`, `double`. Перед завершением работы программы память освободить.
11. Написать программу, которая вводит строку текста, разделяет ее на слова и выводит их на консоль по слову на строку. Разделителем слов считать пробел и знаки пунктуации, а для выделения слов использовать функцию `strtok()`.

12. Написать функцию `left()`, принимающую количество символов, текстовую строку и выделяющую `n` символов в начале строки. Функция должна выделить память и вернуть указатель на возвращаемую строку.
13. Аналогично, написать текст функции `right()`, выделяющей `n` символов в конце строки.
14. Написать текст функции `strcat()`, "склеивающей" две текстовые строки. Функция принимает указатели на две строки `s1` и `s2`, выделяет память для "склеенной" строки и возвращает ее указатель.
15. Написать текст функции `strchr()`, которая ищет первое появление в строке заданного символа. Функция возвращает указатель на найденный символ или нулевой указатель, если символ не найден.
16. Рассмотрите реализацию метода половинного деления для решения трансцендентного уравнения и напишите программу, реализующую для этой цели метод Ньютона.
17. Рассмотрите приведенный в тексте пример суммирования бесконечного ряда и, по аналогии, напишите программу табулирования с точностью 10^{-8} на отрезке `[0; π/2]` функции:

$$\cos(x) = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \cdots + \frac{-1^{\,n}\, x^{2n}}{2n\ !} - \cdots$$

18. Создать структуру `COMPLEX` для записи комплексных чисел. Реализовать арифметические операции с комплексными числами: `+`, `-`, `*`, `/`. Написать функцию `print()` для вывода на консоль комплексного числа.
19. Рассмотреть пример однонаправленного списка, построенного на структуре `List`. Измените структуру так, чтобы получить возможность передвигаться по списку не только вперед, но и назад (двунаправленный список).
20. Напишите программу, которая выводит на консоль значение переменной окружения "`OS`", используя формат функции `main()` с тремя параметрами.

ГЛАВА 2

Классы

Принципиальное отличие языка программирования C++ от классического C заключается в наличии в последнем классов. Идея введения классов заключалась в том, чтобы объединить данные и те функции, которые с этими данными работают. Функции в данном контексте будут называться *методами*. Мы уже рассматривали структуры, которые объединяют данные различных типов в один объект, так вот, если сюда добавить и функции, которые в данном контексте будут называться методами, то мы получим *класс*.

Синтаксис описания класса:

```
class имя
{
  private: определение переменных и
         закрытых членов класса
  public:  определение открытых членов класса
};
```

Введение классов существенно изменило стиль программирования, и если классический язык C был языком процедурным, то C++ стал языком объектно-ориентированным. В связи с этим появилось желание вообще скрыть переменные класса от внешнего мира и позволить работать с ними напрямую только членам своего класса, что называется *инкапсуляцией*, или сокрытием данных. Механизм реализован введением служебного слова `private`, которое определяет все, что стоит после него, как закрытые члены класса. И, соответственно, служебное слово `public` определяет открытые члены класса. По умолчанию все члены класса определяются как закрытые.

Вообще-то определить функции можно и в структуре. Практически все, что мы будем описывать как свойства класса, относится и к структуре, а единственным принципиальным отличием будет то, что все члены структуры, по умолчанию, объявляются как открытые, в то время как все члены класса, по умолчанию, закрытые.

Создание нового класса в среде Visual C++ 6.0

Рассмотрим технику создания класса на примере простого класса `Time`.

1. Точно так же, как для простого приложения, создадим пустой проект для 32-битного консольного приложения (**Win32 Console Application**).
2. Добавим в проект файл для описания головной функции **C++ Source File**, зададим его имя, например, `main`. (Расширение имени файла .cpp добавится автоматически.)
3. В окне **Workspace** перейдем на вкладку **ClassView**. Установив курсор мыши на имя **Time classes**, выберем в контекстном меню пункт **New Class**. Введем имя класса `Time` (рис. 2.1), после чего будут автоматически созданы заготовки для класса: файл Time.h и файл реализации Time.cpp (рис. 2.2).
4. Будем описывать класс сразу в заголовочном файле, поэтому файл реализации Time.cpp просто удалим из проекта (выделить и нажать клавишу <Delete>).
5. В заголовочном файле Time.h приведены прототипы для конструктора и деструктора. Деструктор (его имя ~Time) пока удалим. В листинге 2.1 приведен текст файла Time.h для дальнейшей работы.

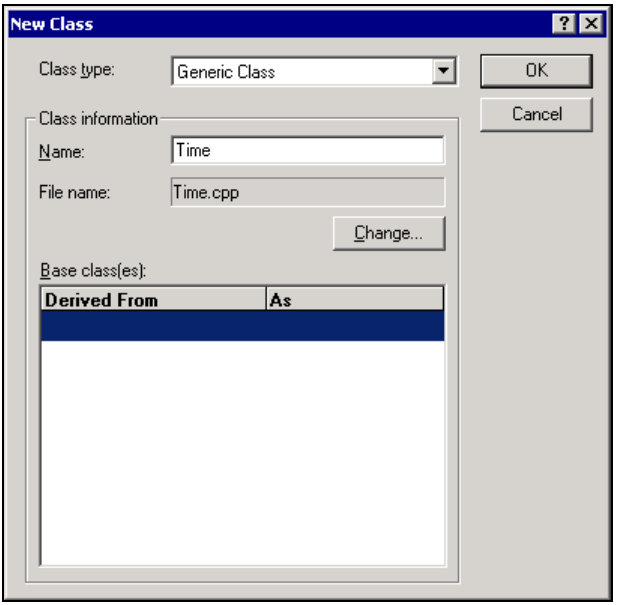

Рис. 2.1. Окно создания нового класса

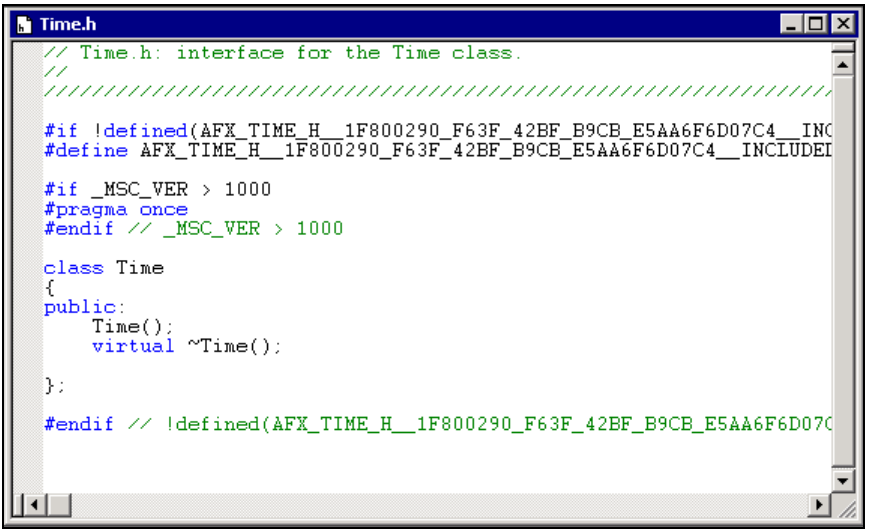

Рис. 2.2. Заготовка файла Time.h

Листинг 2.1. Текст файла Time.h с описанием класса работы со временем `Time`

```
#include <iostream.h>
#include <iomanip.h>
class Time
{private: int hours;  // Часы
        int minutes;   // Минуты
public:
        Time(): hours(0), minutes(0) { }
        Time(int h, int m = 0): hours(h), minutes(m) { }
        Time(Time& t): hours(t.hours), minutes(t.minutes) { }
        int gethours() { return hours;}
        int getminutes() { return minutes;  }
        void set(int h = 0, int m = 0)
        { hours = h; minutes = m; }
        void addmin(int m)
        { minutes += m;
        hours += minutes/60;
        minutes %= 60;
}
        void addhours(int h){ hours += h;    }
        void show()
        { cout<<setw(2)<<hours<<':'<<setw(2)<<minutes<<endl;}
        Time operator + (Time& t)
```

```
        { Time tmp;
        tmp.minutes = minutes + t.minutes;
        tmp.hours = hours + t.hours + tmp.minutes/60;
        tmp.minutes %= 60;
        return tmp;
}
};
```

Заполним файл main.cpp следующим текстом с описанием головной функции (листинг 2.2).

Листинг 2.2. Файл, содержащий головную функцию программы

```
#include "Time.h"     // Подключение файла с описанием класса
void main()
{
        Time t, tf, tw(8);     // Создание объектов конструктором
        cout << setfill('0');  // Шаблон заполнения
        tw.show();     // Вызов метода
        tw.addmin(90);
        Time k = tw;   // Работает конструктор копирования
        k.show();
        t.addhours(-4);
        t.show();
        tw.set(1,3);
        tf.set(5);
        t = tw + tf;   // Перегруженный оператор суммирования
        t.show();
}
```

Подробное описание класса *Time*

Вначале описываем две переменных целого типа, как закрытые члены класса.

```
private: int hours;   // Часы
         int minutes; // Минуты
```

Затем, в открытой части класса, описываем *конструктор* по умолчанию:

```
Time(): hours(0), minutes(0) { }
```

Примечание

Важно то, что конструктор описывается именно в открытой части класса, в противном случае мы не смогли бы создать ни одного объекта этого класса.

Задача этого конструктора заключается в присваивании начального значения переменным. Только после описания конструктора по умолчанию мы можем описывать в программе переменные без задания начальных значений:

```
Time t;
```

Одной из особенностей языка C++ является то, что при создании любого объекта компилятор автоматически использует конструктор, что позволяет избежать проблем, связанных с начальной инициализацией переменных. Более того, если мы не опишем в классе ни одного конструктора, то компилятор сам построит конструктор по умолчанию, правда делать он ничего не будет.

Здесь нужно еще отметить довольно своеобразный для классического C способ инициализации переменных, а именно после двоеточия пишем:

```
hours(0), minutes(0).
```

По сути, это конструктор для простых типов данных, который введен в C++ для единообразия описания классов и простых типов. Тело же конструктора останется пустым, поскольку делать больше ничего не нужно. Можно было описать конструктор так:

```
Time(){hours = minutes = 0;}
```

но конструктор, приведенный выше, считается предпочтительнее.

Примечание

Так можно инициализировать переменные только в конструкторе и описании переменной.

Однако, если бы все ограничивалось конструктором по умолчанию, нам пришлось бы строить метод для присваивания переменным значения. У нас есть необходимость создавать объект `Time` с заданием `hours`, а также задавать сразу оба параметра: `hours`, `minutes`. Проблема здесь заключается в том, что конструктор класса должен однозначно определяться компилятором, поэтому разработчиками языка принято простое решение — имя конструктора должно совпадать с именем класса, однако для идентификации конструктора, как и любой другой функции, компилятор использует не только имя, но также тип и количество параметров. Таким образом, нет никаких проблем в создании нескольких функций с одинаковыми именами, но различающихся типом и количеством параметров.

Опишем еще один конструктор с двумя параметрами, который позволит задать значение часов и минут при создании объекта.

```
Time(int h, int m = 0): hours(h), minutes(m) { }
```

Здесь мы немного сэкономили и вместо того, чтобы сперва описать конструктор с одним параметром, а только потом с двумя, совместили все в одном

описании. Просто воспользовались возможностью задания значения по умолчанию для второго параметра. Таким образом, этот конструктор будет работать как с одним параметром, так и с двумя. Теперь можно описывать переменные так:

```
Time t1(12), t2(17,15);
```

В первой переменной установлено время 12:00, во второй — 17:15.

И наконец, опишем конструктор, который принимает в качестве параметра переменную типа своего же класса. Это так называемый *конструктор копирования*, и это один из тех случаев, когда значение должно приниматься только по ссылке. Действительно, для организации обращения к этому конструктору при передаче экземпляра класса по значению компилятор должен построить копию этого экземпляра в стеке, но это можно сделать только при помощи конструктора копирования, который еще не создан. При передаче же параметра по ссылке фактически произойдет передача указателя на объект.

```
Time(Time& t): hours(t.hours), minutes(t.minutes) { }
```

Здесь видно, как мы получаем доступ к переменным экземпляра класса, а именно `t.hours, t.minutes` точно так же, как и к элементам структуры.

Мы рассмотрели описание трех конструкторов класса `Time`. *Конструкторы* — это специальные методы класса, они отличаются от прочих двумя основными признаками: во-первых, имя конструктора совпадает с именем класса, а во-вторых, — они не имеют возвращаемого значения. Как же компилятор разберется, какой конструктор должен работать? А очень просто, по количеству и типу параметров. Если переменная объявляется без параметров, то работает конструктор по умолчанию, если используются один или два параметра — конструктор со значением по умолчанию, если же в качестве параметра выступает экземпляр этого же класса или же при описании используется явное присваивание, например:

```
Time k = tw;
```

копирующий конструктор. Все это называется *перегрузкой методов*.

Далее два метода, возвращающие часы и минуты в виде целого числа:

```
int gethours() { return hours;}
int getminutes() { return minutes;  }
```

Методы выглядят очень просто и состоят из одного оператора `return`, который возвращает соответственно часы и минуты. Это издержки объектно-ориентированного подхода, который запрещает прямой доступ к переменным класса. Обычно столь простые методы объявляют как `inline`-функции, что служит рекомендацией компилятору вместо построения функции встроить соответствующий код.

Эти методы можно было описать так:

```
inline int gethours() { return hours;}
inline int getminutes() { return minutes;  }
```

В этом случае компилятор сам определяет оптимальный вариант и либо встраивает код, либо игнорирует наше пожелание и строит метод обычным способом.

Метод `set()` устанавливает значение переменных, причем предусмотрены значения по умолчанию, что позволит обращаться к методу как без параметров, так с одним или двумя параметрами.

```
void set(int h = 0, int m = 0)
{ hours = h; minutes = m; }
```

Следующий метод добавляет минуты к переменной `minutes`. Нужно учесть случай, когда суммарное количество минут превысит 60. В этом случае мы добавляем часы, а минуты получаются как остаток от деления минут на 60.

```
void addmin(int m)
{ minutes += m;
  hours += minutes/60;
  minutes %= 60;
}
```

Часы прибавляем в методе `addhours()`.

```
void addhours(int h){ hours += h;   }
```

Для отображения результата создадим метод `show()`. Здесь мы используем манипулятор потока вывода `setw(2)`, который обеспечит вывод в поле размером в два символа. Однако для его использования необходимо подключить заголовочный файл iomanip.h, где описаны все потоковые манипуляторы. (Про манипуляторы потока ввода поговорим подробнее в *главе 3*, когда будем рассматривать потоковый ввод/вывод.)

```
void show()
{ cout<<setw(2)<<hours<<':'<<setw(2)<<minutes<<endl;}
```

И, наконец, перегрузим оператор `+` для класса `Time`. Как видно из примера, *перегрузка оператора* отличается от описания метода лишь тем, что вместо имени метода мы пишем `operator +`. Это называется перегрузкой оператора, потому что можно переопределить лишь существующий оператор и нельзя ввести новый. Оператор должен вернуть экземпляр класса `Time`, поэтому мы описываем переменную типа `Time`, определяем ее поля и возвращаем результат оператором `return`.

```
Time operator + (Time& t)
{ Time tmp;
  tmp.minutes = minutes + t.minutes;
  tmp.hours = hours + t.hours + tmp.minutes/60;
  tmp.minutes %= 60;
  return tmp;
}
```

Вообще-то обычно такие операторы имеют возвращаемое значение по ссылке, но мы рассмотрим этот вариант чуть позже.

Формализм языка предполагает, что при перегрузке оператора, по умолчанию, в качестве первого операнда используется текущий экземпляр класса. Теперь мы вправе использовать выражения типа `tw + tf`.

Примечание

На самом деле, при построении любого метода компилятор в качестве первого параметра автоматически ставит ссылку на текущий объект.

Обычно, при разработке больших классов, описание класса и реализацию методов строят в разных файлах, поэтому построим, для примера, этот же класс, используя для методов отдельный файл реализации. В листинге 2.3 представлен заголовочный файл Time.h, в листинге 2.4 — файл реализации Time.cpp.

Листинг 2.3. Файл Time.h

```
#include <iostream.h>
#include <iomanip.h>
class Time
{
private: int hours;
         int minutes;
public:// Здесь только объявления методов
         Time();
         Time(int h, int m = 0);
         inline int gethours();
         inline int getminutes();
         void addmin(int m);
         void addhours(int h);
         void set(int h = 0, int m = 0);
         void show();
         Time operator + (Time t);
};
```

Листинг 2.4. Файл Time.cpp

```
#include "Time.h"
	Time::Time(): hours(0), minutes(0) { }
	Time::Time(int h, int m): hours(h), minutes(m) { }
	inline int Time::gethours() { return hours;}
	inline int Time::getminutes() { return minutes; }
	void Time::addmin(int m)
	{
		minutes += m;
		hours += minutes/60;
		minutes %= 60;
	}
	void Time::addhours(int h) { hours += h;}
	void Time::set(int h, int m)
	{
		hours = h;
		minutes = m;
	}
	void Time::show()
	{
	cout << setw(2) << hours << ':' << setw(2) << minutes << endl;
	}
	Time Time::operator + (Time t)
	{
		Time tmp;
		tmp.minutes = minutes + t.minutes;
		tmp.hours = hours + t.hours + tmp.minutes/60;
		tmp.minutes %= 60;
		return tmp;
	}
```

Особенность описания методов в файле реализации заключается в необходимости указывать явно *область видимости*. Перед именем каждого метода нужно указывать ее в виде `Time::`. В этом случае все переменные класса доступны внутри метода и без явного указания.

В головной функции `main()`, которая работает без изменений для обоих способов реализации класса, мы определяем три экземпляра класса и проверяем работу всех созданных методов. Отметим только, что мы использовали манипулятор шаблона заполнения `setfill('0')` в головной функции, поскольку он действует на весь последующий вывод, в отличие от манипулятора `setw(2)`, который действует только на одно выводимое значение: `cout << setfill('0')`.

Класс *String*

В качестве более серьезного примера рассмотрим класс `String`, он хорошо демонстрирует синтаксис и основные черты классов C++. Хотя существует стандартный класс `string`, но создание своего класса позволит обсудить многие проблемы ООП. Кроме того, здесь мы решим проблему использования русского алфавита, что в консольном приложении Visual C++ 6.0 является проблемой.

Под строковой переменной в классическом C понимается символьный массив, заканчивающийся символом `'\0'`. Мы же создадим класс, в котором будем хранить лишь указатель типа `char*` и отдельно, в виде целого числа, будем хранить размер символьного массива без завершающего символа `'\0'`, а память под строку будем выделять при создании переменной. Это закрытые переменные класса.

Описываем класс, снабжая его необходимыми комментариями, для простоты совместив описание методов с их реализацией. Так нам будет удобнее в дальнейшем, когда мы будем подключать описание этого класса к другим проектам.

```
#include <iostream.h>
#include <windows.h>
class String
{
private:
       char *s;       // Указатель на строку
       int n;         // Размер строки
```

Добавим статическую функцию для подсчета размера текстовой строки, чтобы не пользоваться стандартной функцией из библиотеки `string.h`. Функция будет использоваться лишь методами класса, поэтому она лежит в закрытой области.

```
// Служебная функция - длина строки
static int strlen(char *str)
{ for (int i = 0; *str++; i++);
  return i;
}
```

Примечание

Служебное слово `static` в описании функции класса означает, что она принадлежит всему классу, а не отдельному его экземпляру. В этом случае обращение к ней в описании методов класса строится как к обычной функции, а вне класса, с указанием имени класса, как области видимости.

Определим несколько конструкторов класса в открытой области класса. Конструктор по умолчанию просто обнуляет указатель `s` и размер массива `n`. Также определим конструктор, принимающий текстовую строку и формирующий экземпляр класса `String`. Для этого мы выделяем необходимую память и копируем туда символьный массив. И, наконец, копирующий конструктор, принимающий ссылку на объект `String`. Он выделяет память и создает копию объекта. Передача параметра здесь осуществляется по ссылке, причина этого обсуждалась ранее.

```
public:
// Конструктор по умолчанию
       String(): s(0), n(0) {}
// Конструктор принимает строку текста
       String(char *str)
       { n = strlen(str);
       s = new char[n];
       for (int i = 0; i < n; i++) s[i] = str[i];
       }
// Копирующий конструктор принимает экземпляр String
       String(String& T)
       {n = T.n;
       s = new char[n];
       for (int i = 0; i < n; i++) s[i] = T.s[i];
       }
```

Здесь имеется необходимость описать *деструктор* — специальный метод класса, который автоматически вызывается при уничтожении объекта. Имя деструктора совпадает с именем класса со знаком ~ (тильда) в начале. Задача деструктора — освободить ресурсы, занятые объектом, перед его уничтожением. Действительно, если просто удалить экземпляр класса `String`, то память, выделенная для строки текста, останется занятой и не сможет быть освобождена, поскольку указатель на эту область памяти уничтожен. Таким образом, мы можем "замусорить" память удаленными объектами, поэтому, если экземпляр класса получает какие-либо ресурсы, необходим деструктор, освобождающий эти ресурсы. Поскольку при создании экземпляра класса выделяется память, нам необходим деструктор, который освободит выделенную память.

```
// Деструктор освобождает память, занятую текстом
       virtual ~String() { if(s) delete[] s; }
```

Мы использовали условный оператор `if`, поскольку конструктор по умолчанию память не выделяет, лишь обнуляет указатель, и освобождать в этом случае нечего. Можно было бы опустить оператор `if`, поскольку освобождение памяти по нулевому указателю безопасно для системы.

Модификатор `virtual` создается автоматически и его можно убрать, но он будет важен, если мы хотим использовать класс `String` как родительский.

Для того чтобы иметь возможность выполнять операции типа `str1 = str2;`, необходимо перегрузить операцию присваивания. Без перегрузки оператора такое присваивание приведет к присваиванию указателей, что означает ссылку двух указателей на один строковый массив, и создаст ошибочную ситуацию при попытке деструктора освободить несуществующую память. Действительно, при удалении первого экземпляра класса, например `str1`, будет освобождена память, на которую показывает указатель `str1.s`, и при вызове деструктора второго экземпляра класса, например `str2`, будет осуществлена попытка еще раз освободить эту же память, что неизбежно приведет к системной ошибке.

Очевидно, появляется необходимость ввести специальный указатель `this`, который указывает на текущий экземпляр класса. Тогда `*this` — это сам текущий экземпляр класса.

```
// Перегрузка оператора присваивания
       String& operator = (String& st)
       {// Проверка на самоприсваивание
         if (&st == this) return *this;
         if (s) delete[] s;  // Удаление старого содержимого
         n = st.n;
         s = new char[n];    // Выделение памяти
         for (int i = 0; i < n; i++) s[i] = st.s[i]; // Копирование
         return *this;
       }
```

Что важно в перегрузке оператора присваивания, так это возвращаемое значение в виде экземпляра класса `String`, причем по ссылке. Это позволяет использовать многократное присваивание типа `s1 = s2 = s3`, а возвращение значения по ссылке является общепринятой практикой и позволяет избегать передачи через стек больших блоков данных.

Приступим к описанию необходимых методов. Самый простой метод возвращает размер текста в экземпляре `String`.

```
int length() { return n; }
```

Извлечение символа с индексом `k`.

```
char at(int k) { return (k >= 0 && k < n)? s[k] : '\0'); }
```

Установить символ.

```
void setchar(char ch, int k) {if (k >= 0 && k < n) s[k] = ch;}
```

Для двух предыдущих методов вполне логично проверить, не выходит ли индекс за границы строки $k \in [0, n)$? И если для функции `at()` вполне логично вывести нулевой байт в случае ошибки, то функция `setchar()` просто ничего не делает.

Удаление фрагмента строки со склеиванием.

```
void erase(int start, int end)
{ int i, j, k = n + start - end -1;
char *p = new char[k];
for (i = 0; i < start; i++)  p[i] = s[i];
for (i--,j = end; i < k; i++, j++)  p[i] = s[j];
delete[] s;
s = p;
n = k;
}
```

Мы вычисляем новую длину строки и выделяем под нее память, затем копируем туда начало строки и дописываем далее остаток строки. После этого память под исходной строкой удаляется, указатель новой строки присваивается переменной `s` экземпляра класса, а размер строки — переменной `n`.

Вставка строки с `k`-й позиции объекта `String` (текст раздвигается).

```
void insert(int k, char *str)
{ int i, j, len = strlen(str);
char *p = new char[n + len];
for (i = 0; i < k; i++)p[i] = s[i]; // Начало строки
for (j = k; j < k + len; j++)       p[j] = *str++; // Вставка
n += len;
for (; j < n; i++,j++)       p[j] = s[i]; // Конец строки
delete[] s;           // Освобождаем память, занятую текстом
s = p;
}
```

Здесь поступаем аналогично предыдущему методу, только строку `str` добавляем к тексту с `k`-й позиции.

Добавление строки к концу объекта `String`.

```
void append(char *str)
{ int len = strlen(str);
int i, k = n + len;
char *p = new char[k];
for (i = 0; i < n; i++) p[i] = s[i];
for (; i < k; i++) p[i]= *str++;
```

```
delete[] s;
s = p;
n = k;
}
```

Метод отличается от метода `insert()` только тем, что строка добавляется в конец текста.

Чтобы иметь возможность использовать класс `String` с контейнерами стандартной библиотеки шаблонов `STL`, нужно перегрузить операторы сравнения `==, !=, <, >`. Понятие "одна строка больше другой" здесь рассматривается в лексикографическом смысле, т. е. если код символа одной строки больше, чем код символа другой строки, то строка считается большей. Если размеры строк не совпадают, то любой символ больше отсутствующего символа. Напомним, что при перегрузке оператора в качестве первого операнда по умолчанию используется текущий экземпляр класса `*this`.

```
// Сравнение объектов String ==
bool operator == (String& s2)
{ if (n != s2.n) return false; // Размеры строк должны совпадать
for (int i = 0; i < n; i++) if (s[i] != s2.s[i]) return false;
  return true;
}
// Сравнение объектов String !=
bool operator != (String& s2)
{
 return !(*this == s2);
}
// Сравнение объектов String <
bool operator < (String& s2)
{
int k = (n < s2.n)? n : s2.n;
for (int i = 0; i < k; i++)
{ if (s[i] == s2.s[i]) continue;
return (s[i] < s2.s[i])?  true : false;
}
return (n < k)? true : false;
}
// Сравнение объектов String >
       bool operator > (String& s2)
       {
         return !(*this < s2 || *this == s2);
       }
```

Перегрузка оператора + для "склеивания" объектов String. После описания оператора возможна операция s = s1 + s2;, где все переменные типа String. Здесь принципиально важно создать экземпляр класса String оператором

```
String *temp = new String;
```

поскольку только в этом случае объект не будет уничтожен при выходе из метода и может быть использован в качестве возвращаемого значения, которое принимается перегруженным оператором присваивания.

```
String& operator + (String& str)
{ int i,j, k = n + str.n;
char *p = new char[k];
String *temp = new String;
for (i = 0; i < n; i++) p[i] = s[i];
for (j = 0; i < k; i++,j++) p[i] = str.s[j];
temp->s = p;
temp->n = k;
return *temp;
}
```

Некоторыми особенностями обладает оператор преобразования типа для экземпляра класса. Поскольку тип преобразования указывается явно, то он и является возвращаемым значением и не описывается как тип возвращаемого значения.

Формат оператора преобразования типа:

```
operator тип () {
                . . .
                 return возвращаемое значение;
                }
```

В реализации оператора нам необходимо выделить память под строку, скопировать туда символьный массив из экземпляра класса String, не забывая добавить признак конца строки '\0', и вернуть указатель на строку.

```
// Преобразование типа: String в строку char*.
operator char* ()
{ char *p = new char[n+1];
for (int i = 0; i < n; i++) p[i] = s[i];
p[i] = '\0';
return p;
} // Сейчас возможно выражение: char *str=s; где s типа String.
```

Мы перегрузим оператор вывода на консоль для того, чтобы иметь возможность выводить переменную s типа String простой операцией cout << s. По-

путно решим проблему с выводом кириллического текста. Проблема здесь заключается в том, что в консольном приложении Visual C++ 6.0 принята кодировка ANSI, нам же при выводе необходимо преобразовать ее в стандартный ASCII-код. Это можно сделать при помощи функции `CharToOem(ANSI,ASCII)`, прототип которой помещен в файл включений `windows.h`. К сожалению, функция не имеет возвращаемого значения, поэтому мы описываем два промежуточных массива типа `char`, проводим преобразование и выводим преобразованный текст на консоль. Нужно также добавить и файл включений `iostream.h` для операторов потокового ввода/вывода.

Здесь нужно решить две проблемы:

- Первая проблема заключается в том, что оператор вывода не может быть членом класса, поскольку по имеющемуся соглашению в выражении:

  ```
  операнд1 ОПЕРАЦИЯ операнд2
  ```

  первый операнд должен быть экземпляром класса, но мы имеем выражение `cout<< s`, и здесь первым операндом является потоковая переменная `cout`. Решение проблемы может быть лишь в перегрузке оператора, не являющегося членом класса, но в таком случае мы не можем описывать его в классе и не имеем доступа к закрытым переменным класса. Можно, конечно, получить доступ к значению переменных при помощи специальных методов, но есть более элегантное решение этой проблемы. Достаточно объявить оператор *дружественным* (служебное слово `friend`), и тогда мы можем напрямую получить доступ к закрытым членам класса и описать оператор в классе.

Примечание

Есть мнение, что введение дружественных операторов и функций разрушает концепцию объектно-ориентированного программирования, и их использование должно быть ограничено.

- Вторая же проблема заключается в том, что использовать в качестве возвращаемого значения? Можно вообще ничего не возвращать, но в этом случае невозможно будет использовать выражения типа:

  ```
  cout << s1 << s2 << endl;
  ```

  Действительно, для того чтобы работал оператор `<< s2`, необходимо слева иметь потоковую переменную `cout`. То есть выражение `cout << s1` должно вновь вернуть поток вывода, а потоки принято передавать по ссылке. (По значению поток передать вообще нельзя.)

  В качестве параметров оператора будет поток вывода и экземпляр класса `String`. Оба параметра будем передавать по ссылке.

```
    friend ostream& operator << (ostream& out, String& str)
    {
      char *st = str; // Используем неявное преобразование типа
      char *BufRus = new char[str.n+1];
      CharToOem(st,BufRus);      // Перекодировка ANSI->ASCII
      out << BufRus;
      delete[] BufRus;           // Освобождение памяти
      return out;
    }
```

Перегрузка оператора ввода с консоли будет реализована симметрично оператору вывода, только вместо функции `CharToOem(ANSI,ASCII)` будет использована функция `OemToChar(ASCII,ANSI)`, обеспечивающая обратное преобразование. Нам остается лишь выделить необходимую область памяти для текста и скопировать туда символьный массив. Для этих операторов возвращаемым значением является поток, что обеспечивает возможность агрегатного использования, например: `cin >> s1 >> s2;`

```
    friend istream& operator >> (istream& in, String& str)
    {
      char ch, st[256], BufRus[256];
      in.getline(st,256);        // Вводим строку
      int i = strlen(st);
      OemToChar(st,BufRus);      // Перекодировка ASCII->ANSI
      char *p = new char[i];
      for (int j = 0; j < i; j++) p[j] = BufRus[j];
      str.s = p;
      str.n = i;
      return in;
    }
};
```

Конечно, можно добавить еще методы, перегрузить еще несколько операторов, но это уже непринципиально. На примере разработки этого класса мы рассмотрели описание переменных, статических функций, создание методов и перегрузку операторов. Можно найти более эффективные решения, но здесь на первом месте стояла ясность изложения. Также совсем не рассматривались вопросы обработки ошибочных ситуаций, что вообще-то нелишне. Все эти вопросы мы оставляем для дальнейшего рассмотрения. Далее, в листинге 2.5, приведен листинг тестирующей головной функции.

Листинг 2.5. Тестирующая головная функция

```
#include "String.h"
void main()
```

```
{
String str, t("String main"), text(t);      // Три конструктора
// Безымянный объект String преобразуется в строку
char *p = String(" add");
cout << t << endl;
text.append(p);                             // Добавить строку
cout << text << endl;
String s("1");
str = text + s;                             // Склеивание строк
cout << str << endl;
// Заменим пробелы подчеркиванием
for (int i = 0;i < text.length(); i++)
       if (text.at(i) == ' ') text.setchar('_',i);
cout << text << endl;
text.erase(7,11);                   // Удалить слово
cout << text << endl;
cout << String("Русский текст: ");
cin >> t;                           // Ввести русский текст
cout << t << endl;
}
```

Пространство имен

При разработке сложных программных комплексов группами программистов часто возникает проблема совпадения имен переменных в различных частях программы, иногда и в небольшой программе удобнее использовать некие стандартные имена объектов. Для разрешения коллизий, возникающих в подобных ситуациях, введено понятие *пространства имен*. По умолчанию пространством имени переменной является блок, ограниченный фигурными скобками, в котором эта переменная объявлена. Для переменной, объявленной на глобальном уровне, пространством имен будет весь файл. Например:

```
const int N = 10;     // Область действия – до конца файла
{ int number;         // Область действия – до закрывающейся скобки
  ...
}
```

Можно, однако, явно объявить собственное пространство имен директивой:

```
namespace имя
{
  ...
}
```

Например:

```
namespace user
{ int k, r;
  ...
}
```

Доступ к переменным из именованной области осуществляется следующими способами:

1. Можно использовать директиву `using`, которая открывает доступ к переменным именованного блока, как к собственным именам, например:

   ```
   using namespace user;
   int m = k/2;
   ```

2. Можно сделать доступной отдельную переменную из другой области видимости, например:

   ```
   using user:: k;
   ```

3. Можно для каждой переменной указывать ее область видимости директивой `имя::`, например:

   ```
   int m = user::k/2;
   ```

Специальное имя "`::`" означает глобальный уровень. Например, пусть у нас имеется переменная, объявленная как на глобальном уровне, так и в отдельном блоке:

```
int k = 1;
{ int k = 2;
  int m = k;   // m = 2; локальная переменная
  int q = ::k; // q = 1; глобальная переменная
  ...
}
```

Подробнее с этими вопросами мы будем знакомиться по мере необходимости, пока же нас интересует *стандартное пространство имен* `std`, где размещена стандартная библиотека языка C++. Для того чтобы иметь доступ к области имен стандартной библиотеки, нам нужно написать директиву:

```
using namespace std;
```

Теперь, если нам необходим доступ к области стандартных имен, мы все свои программы будем начинать с этой директивы. Но здесь имеется одна проблема, дело в том, что для совместимости с классическим языком C разработчики C++ сохранили старые C-библиотеки, но эти старые функции могут конфликтовать в области имен `std`. Для разрешения таких коллизий старые биб-

лиотеки были переработаны и получили новые имена, из которых исключено расширение "h", а в начале имени добавлен префикс "c" — си, так библиотека string.h стала называться cstring.

Для классов объявлять область имен не имеет смысла, поскольку, по умолчанию, имя класса — это и есть имя этой области. Часто возникает ситуация, когда одна область имен включена внутрь другой, в этом случае полное имя указывается последовательным перечислением всей иерархии имен, например: std::ios::eof();.

Наследование

Рассмотрим еще одно важное свойство классов — это способность *наследования*. Класс может наследовать переменные и методы другого класса и обращаться с ними как с собственными переменными и методами. Рассмотрим, например, такие схемы:

```
class A
{
. . .
};
class B : public A
{
. . .
};
class C : public B
{
. . .
};
```

```
class A
{
. . .
};
class B
{
. . .
};
class C : public A, public B
{
. . .
};
```

Смысл этих схем достаточно прозрачен: в первом случае класс B является наследником класса A, а класс C наследует от B; во втором случае классы A и B независимы, а класс C является наследником сразу двух классов *(множественное наследование)*. И в том, и в другом случае результирующие классы C будут идентичны.

Наследование на примере классов: Работник -> Менеджер -> Ученый

Описание всех трех классов поместим в одном файле. Вначале опишем класс Employee, где введем переменную name типа String для того, чтобы можно было бы использовать русский текст. Действительно, после создания класса

String мы можем использовать переменные этого класса наравне с переменными простых типов, необходимо только добавить файл включений String.h. (В этом случае подключать файл iostream.h не нужно, поскольку он уже присутствует в String.h.) Разумеется, сам файл с описанием класса должен быть скопирован в папку проекта, поскольку директива #include "String.h" подразумевает поиск этого файла в текущей папке. Вторая переменная целого типа — номер работника, а поскольку отрицательный номер выглядел бы не совсем корректно, есть смысл описать его как беззнаковое целое, т. е. unsigned int. Обратите внимание на то, что вместо того, чтобы объявить переменные как закрытые private, мы объявляем их защищенными protected. Это почти то же самое, с единственным отличием — *защищенные члены класса* доступны при наследовании, а поскольку мы собираемся сделать класс Employee базовым, то это имеет смысл.

Далее опишем два конструктора: конструктор по умолчанию и конструктор с двумя параметрами. Следует обратить внимание на то, что инициализация переменной типа String name(nam) осуществляется при помощи конструктора копирования класса String. Деструктор здесь ничего делать не будет, а для переменной name работает ее собственный деструктор.

Мы опишем лишь два метода для ввода и вывода информации: get() и put() соответственно. И столкнемся с проблемой, связанной с особенностями потокового ввода, а именно при вводе числового значения cin >> number; форматный оператор >> вводит число до первого нечислового символа, оставляя его в потоке (в нашем случае, символ перевода строки '\n'). Вследствие этого, следующий оператор ввода получит пустую строку. Чтобы избежать подобного недоразумения, можно использовать метод ignore() класса cin без параметров, который обеспечит пропуск одного символа. Для вывода на консоль комментариев на русском языке воспользуемся неименованными экземплярами класса String, например String("Фамилия: ");. В этом случае создается объект класса String, выводится на консоль перегруженным оператором << и тут же уничтожается. Далее, в листинге 2.6, приведен текст класса Employee.

Листинг 2.6. Класс Employee

```
#include "String.h"
class Employee  // Класс Работник
{
protected:
        String name;
        unsigned int number;
```

```
public:
        Employee() {}
        Employee(String nam, unsigned int num):name(nam),number(num){}
        virtual ~Employee() {}
        void get()
        {
                cout << String("Фамилия: ");
                cin >> name;
                cout << String("Номер: ");
                cin >> number;
                cin.ignore();          // Убираем лишний символ '\n'
        }
        void put()
        {
                cout << String("Фамилия: ") << name << endl;
                cout << String("Номер: ") << number << endl;
        }
};
```

Теперь будем строить класс `Manager`, как наследник класса `Employee`.

Наследование объявляется в заголовке класса:

```
class Manager : public Employee
```

Служебное слово `public` означает, что члены класса `Employee` наследуются с теми же правами доступа.

Здесь мы опишем одну переменную `title` типа `String` для хранения информации о должности менеджера. Опишем также два конструктора, причем следует обратить внимание на то, как мы инициализировали переменные наследуемого класса: мы просто воспользовались конструктором базового класса `Employee(nam,num)`, а переменная `title` инициализируется конструктором класса `String`.

В методе `get()` для ввода переменных наследуемого класса `Employee` мы воспользуемся уже готовым методом этого класса, но нам придется задать область его видимости, т. е. написать так: `Employee::get();`. Оставшуюся переменную введем как обычно.

В методе `put()` поступим аналогично. В листинге 2.7 приведен текст класса `Manager`.

Листинг 2.7. Класс `Manager`

```
class Manager : public Employee     // Класс Менеджер
{
protected: String title;
```

```
public:
       Manager() { }
       virtual ~Manager() {}
       Manager(String nam, unsigned int num, String tit):
                     Employee(nam,num),    title(tit) {}
       void get()
       {
       Employee::get();
       cout << String("Должность: ");
       cin >> title;
       }
       void put()
       {
       Employee::put();
       cout << String("Должность: ") << title << endl;
       }
};
```

Далее строим класс `Scientist`, как наследник класса `Manager`. Здесь мы объявляем единственную переменную целого типа `pubs` (количество публикаций) с правами доступа `private`, поскольку далее цепочку наследования продолжать не будем. Создадим два конструктора и два метода `get()` и `put()` так же, как мы это делали для предыдущего класса. Текст класса приведен в листинге 2.8.

Листинг 2.8. Класс `Scientist`

```
class Scientist : public Manager    // Класс Ученый
{
private: int pubs;
public: Scientist() {}
       Scientist(String nam, unsigned int num, String tit, int pub):
              Manager(nam, num, tit), pubs(pub) { }
       void get()
       {
       Manager::get();
       cout << String("Количество публикаций: ");
       cin >> pubs;
       cin.ignore(); // Убираем лишний символ '\n'
       }
       void put()
       {
       Manager::put();
       cout << String("Количество публикаций: ")<< pubs << endl;
       }
};
```

Несмотря на то, что класс `Manager` является родительским классом для класса `Scientist`, мы можем создавать переменные этого класса и пользоваться его методами наравне с переменными и методами порожденного класса. Это иллюстрирует простая головная функция (листинг 2.9), в которой создается по одному объекту классов `Manager` и `Scientist`, а также демонстрируется работа созданных нами методов.

Листинг 2.9. Головная функция

```
#include "Employee.h"
void main()
{
        Manager mn;
        mn.get();
        mn.put();
        Scientist s;
        s.get();
        s.put();
}
```

Использование классов, как пользовательских типов данных

Решение предыдущей задачи могло быть построено и без использования наследования, вместо этого в конечном классе `Scientist` мы могли бы использовать в качестве переменных экземпляры созданных нами классов. Усложним немного задачу и введем еще один класс `Student` — для хранения информации об уровне образования. Однако если мы хотим создать конструктор класса `Scientist`, тогда, для инициализации переменных исходных классов, необходимо создать копирующие конструкторы. Новые классы приведены в листинге 2.10.

Листинг 2.10. Новые классы `Employee`, `Student`

```
#include "String.h"
class Employee
{
private:
        String name;
        unsigned int number;
public:
        Employee() {}
```

```
// Копирующий конструктор
        Employee(Employee& e): name(e.name), number(e.number) {}
        void get()
        {
        cout << String("Фамилия: "); cin >> name;
        cout << String("Номер: "); cin >> number;
        cin.ignore();
        }
        void put()
        {
        cout << String("Фамилия: ") << name << endl;
        cout << String("Номер: ") << number << endl;
        }
};
////////////////////////////////////////////////////////////////
class Student
{
private:
        String school;
        unsigned int degree; // 11-средняя школа, 12-колледж и т. д....
public:
        Student() { }
// Копирующий конструктор
        Student(Student& st) : school(st.school), degree(st.degree){}
        void get()
        {
        cout << String("Название учебного заведения: ");
        cin >> school;
        cout << String("Уровень образования (11 - ср.школа,12 -\ колледж,
...: ");
        cin >> degree;
        cin.ignore();
        }
        void put()
        {
        cout<<String("Название учебного заведения: ")<<school<<endl;
        cout<<String("Уровень образования: ")<<degree<<endl;
        }
};
```

Сейчас в качестве переменных класса `Scientist` мы используем экземпляры классов `Employee`, `Student`, `String`, а также переменную простого типа `int`. При создании конструктора с 4 параметрами для инициализации экземпляров

классов без их копирующих конструкторов никак не обойтись, поэтому мы их и добавили в исходные классы. В классе `String` копирующий конструктор у нас уже имелся, а инициализация простого типа осуществляется системными средствами. В методах `get()` и `put()` мы можем использовать аналогичные методы классов `Employee` и `Student`, вызвав их через соответствующие экземпляры класса, например, `empl.get(); std.get()`. В листинге 2.11 представлен текст класса `Scientist` без использования наследования, а головная функция приведена в листинге 2.12.

Листинг 2.11. Класс `Scientist` без использования наследования

```
class Scientist
{
private: Employee empl;
       Student std;
       String title;
       int pubs;
public:  Scientist() {}
       Scientist(Employee emp, Student st, String tit, int pub):
       empl(emp), std(st), title(tit), pubs(pub) { }
       void get()
       {
       empl.get();
       std.get();
       cout << String("Должность: ");      cin >> title;
       cout << String("Количество публикаций: "); cin >> pubs;
       cin.ignore();
       }
       void put()
       {
       empl.put();
       std.put();
       cout << String("Должность: ") << title << endl;
       cout << String("Количество публикаций: ")<< pubs << endl;
       }
};
```

Листинг 2.12. Головная функция

```
#include "Employee.h"
void main()
```

```
{
        Scientist s;
        s.get();
        s.put();
}
```

Вопрос, каким образом строить классы — использовать наследование или же строить сложные типы данных, решается индивидуально в каждом конкретном случае, и дать какие-либо общие рекомендации не представляется возможным. Часто применяют одновременно оба подхода, как мы и поступили изначально, используя в качестве типа данных переменную типа `String`.

Виртуальные методы и классы

Метод класса может быть объявлен как *виртуальный* спецификатором `virtual`. (Виртуальный — кажущийся, т. е. видимый, но реально не существующий.) Чтобы разобраться, зачем это нужно, рассмотрим в качестве примера класс `Base` с единственным методом `show()`, который выводит на консоль сообщение `"Base"`. Рассмотрим два класса, полученных в результате наследования: `Dev1`, `Dev2`, также имеющих по одному методу `show()`. Все эти классы приведены в листинге 2.13.

Листинг 2.13. Классы `Base`, `Dev1`, `Dev2`

```
#include <iostream.h>
class Base
{ public: void show() { cout << "Base\n"; }
};
class Dev1: public Base
{ public: void show() { cout << "Dev1\n"; }
};
class Dev2: public Base
{ public: void show() { cout << "Dev2\n"; }
};
```

В головной функции (листинг 2.14) создадим две переменных типа `Dev1` и `Dev2`, а также указатель типа `Base`. Теперь, присвоив этому указателю адреса переменных `dv1` и `dv2`, выполним для него метод `show()`.

Примечание

Указателю базового класса разрешается ссылаться на объекты порожденных классов.

Листинг 2.14. Головная функция

```
#include "Base.h"
void main()
{       Dev1 dv1;
        Dev2 dv2;
        Base *p;
        p = &dv1;
        p->show();
        p = &dv2;
        p->show();
}
```

Вывод:

```
Base
Base
```

Наверное, нет ничего удивительного в том, что в результате выполнения программы работал метод базового класса, поскольку указатель `p` принадлежит этому классу. Однако если мы добавим спецификатор `virtual` перед методом базового класса

```
virtual void show() { cout << "Base\n"; }
```

ситуация кардинально изменится.

Примечание

В результате и методы порожденных классов также будут виртуальными, поэтому служебное слово `virtual` в их реализации может быть опущено, но его часто пишут, чтобы подчеркнуть, что мы имеем дело с виртуальными методами.

На консоль будет выведено:

```
Dev1
Dev2
```

Дело в том, что при объявлении метода виртуальным выбор реализации метода в выражении `p->show()` переносится с этапа компиляции на этап выполнения программного кода *(позднее связывание)*. Реализация этой технологии осуществляется путем построения компилятором таблицы виртуальных функций, откуда на этапе выполнения и выбирается соответствующая реализация. В нашем случае, поскольку указатель `p` последовательно перебирает экземпляры классов `Dev1` и `Dev2`, то и работают методы этих классов. Сейчас

нам нет необходимости в реализации метода `show()` для класса `Base`, поэтому его можно объявить *чисто виртуальным*. Это достигается объявлением:

```
virtual void show() = 0;
```

где операция `= 0` имеет чисто символическое значение и служит указанием компилятору считать метод чисто виртуальным. Классы, содержащие чисто виртуальные методы, называются *виртуальными* и используются только для наследования, как родительские классы. В порожденных классах чисто виртуальные методы должны быть переопределены, иначе и порожденный класс останется виртуальным. Особенностью виртуальных классов является невозможность создавать объекты этих классов, но указатель виртуального класса объявить можно.

В классах, имеющих *виртуальные функции*, и деструкторы должны быть виртуальными. Чтобы проиллюстрировать это утверждение, опишем деструкторы ранее рассмотренных классов:

```
class Base
{public: ~Base() {cout << "Destructor Base\n"; }
};
class Dev1:   public Base
{public: ~Dev1() {cout << "Destructor Dev1\n"; }
};
```

В головной функции (листинг 2.15) опишем указатель типа `Base` и создадим объект `Dev1`. Теперь попытаемся освободить выделенную объекту `Dev1` память. Как видим, работает только деструктор базового класса, и если конструктор класса `Dev1` выделил память, то ссылки на нее будут утеряны.

Листинг 2.15. Головная функция

```
void main()
{
  Base *p;
  p = new Dev1;
  delete p;
}
```

Вывод:

```
Destructor Base
```

Теперь объявим деструктор `~Base()` виртуальным. Как можно видеть, вначале работает *деструктор порожденного класса*, затем — базового.

```
class Base
{public: virtual ~Base() {cout << "Destructor Base\n"; }
};
. . . . . .
```

Вывод:

```
Destructor Dev1
Destructor Base
```

Из этого примера становится понятно, зачем среда программирования с усердием, достойным лучшего применения, автоматически строит деструктор виртуальным. Если наследников этого класса не будет, то вреда от этого немного, а если будут порожденные классы, то это позволит избежать проблем с потерей памяти. Хотя, если наследования не предполагается, деструктор лучше не делать виртуальным.

Классы, объявленные как виртуальные

Иногда, для разрешения коллизий наследования, необходимо объявлять классы виртуальными. Рассмотрим для примера помещенную на рис. 2.3 схему наследования, реализация которой приведена далее в листинге 2.16.

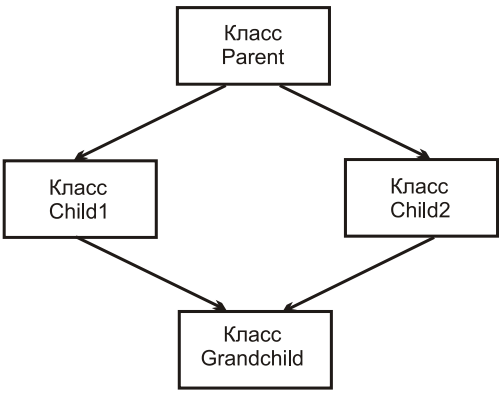

Рис. 2.3. Схема наследования

Листинг 2.16. Задача с двойным наследованием

```
class Parent
{
protected: int data;
public: Parent(): data(1){}
};
```

```
class Child1: public Parent {};
class Child2: public Parent {};
class Grandchild: public Child1, public Child2
{
public:
       Grandchild() {}
       int getdata() { return data;}
};
#include "Parent.h"
#include <iostream.h>
void main()
{
Grandchild g;
cout << g.getdata()<< endl;
}
```

Если реализовать такую схему, компилятор выдаст ошибку при создании экземпляра класса `Grandchild`. Причина этого очевидна, поскольку каждый из экземпляров классов `Child1` и `Child2` содержит *родительский класс* `Parent`. Компилятор, в этом случае не сможет разрешить проблему — из какого класса выбрать информацию о классе `Parent`. Однако если объявить, что наследуемые классы содержат класс `Parent` как виртуальный:

```
class Child1: virtual public Parent {};
class Child2: virtual public Parent {};
```

проблема разрешается, и класс `Grandchild` будет содержать только один экземпляр класса `Parent`. При выводе мы получим значение переменной, установленное конструктором класса `Parent`.

Шаблоны

Еще одно новшество в языке C++, по сравнению с классическим C, — это возможность создания шаблонных функций и классов. Вообще-то *шаблоны* не соответствуют концепции объектно-ориентированного программирования, но оказались настолько удобным механизмом, что практически вся стандартная библиотека построена на шаблонах.

Шаблон функции

Полезность введения *шаблона функции* рассмотрим на простом примере функции `swap()`, обменивающей две переменные типа `int`.

```
void swap(int& a, int& b)
{
  int c = a;
  a = b;
  b = c;
}
```

Очевидно, что для обмена местами двух переменных типа `double` необходимо построить новую функцию `swap()`, которая будет отличаться лишь заменой имени типа `int` на `double`. Вполне естественно, что у разработчиков языка C++ возник соблазн поручить эту работу компилятору. Проблема решается созданием шаблонной функции (листинг 2.17) с помощью следующей конструкции:

```
template <class T>
```

Описание функции с использованием формального типа `T`.

Примечание

Служебное слово `class` здесь выполняет чисто декоративную функцию для обозначения имени типа и к классам языка C++ не имеет никакого отношения, вместо него допускается использование служебного слова `typename`.

Листинг 2.17. Шаблонная функция `swap()`

```
template <class T>
void swap (T& a, T& b)
{
T tmp = a;
a = b;
b = tmp;
}
```

В программе обратимся к шаблонной функции с параметрами типа `int` и `double`. Убедимся, что все работает правильно.

```
#include <iostream.h>
void main()
{
  int i = 1, j = 2;
  swap (i,j);
  cout << i << '\t' << j << endl;
  double x = 1.1, y = 2.2;
  swap (x,y);
  cout << x << '\t' << y << endl;
}
```

На самом деле, компилятор, встретив шаблонную функцию, поступает очень просто, он откладывает ее компиляцию, пока не найдет в тексте программы конкретного обращения к этой функции. Так, встретив обращение `swap(i,j)`, где `i, j` — переменные типа `int`, он считает, что `T = int` и компилирует функцию для типа `int`. Далее, встретив обращение `swap(x,y);`, где `x,y` — переменные типа `double`, он считает, что `T = double` и компилирует еще один экземпляр функции для типа `double`.

Примечание

Отсюда следует, что шаблон функции и обращение к ней должны находиться в одной единице компиляции. Их нужно описать в одном файле или добавить текст шаблона через файл включений.

Таким образом, для каждого конкретного типа данных строится свой экземпляр функции, и эту рутинную работу выполняет компилятор, избавив программиста от необходимости ее проделывать. Причем в описании шаблона может быть перечислено несколько шаблонных типов:

```
template <class A, class B, . . .>
```

Примечание

Если для некоторых значений типа имеется обычная функция, то компилятор не строит шаблонной функции, а использует существующую.

Шаблон класса

Однако разработчики идеологии шаблона пошли дальше и использовали шаблоны при описании класса. Рассмотрим пример создания класса `Stack` и посмотрим, как из него можно сделать *шаблонный класс*.

```
const int N = 100;
class Stack
{
private: int st[N];
       short top;
public:
       Stack(): top(-1) { }
       void push(int& var) { st[++top] = var; }
       int& pop() { return st[top--]; }
};
```

Класс `Stack` предназначен для хранения массива целых чисел (до `100`). При создании экземпляра класса *стек* пустой и указатель "головы" стека `top = -1`. Метод `push()` обеспечивает добавление одного целого числа, он просто уве-

личивает указатель на `1` и помещает число в массив, используя этот указатель как индекс. Таким образом, указатель `top` всегда показывает на самое верхнее число в стеке. Метод `pop()` обеспечивает извлечение числа из стека и уменьшает указатель на `1`. Реализуется стековый принцип организации хранения данных — *"первым пришел — последним вышел"* (рис. 2.4).

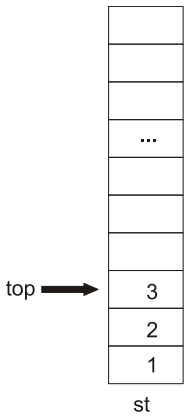

Рис. 2.4. Организация стека

Если теперь нам понадобится создать стек для другого типа данных, например `double`, то возникает та же самая проблема — нам придется переписать текст класса, изменив лишь тип данных `int` на `double`.

Конечно, гораздо лучше определить класс как шаблонный. Делается это так:

```
const int N = 100;
template <class T>
class Stack
{
private: T st[N];
         short top;
public:
       Stack(): top(-1) { }
       void push(T& var) { st[++top] = var; }
       T& pop() { return st[top--]; }
};
```

То есть точно так же, как и для шаблона функции, перед описанием класса пишем строку:

```
template <class T>
```

и далее используем формальный тип `T` в описании класса.

Отличием в использовании шаблонных классов от обычных является специальный способ описания переменных класса. Дело в том, что мы должны явно указать тип данных, для которых создается переменная:

```
Имя_класса<тип> переменная, ...;
```

например:

```
Stack<int> si;
```

т. е. после имени класса в угловых скобках указывается тип данных, затем перечисляются переменные. Тестирующая программа для шаблонного класса `Stack` представлена в листинге 2.18.

Листинг 2.18. Тестирующая программа для шаблонного класса `Stack`

```
#include "Stack.h"  // Подключение шаблонного класса
#include "String.h" // Подключение класса String
void main()
{// Стек для набора целых чисел
Stack<int> si;
for (int i = 0; i < 10; i++) si.push(i);
for (i = 0; i < 10; i++) cout << si.pop() << endl;
 // Стек для данных типа String
Stack<String> str;
String name[5] = {"Сергей", "Дмитрий", "Антон", "Владимир", "Елена"};
for (i = 0; i < 5; i++) str.push(name[i]);
for (i = 0; i < 5; i++) cout << str.pop()<< endl;
}
```

Здесь мы построили стек `si` для данных целого типа и стек `str` для переменных типа `String` на одном и том же шаблонном классе.

Вывод на консоль:

```
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
```

```
Елена
Владимир
Антон
Дмитрий
Сергей
```

Обратите внимание на то, что при описании массива типа `String` мы использовали возможности конструктора класса `String`, принимающего в качестве параметра `char*`.

Возможности шаблонов этим не ограничиваются, в шаблоне класса можно также описывать константные значения. Так, в нашем примере разработки класса `Stack` реализована не очень удачная идея — описывать размер стека в самом описании класса. В этом случае для создания стека большего размера пришлось бы изменять текст самого класса. Оказывается, можно ввести описание константной переменной в описание самого шаблона, в нашем случае:

```
template <class T, int N>
```

Разумеется, описание константной переменной `const int N = 100;` нужно удалить, но в этом случае переменная типа стек будет определяться с явным указанием не только типа данных, но и размера стека:

```
Stack<int, 100> si;
```

Чтобы понять, почему это возможно, вспомним, что компилятор начинает компилировать шаблонный класс лишь тогда, когда встретит соответствующее описание переменной и когда имеется информация о конкретном типе данных и о значении константы. Должно быть ясно, что в качестве константы может быть использовано такое выражение, которое может быть вычислено на этапе компиляции.

Описание методов шаблонного класса в отдельном файле

До сих пор мы описывали методы класса прямо в описании класса. Часто так бывает удобнее и проще, но, если методы становятся слишком громоздкими, их описание разумнее вынести в отдельный файл, оставив в описании класса лишь объявления этих методов. Однако описание шаблонных методов имеет некоторую специфику, так описанию каждого метода должно предшествовать объявление:

```
template <class T>
```

а перед именем метода стоять область видимости:

```
Имя_класса<шаблоны>::
```

И, что важно в этом случае, в качестве файла включений нужно использовать не заголовочный файл с описанием класса, а файл реализации методов с расширением cpp, чтобы компилятор имел доступ к тексту шаблонного метода во время компиляции программы. Файлы Stack.h и Stack.cpp приведены в листинге 2.19.

Листинг 2.19. Класс `Stack` с реализацией методов в отдельном файле

```
// Файл Stack.h
template <class T, int N>
class Stack
{
private: T st[N];
               short top;
public:
       Stack();
       void push(T& var);
       T& pop();
};
////////////////////////////////////////////////
// Файл Stack.cpp
template <class T, int N>
Stack<T,N>::Stack(): top(-1) { }
//
template <class T, int N>
void Stack<T,N>::push(T& var) { st[++top] = var; }
//
template <class T, int N>
T& Stack<T,N>::pop() { return st[top--]; }
// В головной функции заменим файл включений
// Файл main.cpp
#include "Stack.cpp"
#include <iostream>
using namespace std;
void main()
{
Stack<int, 100> si;
for (int i = 0; i < 10; i++) si.push(i);
for (i = 0; i < 10; i++) cout << si.pop() << endl;
}
```

Обработка исключений

Исключением или *исключительной ситуацией* (exception) называется прерывание нормальной работы программы в ответ на непредвиденное или аварийное событие. В C++ реализован специальный механизм для обработки исключительных ситуаций. Прежде чем обсуждать, зачем это сделано, посмотрим, как это сделано.

В самом простом случае, внутри функции в том месте, где возможно возникновение критической ситуации, ставится блок `try`, после которого может стоять несколько блоков перехватчиков `catch`, например:

```
void main()
{ . . .
try
{
 ...
}
catch(тип_ошибки)
{
 ...
}
catch(...)
{
 ...
}
 . . .
}
```

Примечание

Блок `try` называют "охраняемым разделом кода". Иногда в литературе встречается название "блок повторных испытаний", что вряд ли является удачным названием, поскольку повторно этот блок управления не получает.

В случае возникновения исключения, а системные функции могут порождать *исключительные ситуации*, поочередно проверяются аргументы блоков, и управление передается тому блоку, тип аргумента которого совпал с типом, порожденным исключением. Если же ни один из типов не совпал, то управление передается блоку со специальным именем `(...)`, который обрабатывает любые исключения (ясно, что этот блок должен стоять последним), если же такого блока нет, исключение обрабатывается системными средствами, что неизбежно приводит к завершению работы программы. Нужно иметь в виду, что модель обработки исключений, реализованная в C++, является *невозоб-*

новляемой. При возникновении исключения вначале уничтожаются все *автоматические переменные*, созданные в блоке `try` до точки возникновения исключения, при необходимости вызываются деструкторы. Переменные, созданные в куче оператором `new`, автоматически не уничтожаются. Затем исключение обрабатывается в соответствующем блоке `catch`, после чего управление передается первому исполняемому оператору после последнего блока `catch`.

Примечание

Можно конечно исхитриться, поместив охраняемый раздел внутрь оператора цикла и устанавливая значения логической переменной, или же, доходя до неприличия, при помощи оператора `goto`.

Рассмотрим пример обработки исключения (листинг 2.20), возникающего при делении на 0. Это системное исключение или *исключение Win32 API*, и единственный способ прямого перехвата подобного исключения является использование блока `catch(...)`.

Листинг 2.20. Пример программы обработки системного исключения

```
#include <iostream>
using namespace std;
void main()
{
        int a = 1, b = 0;
        try
        {
                int c = a/b;
        }
        catch (...)
        {
                cout << "Division into zero\n";
        }
}
```

Вывод:

```
Division into zero
```

Можно и самостоятельно порождать исключения оператором `throw`. Например, в предыдущей задаче мы могли бы заранее проверить возможность возникновения критической ситуации и самостоятельно породить исключение (листинг 2.21), причем возможно передать в блок `catch` параметр.

Листинг 2.21. Программа, самостоятельно порождающая исключение

```
#include <iostream>
using namespace std;
void main()
{
        int a = 1, b = 0;
        try
        {
                if (b == 0) throw "Division into 0";
                int c = a/b;
        }
        catch (char *str)
        {
                cout << str << endl;
        }
}
```

Вывод:

```
Division into 0
```

Иногда возникает ситуация, когда мы вынуждены прекратить обработку ошибки и вызвать системный обработчик исключения. Это достигается оператором `throw` без аргументов в блоке обработчика ошибок. Оператор приводит к генерации того же исключения, которое привело в блок `catch`, и вызывает системный обработчик. Так, в нашем случае, если мы добавим в блок `catch` этот оператор:

```
catch (char *str)
{
  throw;
}
```

Тогда получим системное сообщение (рис. 2.5).

Обычно, однако, так с исключениями не работают, поскольку все рассмотренные ситуации можно обработать более простыми средствами. При работе с объектами принято, что исключения порождаются их методами в ответ на некоторые нестандартные ситуации (например, нехватка памяти и т. п.), что не позволяет далее работать программе. Пусть у нас имеется класс, методы которого могут порождать исключительные ситуации. Например, деление на 0, или попытка освобождения несуществующего блока памяти. Опишем внутри этого класса специальный класс ошибок, основное назначение которого заключается в возвращении более детальной информации об ошибке (листинг 2.22).

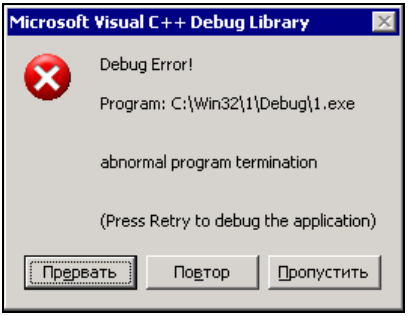

Рис. 2.5. Системное сообщение об ошибке

Листинг 2.22. Структурная схема класса с возможностью генерации исключения

```
class A
{
private:
...
public:
        class Error // Описание класса исключений
        {
        ...
        };
        method()
        {
        ...
        throw Error(); // Генерация исключения
        }
...
};
```

Теперь, в том месте программы, где возможно появление ошибки, связанной с классом `A`, вставим блок `try`, после которого стоит *блок обработки ошибок* `catch`:

```
try
{
...
}
catch(A::Error)
{
...
}
```

Смысл этого выражения заключается в том, что при возникновении ошибки типа `Error` класса `A` управление будет передано блоку обработчика ошибок `catch`, где происходит ее обработка. Здесь используется своеобразный синтаксис — аргументом `catch` является тип ошибки, а поскольку класс `Error` описан внутри класса `A`, то указывается и область видимости `A::Error`.

В данном случае мы рассмотрели вариант "пустого" класса ошибок, но возможно описание переменных класса `Error`, через которые и происходит передача дополнительной информации. Рассмотрим обработку ошибок на примере шаблона класса `Stack` (листинг 2.23).

Листинг 2.23. Класс с обработкой ошибок

```
template <class T, int N >
class Stack  {
private: T st[N];
       short top;
public:
       class Range
       {
       public: char report[20];
       // Конструктор служит для передачи сообщения
               Range(char *s) { strcpy(report, s); }
       };
       Stack(): top(-1) { }
       void push(T& var)
       {
       if (top >= N-1) throw Range("Stack is full");
       st[++top] = var;
       }
       T& pop()
       {
       if (top < 0) throw Range("Stack is empty");
       return st[top--];
       }
};
//////////////////////////////
#include "Stack.h"
#include <iostream>
#include <cstring>
using namespace std;
void main()
{
Stack<int, 100> si;
```

```
try
{
for (int i = 0; i < 10; i++) si.push(i);
for (i = 0; i < 11; i++) cout << si.pop() << endl;
}
catch(Stack<int, 100>::Range& e)
{
cout << "Exception: " << e.report << endl;
}
}
```

Здесь, в классе ошибок `Range`, мы описали символьный массив, через который передадим сообщение `Stack is full`, если стек заполнен, или `Stack is empty`, если стек пустой. Таким образом, можно реагировать на возникающие ситуации. Например, в приведенном тексте программы мы намеренно совершили ошибку, пытаясь извлечь из стека 11 значений, тогда как поместили туда всего лишь 10.

Обратите внимание на то, как мы описали аргумент оператора `catch` с переменной `Stack<int, 100>::Range& e`. Здесь `e` — открытая переменная типа `Range`, которая может использоваться для доступа к полям этого класса.

Вывод программы приведен на рис. 2.6.

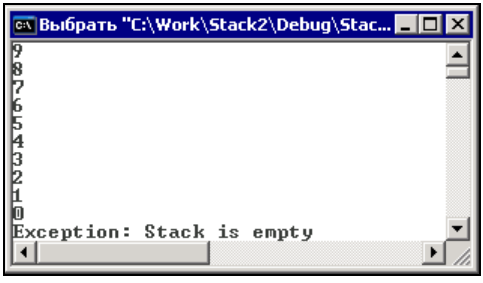

Рис. 2.6. Окно вывода программы

Вопросы к главе

1. В чем заключается основной принцип объектно-ориентированного подхода к программированию?
2. Синтаксис описания класса.
3. В чем заключается основная идея инкапсуляции данных?
4. Этапы создания нового класса в среде Visual C++ 6.0.

5. Доступ к переменным класса.
6. Конструкторы и деструкторы класса, особенности синтаксиса.
7. Особенности реализации копирующего конструктора.
8. Описание переменных класса, их инициализация.
9. Синтаксис описания методов класса в файле описания класса и в файле реализации.
10. Назначение и особенности статической функции класса.
11. Перегрузка операторов.
12. Необходимость перегрузки оператора присваивания.
13. Особенности реализации оператора преобразования типа.
14. Зачем нужны дружественные функции и операторы?
15. Решение проблемы ввода/вывода кириллического текста на консоль.
16. Объявление пространства имен. Доступ к переменным другого пространства имен.
17. Наследование классов, ключевое слово `protected`.
18. Доступ к методам родительских классов при совпадении имен.
19. Класс, как пользовательский тип данных.
20. Виртуальные методы класса, чисто виртуальные методы. Виртуальные классы.
21. Необходимость использования виртуальных деструкторов.
22. Объявление шаблонной функции.
23. Шаблонные классы, описание переменных.
24. Механизм генерации исключений.
25. Передача информации об исключительной ситуации.

Задание для самостоятельной работы

1. Для класса `Time` перегрузить операторы:
   - `+` для добавления к экземпляру класса `Time` `n` часов в виде целого числа;
   - – для вычисления разности между двумя экземплярами класса `Time`;
   - "преобразования типа `Time -> double`", где часы будут представлять целую часть числа, а минуты — дробную часть (1.0 = 60 мин).
2. Добавить к реализации класса еще одну целую переменную — дни (`day`). Переопределить все методы и операторы класса.

3. Решить предыдущие задачи с описанием методов в файле реализации.
4. Реализовать собственный класс `Date`, где дата хранится в виде целого числа, равного количеству дней от 1 января 1900 года. Определить допустимый диапазон хранения даты для типа `unsigned int`.

Примечание

Високосным считается год, который делится на 4, но не делится на 100, так 1900 год не является високосным. Исключение — год, который делится на 400, снова является високосным, т. е. 2000 год — високосный.

5. Для класса `String` создать методы:
   - `count()`, подсчитывающий количество слов в текстовой строке. Можно использовать стандартную функцию `strtok()`;
   - `DoubleToString(double x, int n, int p)`, преобразующий число в текстовую строку:
     - `x` — число с плавающей точкой;
     - `n` — размер поля для преобразования;
     - `p` — количество знаков после десятичной точки.
6. Построить класс-оболочку `Integer` с единственной закрытой переменной типа `int` и конструкторами:
   - `Integer();`
   - `Integer(int);`
   - `Integer(char*);`
   - `Integer(Integer&).`

   Перегрузить арифметические операторы: `+, -, *, /, %`, а также операторы консольного ввода/вывода.
7. Создать класс "Числовой вектор" для данных типа `double` и перегрузить для него основные операции: сложение, вычитание, скалярное произведение.
8. Сделать класс "Числовой вектор" шаблонным классом. Построить пример для вектора типа `Integer`.
9. Для задачи "Решение системы линейных уравнений" из *главы 1* организовать генерацию и обработку исключения в случае ее несовместности.
10. Для класса `Stack` обеспечить обработку переполнения стека. При попытке записи данных в заполненный стек обеспечить увеличение его размера на `N`.

ГЛАВА 3

Потоки

Рассмотрим подробнее работу с потоковым вводом/выводом. Если в классическом C ввод/вывод организован с использованием библиотек, размещенных в файлах включений `io.h` и `stdio.h`, где связь с файлами осуществлялась через дескрипторы и файловую переменную, то в современном стиле программирования считается предпочтительней использовать потоковый ввод/вывод, в связи с чем мы не стали рассматривать классический подход, а сразу переходим к рассмотрению потоков.

Консольный ввод/вывод

Имеется четыре предопределенных потоковых объекта, которые становятся доступны при включении в программу заголовочного файла `iostream`:

- `cin` — используется для ввода с клавиатуры;
- `cout` — используется для вывода на экран монитора;
- `cerr` — используется для вывода сообщений об ошибках;
- `clog` — используется для ведения журнала.

С объектами `cin` и `cout` мы уже знакомы, это экземпляры потокового класса `istream` и `ostream`. Теперь рассмотрим их более подробно. Оказывается, имеется масса возможностей управления вводом/выводом, для этого необходимо лишь выставить определенные флаги форматирования, которые и будут управлять процессом. Можно рассматривать управление вводом/выводом с потоковыми классами из заголовочного файла `iostream.h`, но лучше сразу перейти на новую библиотеку ввода/вывода, имеющую более богатые возможности управления потоками, и использовать заголовочный файл `iostream`. Новые классы определены в стандартной области имен, поэтому необходимо сделать ее доступной директивой `using namespace std;`.

Флаги

Флаги служат для управления процессом ввода/вывода и настройки потоковых методов, каждый флаг представляет собой один бит слова состояния потока. Все они могут быть установлены при помощи метода `setf()` и сброшены методом `unsetf()`. Символические обозначения флагов размещены в области имен `ios`, поэтому для доступа к ним необходимо указывать область видимости `ios::`. Флаги (табл. 3.1) могут комбинироваться при помощи операции битового сложения.

Приведем пример установки и снятия флагов:

```
cout.setf(ios::fixed | ios::showpos);
cout.unsetf(ios::showpos);
```

Таблица 3.1. *Флаги форматного ввода/вывода*

Флаг	Описание
`skipws`	Пропуск разделителей при вводе
`left`	Выравнивание по левому краю
`right`	Выравнивание по правому краю
`internal`	Выравнивание знака по левому краю, а значения — по правому краю
`boolalpha`	Вывод логических величин в текстовом виде
`dec`	Выводить числа в десятичной системе (по умолчанию)
`oct`	Выводить числа в восьмеричной системе
`hex`	Выводить числа в шестнадцатеричной системе счисления
`showbase`	Выводить индикатор основания системы счисления
`showpoint`	Показывать десятичную точку
`uppercase`	Переводить в верхний регистр символы в шестнадцатеричных числах
`showpos`	Показывать знак + для положительных значений
`scientific`	Экспоненциальный вывод чисел с плавающей точкой
`fixed`	Фиксированный вывод чисел с плавающей точкой
`unitbuf`	Сброс потоков после вставки (буферизация вывода)
`stdio`	Сброс стандартных потоков вывода

Манипуляторы

Можно управлять потоком при помощи *манипуляторов* (инструкций форматирования), которые вставляются прямо в поток (можно для этих целей использовать и методы потоковых классов). Но для того чтобы иметь возможность использовать манипуляторы, необходимо добавить файл включений `iomanip`, размещенный в стандартной области имен.

Таблица 3.2. *Манипуляторы потоковых классов*

Манипулятор	Действие
`ws`	Включает пропуск пробелов при вводе
`dec`	Перевод в десятичную систему
`oct`	Перевод в восьмеричную систему
`hex`	Перевод в шестнадцатеричную систему
`left`	Устанавливает выравнивание по левому краю
`right`	Устанавливает выравнивание по правому краю
`internal`	Устанавливает выравнивание знака по левому краю, а значения — по правому краю
`endl`	Вставка разделителя строк и очистка выходного потока
`ends`	Вставка символа завершения строки `'\0'`
`boolalpha`	Включает текстовое представление логических данных
`noboolalpha`	Включает числовое представление логических данных
`showpos`	Вывод знака для положительных чисел
`noshowpos`	Вывод положительных чисел без знака
`uppercase`	Вывод символов в числах в верхнем регистре
`nouppercase`	Вывод символов в числах в нижнем регистре
`showbase`	Вывод индикатора основания системы счисления
`noshowbase`	Запрет на вывод индикатора основания системы счисления
`skipws`	Автоматическое игнорирование начальных пропусков при чтении данных оператором >>
`noskipws`	Обработка начальных пропусков при чтении оператором >>
`unitbuf`	Вывод без буферизации
`nounitbuf`	Включение буферизации вывода (по умолчанию)
`setw(n)`	Установить ширину поля вывода в `n` символов

Таблица 3.2 *(окончание)*

Манипулятор	Действие
`setfill(char)`	Установить символ-заполнитель
`setprecision(n)`	Количество цифр после десятичной точки
`setiosflags(fl)`	Устанавливает флаги форматирования
`resetiosflags(fl)`	Сбрасывает группу флагов форматирования, аналогично вызову метода `setf(0,fl)`
`flush`	Очистка выходного потока

Приведем пример программы с использованием манипуляторов (листинг 3.1).

Листинг 3.1. Программа с использованием манипуляторов

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
void main()
{
       int k = 32767;
       cout << setw(8) << oct << k << endl;       // По основанию 8
       cout << setw(4) << hex << k << endl;       // По основанию 16
       cout << setw(8) << dec << k << endl;       // По основанию 10
       cout << setprecision(4);     // Вывод 4-х знаков
                                    // после десятичной точки
       double a = 2., b = 3.;
       cout<<"2/3= "<< setfill('*')<<setw(16)<<internal<<-a/b<<endl;
}
```

Вывод на консоль:

```
77777
7fff
   32767
2/3= -*********0.6667
```

Методы

Для управления потоками ввода/вывода используются также и *методы* (табл. 3.3), которые можно разбить на группы.

Таблица 3.3. *Методы управления флагами*

Метод	Действие
`Flags()`	Возвращает все текущие форматные флаги потока. Точнее, возвращает слово состояния флагов форматирования в виде длинного целого числа
`flags(flags)`	Устанавливает все форматные флаги потока в новое состояние, возвращает старое состояние флагов
`setf(flags)`	Устанавливает один или несколько флагов форматирования

`setf(new,flags)`	Сбрасывает группу флагов, указанную вторым аргументом, и устанавливает флаг в новое значение из первого аргумента:
	Первый аргумент — Второй аргумент
	`dec, oct, hex` — `basefield`
	`left, right, internal` — `adjustfield`
	`scientific, fixed` — `floatfield`

`unsetf(flags)`	Сбрасывает флаг форматирования

Рассмотрим следующий пример манипулирования флагами:

```
bool b = true;
long old = cout.flags(ios::boolalpha);
cout << hex << old << endl;
cout << b << endl;
cout.setf(ios::dec,ios::basefield);
cout << 1.0/3 << endl;
cout.flags(old);      // Восстановление состояния флагов форматирования
```

Вывод на консоль:

```
201
true
0.3333
```

Управление полями вывода

Помимо установки флагов и использования манипуляторов, управлять полями вывода можно и при помощи методов класса `ostream`, которые приведены в табл. 3.4. На самом деле, манипуляторы реализуются при помощи этих методов, а их текст можно посмотреть в файлах включений.

Пример:

```
cout.width(10);
cout.precision(6);
char old_fill = cout.fill('*');
```

Таблица 3.4. *Методы управления полями потока* `ostream`

Метод	Действие
`width()`	Возвращает ширину поля вывода
`width(n)`	Устанавливает ширину поля вывода
`precision()`	Возвращает количество знаков после десятичной точки
`precision(n)`	Устанавливает количество знаков после десятичной точки, возвращает старое значение
`fill()`	Возвращает текущий символ заполнения
`fill(char)`	Устанавливает символ заполнения, возвращает старое значение

Методы обмена с потоками класса *istream*

Для чтения данных из входного потока `istream` ранее мы использовали лишь перегруженный оператор >>, для которого и предназначены рассмотренные выше способы форматирования. Но в классе `istream` реализована и большая группа методов неформатного ввода, использование которых зачастую бывает эффективней, а иногда ввод просто нельзя осуществлять оператором форматного ввода, например, при чтении текстовой строки. Все методы приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5. *Методы обмена класса* `istream`

Метод	Действие
`>>`	Форматированное извлечение данных для всех основных типов из потока
`gcount()`	Возвращает количество символов прочитанных предыдущим методом неформатированного ввода
`get()`	Возвращает код извлеченного из потока символа или `EOF(-1)`
`get(ch)`	Записывает извлеченный символ в `ch`
`get(str,lim='\n')`	Записывает в `str` символы до символа `lim`, причем вместо символа `lim` в поток записывается символ `'\0'`, а разделитель `lim` остается в потоке
`get(str,MAX,lim='\n')`	Записывает в `str` `MAX-1` символов или до символа `lim`
`getline(str,MAX,lim='\n')`	То же, что и `get()`, но символ `lim` считывается из потока

Таблица 3.5 *(окончание)*

Метод	Действие
`ignore(MAX=1, lim=EOF)`	Пропускает `MAX` символов или до символа `EOF`
`peek()`	Читает один символ, оставляя его в потоке
`putback(ch)`	Вставляет последний прочитанный символ обратно в поток
`read(buf,N)`	Считывает `N` символов в `buf`, возвращает ссылку на текущий поток
`readsome(buf,N)`	То же, что и `read()`, но возвращает количество прочитанных символов

Пример:

```
#include <iostream>
using namespace std;
void main()
{
        char buf[80], ch;
        int k;
        cout << "Enter string 1: ";
        cin.get(buf,80);
        k = cin.gcount();
        cout << "String size = " << k << endl;
        k = cin.get();
        cout << k << endl;
        cout << buf << endl;
        cout << "Enter string 2: ";
        cin.getline(buf,5);
        cin.ignore(10,'\n');
        cout << buf << endl;
}
```

Вывод:

```
Enter string 1: string
String size = 6       Размер введенной строки
10                   Символ-разделитель '\n'
string
Enter string 2: string
stri                 В буфер введено только 4 символа
```

Методы обмена с потоками класса *ostream*

Точно так же, как и для класса `istream`, в классе `ostream` имеются методы неформатного вывода данных (табл. 3.6).

Таблица 3.6. *Методы обмена класса* `ostream`

Метод	Действие
`<<`	Форматированный вывод на консоль данных для всех основных типов
`flush()`	Выводит содержимое буфера на консоль, очищает буфер
`put(ch)`	Выводит в поток символ `ch`
`write(buf,N)`	Записывает в поток `N` символов из массива `buf`

Примечание

Как и метод `flush()`, манипулятор `endl` также обеспечивает вывод строки из буфера и выводит завершающий символ `'\n'`.

Пример:

```
char str[] = "text";
cout.write(str, strlen(str));
cout.flush();
```

Память как поток

Иногда бывает удобно использовать технологию потокового ввода/вывода в области памяти. Для этого служат 4 потоковых класса, определенных в заголовочном файле `strstream`:

- `istrstream` — для чтения из последовательности символов;
- `ostrstream` — для записи в последовательность символов;
- `strstream` — класс для чтения и записи;
- `strstreambuf` — потоковый буфер.

В листинге 3.2 приведен пример, в котором мы прочитаем два целых числа из строки, а затем сформируем строку ввода и выведем ее на консоль.

Листинг 3.2. Использование памяти как потока ввода/вывода

```
#include <strstream>          // Заголовочный файл содержит описание
#include <iostream>           // классов потокового ввода/вывода в память
```

```
using namespace std;
const int N = 20;
void main()
{
        int i, j;
        char s1[] = "22", s2[] = "33";
// Определяем два входных потока, связанных с символьными строками
        istrstream in1(s1), in2(s2);
        in1 >> i;             // Ввод данных
        in2 >> j;
        char buff[N]; // Определение буфера для вывода
        ostrstream mem(buff,N);      // Определение выходного потока
        mem << i << '*' << j << '=' << i*j << endl << ends;
        cout << buff; // Вывод сформированной строки на консоль
}
```

Вывод:

```
22*33=726
```

Примечание

Для формирования стандартной С-строки необходимо завершить ее символом `'\0'`, что можно сделать, используя манипулятор `ends`.

Используя эту технологию, создадим для рассмотренного ранее класса `String` методы, которые преобразуют содержимое экземпляра класса в целое число или число с плавающей точкой и, наоборот, из соответствующего числового значения сформируют экземпляр класса `String`.

Поскольку мы создавали класс `String`, используя старую библиотеку функций, то, во избежание конфликтов имен, заменим заголовочный файл `iostream.h` на `iostream` и добавим директиву разрешения области видимости `using namespace std`, необходимо также добавить заголовочный файл `strstream`.

Методы класса `String` приведены в листинге 3.3.

Листинг 3.3. Методы класса `String` для преобразования числовых данных

```
// Преобразование int -> String
        void IntToString(int k)
        {
        if (s) delete[] s;    // Удалим предыдущее значение строки
        char buff[14];
```

```
        ostrstream mem(buff,14);  // Определение выходного потока
        mem << k << ends;
        n = strlen(buff);
        s = new char[n];      // Выделим память под новую строку
        for (int i = 0; i < n; i++) s[i] = buff[i];
        }
// Преобразование  String -> int
        int StringToInt()
        {
        int k;
        char *str = *this;    // Неявное преобразование типа
        istrstream in(str);   // Определение входного потока
        in >> k;
        return k;
        }
```

Два следующих метода построены аналогично:

```
// Преобразование double -> String
        void DoubleToString(double q)
        {
        if (s) delete[] s;
        char buff[24];
        ostrstream mem(buff,24);
        mem << q << ends;
        n = strlen(buff);
        s = new char[n];
        for (int i = 0; i < n; i++) s[i] = buff[i];
        }
// Преобразование  String -> double
        double StringToDouble()
        {
        double q;
        char *str = *this;
        istrstream in(str);
        in >> q;
        return q;
        }
```

В силу особенностей работы оператора форматного ввода, в случае некорректного задания числового значения в экземпляре `String` исключительной ситуации не возникает, просто преобразование происходит до первого нечислового символа, остаток строки игнорируется. Корректность преобразования необходимо проверять другими средствами.

Файловый ввод/вывод

В C++ для работы с файлами обычно используют классы потокового ввода/вывода, определенные в заголовочном файле `fstream`. Эти классы являются наследниками классов `istream` и `ostream`, а значит, наследуют и все их методы. Однако, учитывая специфику файлов, имеются и специальные методы, например методы произвольного доступа к файлу.

- `ifstream` — класс входных файловых потоков;
- `ofstream` — класс выходных файловых потоков;
- `fstream` — класс двунаправленных файловых потоков.

Открытие файла возможно при помощи конструктора файлового потока. Если же используется конструктор без параметров, то создается экземпляр файлового потока, а связь с файлом будет установлена при помощи метода `open()`. Закрываются потоки методом `close()`, но можно положиться на деструктор потоковой переменной, который вызовет его автоматически. Для наглядности приведем все методы для открытия и закрытия файла в табл. 3.7.

Таблица 3.7. *Методы для открытия и закрытия файла*

Метод	Действие
`open(имя)`	Открытие файла потока по умолчанию
`open(имя,флаги)`	Открытие файла потока с установленными флагами
`close()`	Закрытие файлового потока
`is_open()`	Проверка открытия файла

Пример создания входного потока из файла, находящегося в текущей папке:

```
ifstream in("test.txt");
```

или то же самое, но в 2 приема:

```
ifstream in;
in.open("test.txt");
```

В качестве второго параметра конструктора указываются флаги, которые задают режим открытия файла (табл. 3.8).

Таблица 3.8. *Флаги открытия файла*

Флаг	Описание
`in`	Открыть для чтения (по умолчанию для `ifstream`)
`out`	Открыть для записи (по умолчанию для `ofstream`)

Таблица 3.8 *(окончание)*

Флаг	Описание
ate	Установить указатель на конец файла
app	Открыть для добавления в конец файла
trunc	Удаление старого содержимого файла
binary	Открыть в двоичном режиме

Примечание

При открытии файла в текстовом режиме пара символов конца строки "\r\n" при чтении преобразуется в один символ '\n', а при записи — наоборот; при считывании же специального символа "конец файла" чтение файла прекращается. В двоичном режиме никаких преобразований не производится и, если файл не является текстовым, его нужно открывать с флагом binary.

Рассмотрим простой пример чтения текстового файла (листинг 3.4) и вывод содержимого на консоль и в другой файл. Учтем также проблему с выводом на консоль кириллического текста.

Листинг 3.4. Программа чтения текстового файла

```
#include <iostream>
#include <fstream>    // Содержит описание классов потоков ввода/вывода
#include <windows.h>  // Здесь расположен прототип функции CharToOem()
using namespace std;
int main()
{
ifstream in;
ofstream out;
char name[40], str[82], BufRus[82];
cout << "Input file name: ";
cin >> name;
in.open(name);
if (in.fail()) { cout << "Input file not found\n"; return 1; }
cout << "Output file name: ";
cin >> name;
out.open(name);
if (out.fail()) { cout << "Error in Output file\n"; return 1; }
while (in.getline(str,82))    // Читаем строки до конца файла
{
       CharToOem(str,BufRus); // Перекодирование кириллицы
       cout << BufRus << endl;
       out << str << endl;
}
```

```
in.close();
out.close();
return 0;
}
```

Вывод:

```
Input file name: \t.txt
Output file name: \t1.txt
текст
```

Здесь мы использовали метод `fail()` для проверки успешного открытия файла, но это можно сделать и другими средствами, например, проверяя, не является ли нулем потоковый объект:

```
if (!in.open(name)){cout << "Input file not found\n"; return 1;}
```

Кстати, единственная причина, по которой мы описали функцию `main()` с возвращаемым значением типа `int`, заключается в том, что мы можем написать оператор `return 1` в случае ошибки открытия файла. В противном случае нам пришлось бы воспользоваться стандартной функцией `exit(1)`.

Состояние потока определяется флагами ошибок, определенными в классе `ios` (табл. 3.9).

Таблица 3.9. *Флаги ошибок потока*

Флаг	Описание
`goodbit`	Нет ошибок
`eofbit`	Достигнут конец файла
`failbit`	Ошибка форматирования или преобразования
`badbit`	Серьезная ошибка
`hardfail`	Неисправность оборудования

Имеется целая группа методов проверки состояния потока (табл. 3.10).

Таблица 3.10. *Методы проверки состояния потока*

Метод	Действие
`rdstate()`	Возвращает текущее состояние потока
`eof()`	Возвращает ненулевое значение, если установлен флаг `eofbit`

Таблица 3.10 *(окончание)*

Метод	Действие
`fail()`	Возвращает ненулевое значение, если установлен один из флагов: `failbit`, `badbit`, `hardfail`
`bad()`	Возвращает ненулевое значение, если установлен один из флагов: `badbit`, `hardfail`
`good()`	Возвращает ненулевое значение, если сброшены все флаги ошибок
`clear(int = 0)`	Сбрасывает все флаги и устанавливает указанный в качестве параметра флаг. Если указан без параметра, то сбрасывает все флаги ошибок

Используя эти методы, можно цикл чтения файла организовать так:

```
while (in.good()){ ... }
```

Но если так поступить в предыдущем примере, мы получим в выходном файле и на консоли лишнюю пустую строку, поскольку метод `getline()` вернет нулевое значение потока уже внутри цикла и произойдет вывод пустой строки, а условие `good()` проверится лишь в следующей итерации. Кстати, то же самое произойдет, если мы заменим условие на `!in.eof()`, поэтому мы предпочтем проверку возвращаемого значения потоковой переменной.

При вводе имени файла нужно учитывать, что если имя вводится без указания пути, то файл будет искаться в текущей папке, если же нужно указать имя файла, находящегося в другой папке, то необходимо указывать либо полное имя файла, либо относительный путь, например:

```
d:\document\text\test.txt
```

Файл `test.txt` находится на диске `d` в папке `text`, вложенной в папку `document`.

Если опустить имя диска, то по умолчанию понимается текущий диск, если имя начинается с символа `\` (слэш), то файл ищется от корневого каталога, иначе поиск осуществляется от текущего каталога. В этом случае можно использовать относительное имя, например, если текущим каталогом является каталог `d:\document`, то имя `text\test.txt` означает тот же самый файл, что мы описали выше.

Примечание

Здесь термины "каталог" и "папка" являются синонимами, но для описания файловой системы корректнее использовать термин "каталог".

Можно использовать специальные имена:

- . — текущий каталог.
- .. — каталог, расположенный на один уровень выше текущего (родительский каталог).

Так, если мы находимся в каталоге `d:\document`, то имя `..\test.txt` означает, что файл размещается в корневом каталоге диска `d`.

Примечание

Если же мы описываем имя файла в тексте программы, необходимо всегда использовать двойной слэш `\\`, поскольку это спецсимвол в строке, например: `"d:\\document\\text\\test.txt"`.

Произвольный доступ к файлам

Суть произвольного доступа заключается в том, что мы можем произвольно перемещать указатель чтения/записи по файлу, не перечитывая все промежуточные данные. Для этого имеется набор методов для потоков чтения и записи, где суффикс "`g`" означает "`get`", а суффикс "`p`" — "`put`" (табл. 3.11).

Таблица 3.11. *Методы произвольного доступа в потоке*

Класс	Метод	Действие
ifstream	`seekg(pos)`	Устанавливает текущую позицию чтения в `pos`
	`seekg(offs,org)`	Перемещает текущую позицию чтения на `offs` байтов, отсчитывая от одной из трех позиций `org`: `ios::beg`, `ios::cur`, `ios::end`
	`tellg()`	Возвращает текущую позицию чтения потока
ofstream	`seekp(pos)`	Устанавливает текущую позицию записи в `pos`
	`seekp(offs,org)`	Перемещает текущую позицию записи на `offs` байтов, отсчитывая от позиции `org`
	`tellp()`	Возвращает текущую позицию записи в поток

В качестве примера рассмотрим программу, которая выводит в файл массив из 1000 целых чисел в двоичном представлении, затем читает из этого файла лишь каждое 100-е значение и выводит его на консоль (листинг 3.5).

Листинг 3.5. Программа с произвольным доступом к файлу

```
#include <iostream>
#include <fstream>
```

```
using namespace std;
int main()
{
        int k;
        ofstream out("test.dat", ios::binary);
        for (int i = 0; i < 1000; i++)
                out.write((char *)&i, sizeof(int));
        out.close();
        ifstream in("test.dat", ios::binary);
        for (i = 0; i < 1000; i += 100)
        {
                in.seekg(i*sizeof(int));
                in.read((char *)&k, sizeof(int));
                cout << k << endl;
        }
        in.close();
}
```

Вывод:

```
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
```

Мы выводим число в файл побайтно следующим методом:

```
write((char *)&i, sizeof(int));
```

где в качестве первого параметра должен стоять указатель типа `char*` на область памяти, содержимое которой выводится, а второй параметр — размер области (у нас используется целое число, занимающее 4 байта). Но поскольку мы выводим данные типа `int`, то должны поставить явное преобразование `int* -> char*`. Вообще-то в современном стиле программирования принято описывать такое преобразование так:

```
reinterpret_cast<char *>(&i).
```

При вводе, для метода

```
read((char *)&k, sizeof(int));
```

ситуация абсолютно симметрична.

Здесь нужно отметить, что чтение из файла и запись в файл по 4 байта не является очень плохим решением, поскольку эти операции осуществляются через буфер и по сути дела происходят в оперативной памяти, физическая же операция чтения/записи с диском происходит по мере исчерпания или заполнения буфера и осуществляется автоматически.

Доступ к файловому буферу

Операции потокового ввода/вывода, как правило, осуществляются через буфер, что повышает производительность системы. Оказывается, можно производить манипуляции с потоком данных непосредственно через буфер. Так, например, можно одной командой вывести все содержимое текстового файла на консоль (пример такой программы приведен в листинге 3.6).

Листинг 3.6. Простейшая программа вывода текстового файла на консоль

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;
void main()
{
ifstream in("t.txt");
cout << in.rdbuf();
}
```

Вывод:

```
string 1
string 2
```

Здесь метод `rdbuf()` вернул указатель файлового буфера, а перегруженный оператор << вывел его содержимое на консоль.

Можно также описать переменную типа "указатель файлового буфера" и связать ее с открытым потоком, затем методами потокового буфера манипулировать данными. Например, если бы мы захотели в предыдущей задаче вывести содержимое файла на консоль посимвольно, можно было бы это сделать так:

```
void main()
{
  char ch;
  ifstream in("t.txt");
  filebuf *buf = in.rdbuf();
  while ((ch = buf->sbumpc()) > 0) cout << ch;
}
```

Мы описали переменную `filebuf *buf;` и присвоили ей значение буфера открытого потока, затем методом `sbumpc()` извлекаем символ за символом из буфера, учитывая, что метод возвращает код символа в виде целого числа, или `-1` при достижении конца буфера. Приведем в табл. 3.12 основные методы работы с буфером.

Таблица 3.12. *Методы класса* `filebuf`

Метод	Действие
`sputc(ch)`	Выводит символ в потоковый буфер
`sputs(str,n)`	Выводит `n` символов из строки `str` в потоковый буфер
`in_avail()`	Возвращает нижнюю границу доступных символов
`sgetc()`	Возвращает текущий символ без его извлечения из буфера
`sbumpc()`	Возвращает текущий символ с извлечением из буфера
`snextc()`	Переходит к следующему символу и возвращает его
`sgetn(str,n)`	Читает `n` символов и сохраняет их в `str`
`sputbackc(ch)`	Возвращает символ обратно в потоковый буфер
`sungetc()`	Возвращает указатель текущей позиции к предыдущему символу

Итераторы потоковых буферов

Другой механизм непосредственного доступа к буферу потока основан на использовании классов *итераторов* потоковых буферов, которые предназначены для посимвольного чтения/записи в буфере потока и являются частью стандартной библиотеки. Эти классы описаны в файле включений `iterator` и реализованы в виде шаблонов.

Класс *ostreambuf_iterator*

Для итераторов буфера выходного потока доступны лишь операции записи, после чего символы, помещенные в буфер, уже не доступны (табл. 3.13).

Таблица 3.13. *Методы класса* `ostreambuf_iterator`

Метод	Действие
`ostreambuf_iterator<char>(ostream)`	Создание итератора потокового буфера вывода для потока `ostream`

Таблица 3.13 *(окончание)*

Метод	Действие
`ostreambuf_iterator<char>(buffer)`	Создание итератора потокового буфера вывода для буфера, на который ссылается указатель `buffer`
`iter = ch`	Записывает символ `ch` в буфер вызовом функции `sputc(ch)`
`*iter`	Фиктивная операция возвращает `iter`
`++iter`	
`iter++`	
`failed()`	Проверка возможности записи в буфер

Класс *istreambuf_iterator*

Итераторы входного потока, напротив, предназначены лишь для чтения данных. Несколько своеобразно решен вопрос о равенстве входных итераторов: все итераторы конца буфера считаются равными.

Таблица 3.14. *Методы класса* `istreambuf_iterator`

Метод	Действие
`istreambuf_iterator<char>()`	Создание итератора конца потока
`istreambuf_iterator<char>(istream)`	Создание итератора потокового буфера ввода для потока `istream`
`istreambuf_iterator<char>(buffer)`	Создание итератора потокового буфера ввода для буфера, на который ссылается указатель `buffer`
`*iter`	Возвращает текущий символ
`++iter`	Читает следующий символ и возвращает его позицию
`iter++`	Читает следующий символ, но возвращает позицию предыдущего символа
`iter1.equal(iter2)`	Проверяет равенство двух итераторов
`iter1 == iter2`	Проверяет на равенство два итератора
`iter1 != iter2`	Проверяет на неравенство два итератора

Смысл использования итераторов заключается в том, что мы работаем с ними как с указателями области памяти, а данные, на самом деле, отправляются в

поток вывода при записи или считываются из входного потока при чтении. Передвигаясь же по входному потоку операцией ++, мы просто пропускаем байты входных данных.

Приведем пример программы ввода/вывода с использованием итераторов потокового буфера в листинге 3.7.

Листинг 3.7. Программа ввода/вывода с использованием итераторов потокового буфера

```
#include <iterator>
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;
void main()
{// Вывод строки на консоль, итератор связан с потоком
       char buf[20] = "text";
       ostreambuf_iterator<char> it(cout);
       for (int i = 0; buf[i]; i++) *it = buf[i];
       *it = '\n';
 // Вывод на консоль набора цифр, итератор связан с буфером потока
       ostreambuf_iterator<char> iter(cout.rdbuf());
       for(i = 0; i < 10; i++) *iter = i + '0', *iter = ' ';
       *iter = '\n';
 // Вывод на консоль содержимого текстового файла,
 // итератор связан с входным файловым потоком
       ifstream file("t.txt");
       istreambuf_iterator<char> end_it, input_it(file);
       while(input_it != end_it) *it = *input_it++;
       *it = '\n';
}
```

Вывод:

```
text
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
string 1
string 2
```

Примечание

Описание входного потока требует задания двух итераторов: `istreambuf_iterator<char> end_it, input_it(file)`. Первый из них будет образован конструктором по умолчанию и является итератором конца потока, второй итератор связан с потоком и позволяет читать из него данные. Стандартная конструкция для чтения всего файла: `while(input_it != end_it) { ... }`.

Вопросы к главе

1. Предопределенные классы консольного ввода/вывода.
2. Флаги форматирования, их установка и снятие.
3. Манипуляторы потокового ввода/вывода.
4. Методы потокового ввода/вывода.
5. Создание потока ввода/вывода в память.
6. Файловые потоки, открытие потока на ввод и вывод.
7. Организация чтения и записи файла.
8. Методы чтения и записи двоичного файла.
9. Произвольный доступ к файлу.
10. Методы работы с файловым буфером.
11. Итераторы потокового буфера.
12. Чтение и запись файла с помощью итераторов потокового буфера.

Задание для самостоятельной работы

1. Написать программу для тестирования работы флагов управления вводом/выводом на консоль.
2. Создать аналогичную программу для манипуляторов.
3. Используя управление выводом на консоль, организовать вывод данных типа `double`:
   - в поле шириной 12 позиций со знаком и 6 значащими цифрами после десятичной точки;
   - в аналогичном формате вывести таблицу из трех колонок чисел, между колонками обеспечить вывод 4 пробелов.
4. Написать программу, которая вводит массив строк с консоли до пустой строки и выводит его обратно на консоль.
5. Написать программу, которая вводит набор разделенных пробелами чисел в виде строки. Подсчитать количество введенных чисел и, выделив память, записать эти числа в массив типа `double`, используя память как поток ввода. Вывести результат на консоль.
6. Написать программу, которая читает текстовый файл и подсчитывает количество строк, слов и символов. Результат вывести на консоль.

7. Написать программу, которая принимает строку текста с консоли и добавляет к существующему текстовому файлу. Имя файла также вводится с консоли.
8. Описать в программе массив типа `double`. Вывести массив в двоичном представлении в файл. Затем прочитать этот файл и вывести содержимое на консоль.
9. Создать программу для "склеивания" двух двоичных файлов.
10. Написать программу, которая создает копию текстового файла, используя потоковый буфер.

ГЛАВА 4

Стандартная библиотека шаблонов STL

Стандартная библиотека шаблонов (STL) была разработана Александром Степановым и Менг Ли, сотрудниками фирмы Hewlett-Packard, и с 1998 года входит в стандарт языка C++. STL — это часть стандартной библиотеки, используемая для хранения и обработки данных. Основные ее компоненты:

- *контейнеры* — предназначены для хранения данных. Контейнеры построены в виде шаблонных классов и могут содержать данные любого типа. Основная идея организации хранения данных в контейнерах заключается в том, чтобы избавить пользователя от необходимости заботиться о выделении памяти и обеспечить удобными средствами манипуляции данными. STL включает в себя семь основных типов контейнеров и три производных. Различают две категории контейнеров:
  - *последовательные* — векторы, списки, очереди с двусторонним доступом (`vector`, `list`, `deque`);
  - *ассоциативные* — множества, мультимножества, отображения и мультиотображения (`set`, `multiset`, `map`, `multimap`).

  Кроме того, наследниками последовательных контейнеров выступают стек, очередь и приоритетная очередь (`stack`, `queue`, `priority queue`);
- *алгоритмы* — процедуры, применяемые к контейнеру для обработки данных. Они максимально унифицированы с целью обеспечения возможности работы с большинством контейнеров, включая обычные массивы данных, по сути являющимися простейшими контейнерами;
- *итераторы* — интеллектуальные указатели, они обеспечивают ссылки на элементы контейнера, скрывая от пользователя особенности строения конкретного контейнера.

Контейнер *Vector*

Вектор — это самый простой контейнер, относящийся к классу упорядоченных коллекций и реализованный в памяти в виде динамического массива, элементы которого хранятся в определенном порядке и занимают непрерывную область памяти с возможностью расширения с конца. В силу такой организации `vector` обеспечивает произвольный доступ к своим элементам. Итераторы вектора являются итераторами произвольного доступа (т. е. позволяют передвигаться по контейнеру в обоих направлениях на произвольное количество элементов), поэтому к вектору применимы все алгоритмы STL (рис. 4.1).

Операции вставки и удаления элементов в конце вектора происходят с высоким быстродействием, однако при их выполнении внутри вектора быстродействие существенно снижается, поскольку все элементы в последующих позициях приходится перемещать на новое место.

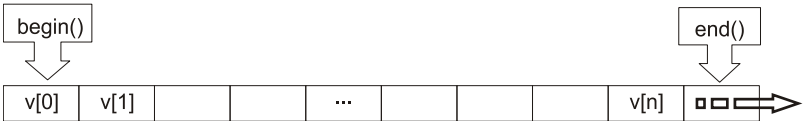

Рис. 4.1. Структура контейнера `vector`

При работе с контейнерами вместо указателей используются итераторы, выполняющие те же функции, но организованные в виде встроенных классов, что позволяет обеспечить корректную работу со всеми контейнерами. Для итераторов перегружены основные операции, имитирующие их поведение как обычных указателей. Одной из особенностей итераторов является соглашение, по которому, при указании интервала, итератор конца показывает не на последний элемент, а на элемент, лежащий после последнего, даже если физически таковой отсутствует. Такой интервал называется *полуоткрытым* и обозначается: `[begin,end)`.

Чтобы использовать *вектор* в программе, необходимо подключить заголовочный файл:

```
#include <vector>
```

Описание класса `vector`, как и всей стандартной библиотеки, лежит в стандартной области имен `std`.

В программе же, при описании переменной типа `vector`, необходимо конкретизировать тип хранимых данных, например: `vector<int> v`.

Операции с векторами

Операции с векторами рассмотрим по группам, составив соответствующие таблицы: конструкторы, немодифицирующие операции, операции сравнения, операции присваивания, доступ к элементам вектора, итераторы вектора, вставка и удаление элементов (табл. 4.1—4.7).

Таблица 4.1. *Конструкторы*

Операция	Назначение
`vector<T> v`	Создает пустой вектор
`vector<T> v(n)`	Создает вектор из n элементов
`vector<T> v2(v1)`	Создает копию вектора `v1`
`vector<T> v2(n,elem)`	Создает вектор из `n` копий `elem`
`vector<T> v2(begin,end)`	Создает вектор из элементов интервала `[begin,end)` любого контейнера, в том числе и из элементов простого массива

Здесь `T` — тип данных элементов вектора.

Таблица 4.2. *Немодифицирующие операции*

Операция	Назначение
`v.size()`	Возвращает размер вектора
`v.empty()`	Возвращает `true`, если вектор пуст
`v.max_size()`	Возвращает максимальный размер вектора
`v.capacity()`	Возвращает максимально доступный размер вектора без перераспределения памяти
`v.reserve()`	Увеличивает емкость вектора, если текущая емкость меньше

В листинге 4.1 приведена простейшая программа с использованием контейнера `vector`.

Листинг 4.1

```
#include <iostream>   // Файлы включений
#include <vector>
using namespace std;
void main()
```

```
{
        int m[] = {1, 5, 3, 4, 0, 2, 1, 4, 8, 3 };
        vector <int> v1;              // Конструктор по умолчанию
        vector <int> v2(20);          // Вектор из 20 пустых значений
        vector <int> v3(10,1);        // Вектор из 10 единиц
        vector <int> v4(v3);          // Копия вектора v3
        vector <int> v5(m, m+10);     // Вектор из 10 элементов массива
        cout << "size v5 = "<< v5.size() << endl;
        cout << "empty v5 = "<< v5.empty() << endl;
        cout << "max_size v5 = "<< v5.max_size() << endl;
        cout << "capacity v2 = "<< v2.capacity() << endl;
        v5.reserve(20);
}
```

Вывод:

```
size v5 = 10
empty v5 = 0
max_size v5 = 1073741823
capacity v2 = 20
```

Таблица 4.3. *Операции сравнения*

Операция	Назначение
`v1 == v2`	Проверяет равенство двух векторов
`v1 != v2`	Проверяет неравенство двух векторов
`v1 < v2`	Проверяет, что `v1 < v2`
`v1 > v2`	Проверяет, что `v1 > v2`
`v1 <= v2`	Проверяет, что `v1 <= v2`
`v1 >= v2`	Проверяет, что `v1 >= v2`

Чтобы протестировать операции сравнения, добавим к тексту программы из листинга 4.1 следующие три строки:

```
if (v3 == v4) cout << "v3 is equal v4\n";
vector <int> v6(m, m+3);      // Вектор из 3-х элементов массива
if (v6 < v5) cout << "v6 < v5\n";
```

Тогда и в выводе программы прибавятся строки:

```
v3 is equal v4
v6 < v5
```

Таблица 4.4. *Операции присваивания*

Операция	Назначение
`v1 = v2`	Присваивает `v1` все элементы `v2`
`v.assign(n,elem)`	Присваивает `n` копий `elem`
`v.assign(beg,end)`	Присваивает элементы интервала `[beg,end)`
`v1.swap(v2)`	Меняет местами содержимое `v1` и `v2`
`swap(v1,v2)`	То же в форме функции

Для демонстрации работы операций присваивания добавим еще несколько строк к нашей программе (листинг 4.1):

```
v1 = v6;
for (int i = 0; i < v1.size(); i++) cout << v1[i] << endl;
v2.assign(100,0);
cout << "size v2 = "<< v2.size() << endl;
cout << "capacity v2 = "<< v2.capacity() << endl;
v6.swap(v5);
cout << "size v6 = "<< v6.size() << endl;
cout << "size v5 = "<< v5.size() << endl;
```

Вывод программы для этих операций:

```
1
5
3
size v2 = 100
capacity v2 = 100
size v6 = 10
size v5 = 3
```

Некоторые из перечисленных в табл. 4.1—4.4 операций можно прокомментировать следующим образом:

- в операторе присваивания `v1 = v6`, несмотря на то, что переменной `v1` изначально не было выделено памяти для хранения данных, контейнер сам выделил необходимую память, куда и скопировал содержимое переменной `v6`;
- метод `assign()` также выделил необходимую память для вектора `v2`;
- а вот метод `swap()` обменял не только данные двух векторов, но и их размеры.

Таблица 4.5. *Доступ к элементам вектора*

Операция	Назначение
`v[index]`	Возвращает элемент с индексом `index`
`v.at(index)`	Возвращает элемент с индексом `index`. Генерируется исключение `out_of_range` при выходе за границы интервала
`v.front()`	Возвращает первый элемент
`v.back()`	Возвращает последний элемент

Мы уже немного забежали вперед, используя обращение к элементу вектора, как к элементу обычного массива `v1[i]`. Это действительно допустимо, и с вектором можно обращаться как с массивом данных, однако имеются и дополнительные возможности. Так, метод `at()`, возвращая элемент контейнера, обеспечивает контроль выхода индекса за границы допустимого интервала, он порождает исключение при выходе за границу интервала, остальные методы в этой ситуации, как правило, приводят к ошибке времени выполнения. Например, если мы добавим к нашему примеру строку:

```
for (i = 0; i < 4; i++) v5[i] = 1;
```

то получим ошибку времени выполнения, поскольку размер вектора `v5` сейчас равен 3.

Методы `front()` и `back()` возвращают первый и последний элементы вектора.

Таблица 4.6. *Итераторы вектора*

Операция	Назначение
`v.begin()`	Возвращает итератор произвольного доступа первого элемента
`v.end()`	Возвращает итератор произвольного доступа за последним элементом
`v.rbegin()`	Возвращает обратный итератор первого элемента для перебора в обратном направлении
`v.rend()`	Возвращает обратный итератор последнего элемента для перебора в обратном направлении

Разработчиками STL приняты соглашения, согласно которым при указании диапазона начальный итератор показывает на первый элемент диапазона, а конечный — на элемент, следующий за последним элементом диапазона. В связи с этим достаточно оригинально решена проблема продвижения по контейнеру в обратном направлении: итератор начала показывает на послед-

ний элемент, а итератор конца — на фиктивный элемент, стоящий перед начальным. Их можно было бы назвать "начало конца вектора" и "конец начала вектора".

С использованием итераторов можно обеспечить вывод вектора на консоль с помощью следующей конструкции:

```
vector<int>::iterator it; // Описание итератора
for (it = v5.begin(); it < v5.end(); it++) cout << *it << '\t';
```

Вывод:

```
1  5  3
```

Здесь конструкция `vector<int>::iterator it` обеспечивает описание итератора `it` для вектора с данными типа `int`, и в ней потребовалось явно указать имя контейнера с уточнением типа данных. Доступ же к данным возможен применением обычной операции разадресации итератора `it`. Далее, установив итератор на начало вектора, `it = v5.begin()`, передвигаемся по вектору, наращивая итератор `it++`, до достижения конца вектора `it < v5.end()`.

`*it` — это значение элемента вектора (операция разадресации для итератора перегружена и имеет тот же смысл, что и для указателя).

Таблица 4.7. *Вставка и удаление элементов*

Операция	**Назначение**
`v.insert(pos,elem)`	Вставляет в позицию `pos` элемент, возвращает позицию следующего элемента
`v.insert(pos,n,elem)`	Вставляет `n` элементов `elem` в позицию `pos`
`v.insert(pos,beg,end)`	Вставляет элементы интервала `[beg,end)` в позицию `pos`
`v.push_back(elem)`	Вставляет элемент `elem` в конец вектора
`v.pop_back()`	Удаляет последний элемент
`v.erase(pos)`	Удаляет элемент в позиции `pos` и возвращает позицию следующего элемента
`v.erase(beg,end)`	Удаляет все элементы из интервала `[beg,end)`
`v.resize(num)`	Приводит контейнер к размеру `num`
`v.resize(num,elem)`	Приводит контейнер к размеру `num`, новые элементы создаются как копии `elem`
`v.clear()`	Удаляет содержимое вектора

В листинге 4.2 приведен текст тестовой программы для демонстрации работы перечисленных в табл. 4.1—4.7 методов.

Листинг 4.2

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;
void main()
{
vector <int> v;
       // Заполнение вектора
       for (int i = 0; i < 10; i++) v.push_back(i);
       while (!v.empty())     // Пока вектор не пустой
        {cout << v.back() << ' ';   // Вывод на консоль
                                    // последнего элемента
         v.pop_back();              // Его удаление
        }
       cout << endl;
       vector <int> q(5,2);         // Вектор из пяти двоек
       q.insert(q.begin(),5,0);     // Вставить первые 5 нулей
       q.insert(q.begin()+5,5,1);   // Вставить следующие 5 единиц
       for (i = 0; i< 15; i++) cout << q[i] << ' ';
       cout << endl;
       q.erase(q.begin()+5,q.begin()+10);  // Удалить 5 единиц
       for (i = 0; i< 10; i++) cout << q[i] << ' ';
       cout << endl;
       q.resize(5);                 // Изменить размер вектора до 5
       cout << "size q = "<< q.size() << endl;
       q.clear();                   // Очистить содержимое
       cout << "empty q = "<< q.empty() << endl;
}
```

Вывод:

```
9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2
0 0 0 0 0 2 2 2 2 2
size q = 5
empty q = 1
```

При работе с контейнерами STL нужно иметь в виду, что при совершении операций вставки элемента или увеличения размера контейнера может автоматически происходить перераспределение памяти, т. е. для данных выделя-

ется новая область памяти, куда они и копируются, а "старая" область памяти освобождается. Это приводит к тому, что после таких операций необходимо заново определять итераторы начала и конца контейнера.

Алгоритмы

Алгоритмы — это рабочие лошади STL, они выполняют операции над элементами контейнера. Основная идея в разделении реализации контейнеров и алгоритмов заключалась в том, что алгоритмы должны работать с максимально возможным числом контейнеров. По способу реализации алгоритмы являются шаблонными функциями, их описание размещено в файле включений algorithm в стандартной области имен `std`.

При описании алгоритмов мы будем приводить их прототипы, чтобы можно было разобраться в количестве и типе параметров. Как правило, алгоритмы принимают в качестве параметров интервал, заданный итераторами, и параметры, задающие режим работы. Причем, все алгоритмы STL работают с обычными массивами и принимают указатели для задания интервала, однако, как и для контейнеров, концом интервала является указатель элемента массива после последнего. Список основных алгоритмов представлен в табл. 4.8.

Таблица 4.8. *Список основных алгоритмов*

Алгоритм	Назначение
`find()`	Возвращает итератор первого элемента с указанным значением
`for_each()`	Выполняет указанную функцию для каждого элемента контейнера
`count()`	Считает количество элементов, имеющих указанное значение
`equal()`	Сравнивает содержимое двух контейнеров
`search()`	Ищет совпадение последовательности из одного контейнера в другом
`copy()`	Копирует последовательность значений из одного контейнера в другой
`swap()`	Обменивает значения
`iter_swap()`	Обменивает последовательность значений
`fill()`	Заполняет последовательность значений
`sort()`	Сортирует значения в указанном порядке
`merge()`	Совмещает два отсортированных диапазона
`accumulate()`	Возвращает сумму элементов в указанном диапазоне

Таблица 4.8 *(окончание)*

Алгоритм	Назначение
`min_element()`	Возвращает элемент с минимальным значением
`max_element()`	Возвращает элемент с максимальным значением
`transform()`	Модифицирует элементы
`generate()`	Заменяет элементы результатом операции
`replace()`	Заменяет элемент другим
`remove()`	Удаляет элементы с заданным значением
`unique()`	Удаляет смежные дубликаты
`reverse()`	Переставляет элементы в обратном порядке
`rotate()`	Производит циклический сдвиг элементов
`partition()`	Изменяет порядок следования элементов, чтобы спереди оказались элементы, соответствующие критерию

Алгоритмы поиска

Рассмотрим подробнее алгоритмы поиска. Все они возвращают итератор, указывающий на найденное значение, или итератор конца интервала, если требуемое значение не найдено.

Поиск первого совпадающего элемента. Алгоритмы *find(), find_if()*

```
Iterator find (Iterator beg, Iterator end, const T& value)
Iterator find_if (Iterator beg, Iterator end, UnaryPredicate op)
```

Первая форма алгоритма принимает в качестве параметров интервал и константное значение.

Вторая форма также принимает интервал, а в качестве третьего параметра — функциональный объект с одним параметром.

В листинге 4.3 приведен пример программы, в которой использован алгоритм поиска на примере решения задачи поиска в числовом массиве. В качестве итераторов используются обычные указатели.

Листинг 4.3. Поиск в числовом массиве

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
```

```
using namespace std;
void main()
{
        int arr[] = { 4,7,1,6,8,2,6,4,9,3 };
        int *p = find(arr, arr+10, 2);// Ищем первое вхождение числа 2
        cout << "Number 2 in a position: " << p - arr << endl;
}
```

Вывод:

```
Number 2 in a position: 5
```

Необходимо пояснить, что для поиска номера позиции найденного значения мы воспользовались разностью двух указателей: `p — arr`, что вполне допустимо, поскольку числовой массив занимает непрерывную область памяти.

Функциональные объекты

Понятие *функционального объекта* очень широко используется в STL для настройки существующих алгоритмов. Функциональный объект *(предикат)* — это объект, который ведет себя как функция, возвращающая логическое значение `true` или `false`, и может быть:

- функцией;
- предопределенным функциональным объектом;
- специальным классом, имеющим оператор `()`.

Примечание

В описании стандартной библиотеки предикатом часто называют функциональный объект с любым типом возвращаемого значения, хотя, строго говоря, предикат должен возвращать логическое значение.

Рассмотрим вначале наиболее простой случай, когда функциональный объект является просто функцией. Поставим следующую задачу: необходимо найти для предыдущего примера, приведенного в листинге 4.3, позицию элемента со значением больше `7`. Текст программы приведен в листинге 4.4.

Листинг 4.4. Использование функции в качестве функционального объекта

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
using namespace std;
bool greater(int k) { return (k > 7); } // Функциональный объект
void main()
```

```
{
        int arr[] = { 4,7,1,6,8,2,6,4,9,3 };
        int *p = find_if(arr, arr+10, greater);
        cout << "Number 2 in a position: " << p - arr << endl;
}
```

Вывод:

```
Number 2 in a position: 4
```

Действительно, число 8 занимает четвертую позицию в массиве.

Обратите внимание, что имя функции `greater` в алгоритме `find_if()` используется без аргументов, по сути — это просто передача указателя на функцию, а задача построить правильное обращение к этой функции возлагается полностью на алгоритм.

Предопределенные функциональные объекты

Предопределенные функциональные объекты (табл. 4.9) размещены в заголовочном файле `functional` стандартной области имен и реализованы в виде шаблонных структур.

Таблица 4.9. *Предопределенные функциональные объекты*

Функциональный объект	Операция
`negate<>()`	`-x`
`plus<>()`	`x + y`
`minus<>()`	`x - y`
`multiplies<>()`	`x * y`
`divides<>()`	`x / y`
`modulus<>()`	`x % y`
`equal_to<>()`	`x == y`
`not_equal_to<>()`	`x != y`
`greater<>()`	`x > y`
`less<>()`	`x < y`
`greater_equal<>()`	`x >= y`
`less_equal<>()`	`x <= y`
`logical_and<>()`	`x && y`
`logical_or<>()`	`x || y`
`logical_not<>()`	`!x`

Можно было бы решить предыдущую задачу при помощи стандартного объекта `greater<>()`, но проблема заключается в том, что это бинарный объект, а по формату алгоритма требуется унарный функциональный объект. Для разрешения подобных коллизий используются так называемые *функциональные адаптеры*, при помощи которых бинарный объект можно преобразовать в унарный. Так, выражение:

```
bind2nd(greater<int>(),7);
```

позволит решить эту задачу.

В листинге 4.5 приведен пример тестирующей программы.

Листинг 4.5

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <functional>
using namespace std;
void main()
{
        int arr[] = { 4,7,1,6,8,2,6,4,9,3 };
        int *p = find_if(arr, arr+10, bind2nd(greater<int>(),7));
        cout << "Number 2 in a position: " << p - arr << endl;
}
```

Результат работы программы будет тем же.

Функциональный объект — класс

В общем случае, функциональный объект (предикат) — это класс, который должен иметь в своем составе оператор `()`:

```
class FunctionObject {
необязательная часть описания класса
public:
        тип operator () (параметры)
        {
        тело оператора;
        return возвращаемое_значение;
        }
};
```

Чтобы понять, как будет работать функциональный объект, нужно иметь в виду, что алгоритмы для каждого элемента контейнера строят обращения к этому объекту следующим образом: `op(*it)`, где `it` — итератор, последовательно извлекающий элементы контейнера.

Текст программы, в которой показан пример использования класса в качестве функционального объекта, приведен в листинге 4.6.

Листинг 4.6

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <functional>
using namespace std;
class FunctionObject {
private: int val;
public:
        FunctionObject(int v) : val(v) { }
        bool operator () (int k)
        {
        return k > val;
        }
};
void main()
{
        int arr[] = { 4,7,1,6,8,2,6,4,9,3 };
        FunctionObject op(7);
        int *p = find_if(arr, arr+10, op);
        cout << "Number >7 in a position: " << p - arr << endl;
        op = 9;
        p = find_if(arr, arr+10, op);
        cout << "Number >9 in a position: " << p - arr << endl;
}
```

Вывод на консоль:

```
Number >7 in a position: 4
Number >9 in a position: 10
```

При описании класса мы создали закрытую переменную, которую можем устанавливать при помощи конструктора. Теперь, как видно из текста программы, нам достаточно изменить значение переменной `op` класса `FunctionObject`, и алгоритм поиска будет работать в другом режиме. Но, поскольку в массиве отсутствуют числа больше `9`, поиск завершился возвращением указателя за концом массива.

Теперь, чтобы посмотреть, как алгоритм поиска будет работать с контейнером `vector`, перепишем функцию `main()`, добавив создание вектора из нашего массива.

```
...
#include <vector>
void main()
{       int arr[] = { 4,7,1,6,8,2,6,4,9,3 };
// Вектор создается из массива
        vector<int> v(arr, arr+10);
        vector<int>::iterator p, beg, end;
        beg = v.begin(); // Определяем итератор начала вектора
        end = v.end();    // и его конца
        FunctionObject op(7);// Определение функционального объекта
        p = find_if(beg, end, op);
        cout << "Number >7 in a position: " << p - beg << endl;
        op = 9;               // Новое значение функционального объекта
        p = find_if(beg, end, op);
        cout << "Number >9 in a position: " << p - beg << endl;
}
```

Здесь нам пришлось определить три итератора и присвоить двум из них значение начала и конца контейнера:

```
vector<int>::iterator p, beg, end;
beg = v.begin();
end = v.end();
```

Как и ожидалось, результат получаем тот же самый.

Обратите внимание на то, как мы определили позицию найденного значения: `p - beg`. Просто нашли разность итераторов найденного числа и начала контейнера, т. е. поступили как с обычными указателями. Здесь выполнение этой операции возможно, поскольку вектор занимает непрерывную область памяти, но это, пожалуй, единственный контейнер, где расстояние в диапазоне можно определить таким простым способом. Во всех других контейнерах для решения такой задачи нам придется воспользоваться специальной функцией.

Минимум и максимум. Алгоритмы *min_element()*, *max_element()*

```
Iterator min_element(Iterator beg, Iterator end)
Iterator min_element(Iterator beg, Iterator end, BinaryPredicate op)
Iterator max_element(Iterator beg, Iterator end)
Iterator max_element(Iterator beg, Iterator end, BinaryPredicate op)
```

Все версии только что перечисленных алгоритмов возвращают итератор найденного элемента. Если таких элементов несколько, алгоритмы возвращают первый найденный элемент. Алгоритмы с двумя аргументами используют

для сравнения оператор <, а версии с тремя аргументами используют для сравнения функциональный объект. Операция op(elem1, elem2) должна возвращать true, если elem1 < elem2.

Для проверки работы этих алгоритмов добавим в конец последней программы (см. листинг 4.6 с последующими дополнениями) несколько строк.

```
p = min_element(beg, end);
cout << "min element= " << *p << endl;
p = max_element(beg, end);
cout << "max element= " << *p << endl;
```

Вывод:

```
min element= 1
max element= 9
```

Поиск первых *n* последовательных совпадений. Алгоритм *search_n()*

```
Iterator search_n (Iterator beg, Iterator end, Size n, const T& v)
Iterator search_n (Iterator beg, Iterator end, Size n, const T& v,
                   BinaryPredicate op)
```

Алгоритм возвращает позицию первого из n последовательных элементов в интервале [beg,end), каждый из которых имеет значение v, или для которых бинарный предикат op(elem,v) возвращает значение true. Если подходящий элемент не найден, обе формы возвращают end.

Добавим в предыдущую программу две строки:

```
p = search_n(beg, end, 3, 3, greater<int>());
cout << "Position of three elements big 3 = " << p-beg << endl;
```

Вывод:

```
Position of three elements big 3 = 6
```

Поиск первого подинтервала. Алгоритм *search()*

```
Iterator search (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
                 Iterator searchEnd)
Iterator search (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
                 Iterator searchEnd, BinaryPredicate op)
```

Возвращает позицию первого вхождения в первый интервал [beg,end) искомого подинтервала [searchBeg, searchEnd). Во второй форме записи алгоритма значение true бинарного предиката op(elem, searchElem) служит кри-

терием сравнения. Если подинтервал не найден, обе разновидности алгоритма поиска подинтервала возвращают итератор конца интервала `end`.

Для проверки работы алгоритма создадим вектор и найдем позицию его вхождения в исходный вектор:

```
int m[] = { 2, 6, 4 };
  vector<int> q(m, m+3);
  p = search(beg, end, q.begin(), q.end());
  cout << "Position on interval = " << p-beg << endl;
```

Вывод:

```
Position on interval = 5
```

Поиск последнего подинтервала. Алгоритм *find_end ()*

```
Iterator find_end (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
                   Iterator searchEnd)
Iterator find_end (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
                   Iterator searchEnd, BinaryPredicate op)
```

Возвращает позицию последнего вхождения в первый интервал `[beg,end)` искомого подинтервала `[searchBeg, searchEnd)`. Во второй форме записи алгоритма значение `true` бинарного предиката `op(elem, searchElem)` служит критерием сравнения. Если подинтервал не найден, обе разновидности алгоритма возвращают итератор конца интервала `end`.

Алгоритм работает практически идентично предыдущему `search()`, только ищет последнее вхождение подинтервала.

Поиск первого из нескольких возможных значений. Алгоритм *find_first_of()*

```
Iterator find_first_of (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
                        Iterator searchEnd)
Iterator find_first_of (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
                        Iterator searchEnd, BinaryPredicate op)
```

Возвращает позицию первого элемента в интервале `[beg,end)`, значение которого также встречается в интервале `[searchBeg, searchEnd)`, или для которых бинарный предикат `op(elem, searchElem)` возвращает значение `true`. Если подходящий элемент не найден, обе разновидности алгоритма возвращают `end`.

Например, если нас интересует появление любого из чисел массива:

```
int m[] = { 2,6,4 };
```

в исходном массиве мы вставим в программу такой код:

```
p = find_first_of(beg, end, q.begin(), q.end());
cout << "Position = " << p-beg << endl;
```

Вывод:

```
Position = 0
```

Поиск двух смежных элементов с равными значениями. Алгоритм *adjacent_find ()*

```
Iterator adjacent_find (Iterator beg, Iterator end)
Iterator adjacent_find (Iterator beg, Iterator end, BinaryPredicate op)
```

Возвращает итератор первого элемента со значением следующего элемента или же итератор первого из двух элементов, для которых бинарный предикат `op(elem, next_elem)` возвращает значение `true`. Если подходящий элемент не найден, обе разновидности алгоритма возвращают `end`.

Вставим в вектор значение `1` в позицию `beg + 2`, и попытаемся найти пару единиц с помощью алгоритма `adjacent_find()`. Здесь нас ожидает небольшая неприятность, дело в том, что при вставке элемента вектора может произойти перераспределение памяти, и для корректной работы программы необходимо переопределить итераторы `beg` и `end`.

```
v.insert(beg + 2, 1); // Возможно перераспределение памяти
beg = v.begin();
end = v.end();
for (p = beg; p != end; p++) cout << *p << '\t';
p = adjacent_find(beg, end);
cout << "\nPosition 1,1 = " << p-beg << endl;
```

Вывод:

```
4     7     1     1     6     8     2     6     4     9     3
Position 1,1 = 2
```

Алгоритм *for_each()*

```
UnaryPredicate for_each(Iterator beg, Iterator end, UnaryPredicate op)
```

Алгоритм вызывает унарный предикат `op(elem)` для каждого элемента в интервале `[beg,end)`. Операция `op` не может модифицировать элементы, возвращаемое значение игнорируется.

Например, для предыдущей задачи мы могли бы организовать вывод элементов вектора на консоль с помощью алгоритма `for_each()`. Для этого необходимо написать функцию вывода одного элемента вектора:

```
void print(int elem) { cout << elem << ' '; }
```

Теперь вставим в программу следующую строку:

```
for_each(beg, end, print);
```

Вывод:

```
4 7 1 1 6 8 2 6 4 9 3
```

Подсчет количества элементов. Алгоритмы *count()*, *count_if()*

```
difference_type cout (Iterator beg, Iterator end, const T& value)
difference_type cout_if(Iterator beg, Iterator end, UnaryPredicate op)
```

Алгоритм подсчитывает элементы со значением `value` в интервале `[beg,end)`, или элементы, для которых унарный предикат `op(elem)` возвращает значение `true`. Возвращаемое значение `difference_type` соответствует типу разности итераторов (как правило, `long`).

Например, так мы подсчитаем количество элементов, равных 6, в нашем векторе:

```
cout << "count(6) = " << count(beg, end, 6) << endl;
```

Вывод:

```
count(6) = 2
```

Проверка на равенство интервалов. Алгоритм *equal()*

```
bool equal (Iterator beg, Iterator end, Iterator cmpBeg)
bool equal (Iterator beg,Iterator end,Iterator cmpBeg,BinaryPredicate op)
```

Алгоритм проверяет полное совпадение элементов интервалов `[beg,end)` и `[cmpBeg,...)`и возвращает логическое значение. Бинарный предикат `op(elem, cmpElem)` производит сравнение соответствующих элементов двух интервалов.

Например, если сравнить два вектора в нашем примере:

```
cout << "v == q? = " << equal(beg, end, q.begin()) << endl;
```

Вывод:

```
v == q? = 0 // false
```

Поиск первого несовпадения. Алгоритм *mismatch()*

```
pair<Iterator1, Iterator2> mismatch(Iterator1 beg, Iterator1 end,
                                    Iterator2 cmpBeg)
pair<Iterator1, Iterator2> mismatch(Iterator1 beg, Iterator1 end,
                                    Iterator2 cmpBeg, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм возвращает пару итераторов элементов двух контейнеров при нахождении первого несовпадения. Если различия не найдены, возвращается один из итераторов `end` и соответствующий элемент второго контейнера.

В качестве возвращаемого значения используется шаблонная структура пары (`pair`), которая имеет две открытых переменных `first` и `second`. Эта структура часто используется в STL, а ее текст приведем в листинге 4.7.

Листинг 4.7. Код структуры `pair`, определенной в заголовочном файле `utility`

```
template<class T1, class T2>
struct pair {
       T1 first;
       T2 second;
// Конструктор по умолчанию
       pair(): first(T1()), second(T2()) {}
// Конструктор с двумя параметрами
       pair(const T1& a, const T2& b): first(a), second(b) {}
// Копирующий конструктор с автоматическим преобразованием типа
template<class U, class V>
       pair(const pair<U, V> &p): first(p.first), second(p.second) {}
       };
```

Посмотрим сейчас, как изменилось содержимое вектора после вставки элемента:

```
// Объявление переменной типа пары
  pair<vector<int>::iterator, int *> val;
  val = mismatch(beg, end, arr);
  cout << "Position vector = " << val.first - beg << endl;
  cout << "Position array = " << val.second - arr << endl;
```

Вывод:

```
Position vector = 3
Position array = 3
```

Сравнение по лексикографическому критерию. Алгоритм *lexicographical_compare()*

```
bool lexicographical_compare(Iterator beg1,Iterator end1,Iterator beg2,
                             Iterator end2)
bool lexicographical_compare(Iterator beg1,Iterator end1,Iterator beg2,
                             Iterator end2, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм проверяет, меньше ли содержимое интервала `[beg1,end1)` и интервала `[beg2,end2)` по лексикографическому критерию. Интервалы сравнивают-

ся по значениям соответствующих элементов, и результат этого сравнения является результатом действия алгоритма. Если элементы совпадают, то контейнер, содержащий меньшее количество элементов, считается меньше, т. к. любой элемент считается больше отсутствующего элемента.

Модифицирующие алгоритмы

Эта группа алгоритмов позволяет изменить содержимое либо исходного контейнера, либо в процессе копирования данных в другой контейнер.

Копирование элементов. Алгоритм *copy()*

```
OutputIterator copy (InputIterator sourceBeg, InputIterator sourceEnd,
                     OutputIterator destBeg)
```

Алгоритмы копируют все элементы исходного интервала `[sourceBeg, sourceEnd)` в приемный интервал, начиная с `destBeg`, и возвращают позицию, следующую за последним скопированным элементом. Причем контейнеры источника и приемника могут быть различными, более того, в качестве источника может выступать итератор входного потока, а приемником может служить итератор выходного потока. Алгоритм `copy` осуществляет копирование в прямом направлении, а `copy_backward()` начинает копировать с конца, сохраняя исходный порядок следования элементов, выходной интервал необходимо задавать с конца. Перед вызовом алгоритма необходимо убедиться, что приемный интервал имеет достаточный размер, иначе возможна ошибка времени выполнения. Рассмотрим в качестве примера, как содержимое массива скопировать в вектор:

```
OutputIterator copy_backward (InputIterator sourceBeg, InputIterator
sourceEnd, OutputIterator destEnd)
vector<int> vec(8);   // Создание вектора из 8 элементов
copy(arr, arr+8, vec.begin());
for_each(vec.begin(), vec.end(), print);
```

Вывод:

```
4 7 1 6 8 2 6 4
```

Потоковые итераторы

Во многих алгоритмах в качестве входного интервала может применяться входной поток данных, а для выходного интервала часто можно использовать выходной поток. Для реализации этой идеи были разработаны *потоковые итераторы*, которые также реализованы в виде шаблонных классов. Чтобы иметь возможность использовать потоковые итераторы, достаточно подключить файл включений соответствующего потокового класса.

Класс *ostream_iterator*

Объекты этого класса могут использоваться в качестве параметров алгоритма, использующего выходные итераторы. Он описан в заголовочном файле `iostream`. Текст программы вывода содержимого контейнера на консоль при помощи алгоритма `copy()` приведен в листинге 4.8.

Листинг 4.8

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <vector>
using namespace std;
void main()
{
  int arr[] = { 4,7,1,6,8,2,6,4,9,3 };
  vector<int> v(arr, arr+10);
  ostream_iterator<int> out_it(cout," ");
  copy(v.begin(),v.end(),out_it);
  cout << endl;
}
```

В строке:

```
ostream_iterator<int> out_it(cout," ");
```

мы определили итератор `out_it` для чтения значений типа `int`. Конструктор, используемый для создания итератора, принимает два параметра, первый из которых — поток вывода `cout`, а второй — строка-разделитель данных, в нашем случае это символ пробела.

Аналогично можно вывести данные в файл, если определить поток вывода в файл. Допишем несколько строк в текст программы и добавим файл включений `fstream`:

```
ofstream outfile("out_iter.dat");
ostream_iterator<int> out_file_it(outfile," ");
copy(v.begin(),v.end(),out_file_it);
outfile.close();
```

Нетрудно убедиться, что параллельно выводу на консоль в текущей папке появился текстовый файл `out_iter.dat`.

Класс *istream_iterator*

Если алгоритм использует входные итераторы, можно использовать входной поток. Это, конечно, не самая удачная идея, но попробуем ввести данные чи-

слового вектора с консоли, применяя `istream_iterator`. Текст программы, использующей ввод с консоли при помощи алгоритма `copy`, приведен в листинге 4.9.

Листинг 4.9

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <vector>
using namespace std;
void main()
{
  istream_iterator<int> in_it(cin), end_of_stream;
  vector<int> v;
  copy(in_it, end_of_stream, back_inserter(v));
  ostream_iterator<int> out_it(cout," ");
  copy(v.begin(),v.end(),out_it);
  cout << endl;
}
```

Для входного потока необходимо определять два итератора: первый используется как текущий и создается конструктором, где в качестве параметра задана потоковая переменная `in_it(cin)`, а второй итератор служит признаком конца потока, он описывается без параметров и создается конструктором по умолчанию `end_of_stream`.

Признак конца потока ввода при вводе с консоли задается клавишами <Ctrl>+<Z>.

Примечание

В связи с тем, что поток ввода буферизован, нажимать на <Ctrl>+<Z> придется неоднократно.

В следующем листинге (листинг 4.10) приведен текст программы ввода данных из файла (файл находится в текущей папке).

Листинг 4.10

```
#include <fstream>
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <vector>
using namespace std;
```

```
void main()
{ ifstream infile("out_iter.dat");
  if (!infile.fail())
  {
       istream_iterator<int> file_it(infile), end_of_stream;
       vector<int> v;
       copy(file_it, end_of_stream, back_inserter(v));
       copy(v.begin(), v.end(), ostream_iterator<int>(cout," "));
       cout << endl;
  }
}
```

Мы использовали в качестве выходного итератора итератор вставки `back_inserter(v)`, что позволяет заполнять вектор, не заботясь о наличии свободного места. Фактически этот итератор вызовет метод `push_back()` для выходного контейнера.

Для вывода данных на консоль используем в качестве выходного итератора `ostream_iterator<int>(cout," ")` — итератор выходного потока на консоль. Здесь итератор приводится в виде неименованного объекта, который будет создан при обращении к алгоритму и уничтожен при выходе из него.

Преобразование элементов. Алгоритм *transform()*

```
OutputIterator transform (InputIterator sourceBeg, InputIterator
               sourceEnd, OutputIterator destBeg, UnaryPredicate op)
```

Алгоритм вызывает унарный предикат `op(elem)` для каждого элемента исходного интервала и записывает каждый результат `op()` в приемный интервал. Позиции `sourceBeg` и `destBeg` могут быть идентичны. Возвращает позицию, следующую за последним преобразованным элементом.

Рассмотрим простой пример: читаем набор целых чисел из файла и помещаем данные в контейнер `vector` с обратным знаком, после чего выводим содержимое контейнера на консоль (листинг 4.11).

Листинг 4.11

```
#include <fstream>
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <vector>
#include <functional>
using namespace std;
const int N = 100;
```

```
void main()
{
  ifstream infile("out_iter.dat");
  if (!infile.fail()) // Проверка открытия файла
  {
    istream_iterator<int> f_it(infile), end;
    vector<int> v;
    v.reserve(N); // Задаем размер вектора
    // Преобразование данных при чтении файла
    transform(f_it, end, back_inserter(v), negate<int>());
    // Вывод вектора на консоль
    copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
    cout << endl;
  }
  else cout << "File not found\n";
}
```

Вывод:

```
-4 -7 -1 -6 -8 -2 -6 -4 -9 -3
```

Комбинирование элементов двух интервалов

```
OutputIterator transform (InputIterator sourceBeg1,
                InputIterator sourceEnd1, InputIterator sourceBeg2,
                OutputIterator destBeg, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм вызывает бинарный предикат `op(elem1,elem2)` для каждой пары соответствующих элементов двух интервалов `[sourceBeg1, sourceEnd1)` и `[sourceBeg2, ...)` и записывает каждый результат в приемный интервал `destBeg`. Позиции `sourceBeg1`, `sourceBeg2` и `destBeg` могут быть идентичны. Возвращает позицию за последним преобразованным элементом. В качестве примера приведем текст программы возведения в квадрат всех элементов вектора (листинг 4.12).

Листинг 4.12. Программа возведения в квадрат всех элементов вектора

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <functional>
using namespace std;
void main()
{
       int arr[] = { 4,7,1,6,8,2,6,4,9,3 };
```

```
        vector<int> v(arr, arr+10);
        copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
        transform(v.begin(), v.end(), v.begin(), v.begin(),
        multiplies<int>());
        copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
}
```

Вывод:

```
4 7 1 6 8 2 6 4 9 3
16 49 1 36 64 4 36 16 81 9
```

Обмен интервалов. Алгоритм *swap_ranges()*

```
Iterator swap_ranges(Iterator beg1, Iterator  end1, Iterator beg2)
```

Алгоритм меняет местами элементы интервала `[beg1,end1)` с соответствующими элементами интервала `[beg2,...)`. Количество элементов определяется размером первого интервала. Возвращает позицию, следующую за последним переставленным элементом во втором интервале.

С помощью этого алгоритма можно, например, поменять в контейнере предыдущего примера 5 первых значений с 5-ю последующими:

```
swap_ranges(v.begin(),v.begin()+5,v.begin()+5);
```

Заполнение интервала повторяющимися значениями. Алгоритм *fill()*

```
void fill (Iterator beg, Iterator end, const T& newValue)
void fill_n (Iterator beg, Size n, const T& newValue)
```

Алгоритм `fill()` присваивает значение `newValue` каждому элементу интервала `[beg,end)`, а `fill_n()` — `n` элементам, начиная с `beg` (листинг 4.13).

Листинг 4.13

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
void main()
{
        vector<int> v(10);
```

```
        fill(v.begin(),v.begin()+5,1);
        fill_n(v.begin()+5,5,2);
        copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
}
```

Вывод:

```
1 1 1 1 1 2 2 2 2 2
```

Присваивание сгенерированных значений. Алгоритм *generate()*

```
void generate (Iterator beg, Iterator end, Func op)
void generate_n (Iterator beg, Size n, Func op)
```

Алгоритм `generate()` присваивает значение, сгенерированное вызовом `op(*it)`, каждому элементу интервала `[beg,end)`, а `generate_n` — `n` элементам, начиная с `beg`.

Так, если в предыдущем примере дописать строку:

```
generate_n(v.begin(), 10, rand);
```

получим 10 случайных чисел.

```
41 18467 6334 26500 19169 15724 11478 29358 26962 24464
```

Необходимо только добавить файл включений `cstdlib`, где описана функция генерации случайных чисел `rand()`.

Замена элементов внутри интервала. Алгоритм *replace()*

```
void replace (Iterator beg, Iterator end, const T& oldValue,
              const T& newValue)
void replace_if (Iterator beg, Iterator end, UnaryPredicate op,
                 const T& newValue)
```

Алгоритм `replace()` заменяет все элементы интервала `[beg,end)`, равные `oldValue`, на `newValue`, а `replace_if()` производит замену тех элементов, для которых унарный предикат `op(elem)` возвращает значение `true`.

Для примера, заменим в предыдущей задаче все 1 на –1.

```
replace(v.begin(),v.end(),1, -1);
```

Исходный вектор:

```
1 1 1 1 1 2 2 2 2 2
```

После `replace()`:

```
-1 -1 -1 -1 -1 2 2 2 2 2
```

Замена при копировании

```
Iterator replace_copy (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
               Iterator destBeg, const T& oldValue, const T& newValue)
Iterator replace_copy_if (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
               Iterator destBeg, UnaryPredicate op, const T& newValue)
```

Алгоритм `replace_copy()` заменяет в процессе копирования все элементы интервала `[beg,end)`, равные `oldValue`, на `newValue` в приемный интервал, начиная с `destBeg`, а `replace_copy_if()` производит замену тех элементов, для которых унарный предикат `op(elem)` возвращает значение `true`. Оба алгоритма возвращают позицию, следующую за последним скопированным элементом в приемном интервале.

Например, в предыдущем примере выведем на консоль вектор, заменив –1 на 1.

```
replace_copy (v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "),-1,11);
```

Исходный вектор:

```
-1 -1 -1 -1 -1 2 2 2 2 2
```

После `replace_copy()`:

```
11 11 11 11 11 2 2 2 2 2
```

Удаление элементов в интервале. Алгоритм *remove()*

```
Iterator remove (Iterator beg, Iterator end, const T& Value)
Iterator remove_if (Iterator beg, Iterator end, UnaryPredicate op)
```

Алгоритм `remove()` удаляет в интервале `[beg,end)` все элементы, равные `Value`, `remove_if()` удаляет те элементы, для которых унарный предикат `op(elem)` возвращает значение `true`. Удаленные элементы заменяются следующими по порядку. Оба алгоритма возвращают позицию, следующую за последним удаленным элементом.

Например, если удалить из контейнера предыдущего примера все элементы со значением меньше 5, то элементы вектора сдвигаются, заполняя освободившиеся позиции старшими значениями (текст программы — листинг 4.14).

Листинг 4.14

```
#include <iostream>
#include <vector>
```

```
#include <algorithm>
#include <functional>
using namespace std;
int op (int k) { static int n;
       return ++n;
       }
void main()
{
       vector<int> v(10);
       transform(v.begin(),v.end(),v.begin(),op);
       copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
       cout << endl;
       remove_if(v.begin(), v.end(), bind2nd(less<int>(),5));
       copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
       cout << endl;
}
```

Вывод:

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
5 6 7 8 9 10 7 8 9 10
```

Обратите внимание, как созданный нами функциональный объект позволил задать числовой вектор в виде арифметической последовательности. Действительно, здесь переменная задана как `static int n`, что означает ее инициализацию значением, равным 0, при загрузке функции, и сохранение ее значения при выходе из функции. Таким образом, при каждом обращении к функции переменная увеличивается на 1.

Удаление элементов при копировании

```
Iterator remove_copy (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
                      Iterator destBeg, const T& Value)
Iterator remove_copy_if (Iterator beg, Iterator end, Iterator destBeg,
                         UnaryPredicate op)
```

Алгоритм `remove_copy()` удаляет в процессе копирования все элементы интервала `[sourceBeg, sourceEnd)`, равные `Value`, в приемный интервал, начинающийся с `destBeg`. `remove_copy_if()` удаляет те элементы, для которых унарный предикат `op(elem)` возвращает значение `true`. Оба алгоритма возвращают позицию, следующую за последним скопированным элементом в приемном интервале.

Выведем на консоль преобразованный контейнер с удалением числа 7.

```
remove_copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "),7);
```

Вывод:

```
5 6 8 9 10 8 9 10
```

Удаление смежных дубликатов. Алгоритм *unique()*

```
Iterator unique (Iterator beg, Iterator end)
Iterator unique (Iterator beg, Iterator end, BinaryPredicate op)
```

Обе формы "сворачивают" серии одинаковых элементов в интервале `[beg,end)`, оставляя начальный элемент. Вторая форма удаляет последующие элементы, для которых бинарный предикат `op(elem)` возвращает значение `true`.

Алгоритмы заменяют удаленные элементы следующими, которые не были удалены. Возвращают новый логический конец модифицированного интервала. Пример программы удаления дубликатов приведен в листинге 4.15.

Листинг 4.15. Программа удаления дубликатов

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <functional>
using namespace std;
void main()
{
  int arr[] = { 1,1,1,2,2,2,2,4,5,5 };
  vector<int> v(arr, arr+10);
  copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
  cout << endl;
  vector<int>::iterator end = unique(v.begin(),v.end());
  copy(v.begin(), end, ostream_iterator<int>(cout," "));
  cout << endl;
}
```

Вывод:

```
1 1 1 2 2 2 2 4 5 5
1 2 4 5
```

Для корректного вывода уникального набора данных нужно использовать новый логический конец этого набора, который возвращает алгоритм:

```
vector<int>::iterator end = unique(v.begin(),v.end());
```

Удаление дубликатов при копировании

```
Iterator unique_copy (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
                      Iterator destBeg)
Iterator unique_copy_if (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
                         Iterator destBeg, BinaryPredicate op)
```

Обе формы копируют в приемный интервал, начинающийся с `destBeg`, все элементы интервала `[sourceBeg, sourceEnd)`, за исключением смежных дубликатов, `unique_copy_if()` удаляет те элементы, для которых бинарный предикат `op(elem)` возвращает значение `true`. Оба алгоритма возвращают позицию, следующую за последним скопированным элементом в приемном интервале.

Например, если в предыдущем примере нужно вывести уникальный набор на консоль, это можно сделать так:

```
unique_copy (v.begin(), v.end(), ostream_iterator<int>(cout," "));
```

Перестановка элементов в обратном порядке. Алгоритм *reverse()*

```
Iterator reverse (Iterator beg, Iterator end)
Iterator reverse_copy (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
                       Iterator destBeg)
```

Алгоритм `reverse()` переставляет элементы интервала `[beg, end)` в обратном порядке, `reverse_copy()` — в приемный интервал при копировании. Оба алгоритма возвращают позицию, следующую за последним скопированным элементом.

В предыдущем примере допишем строку:

```
reverse_copy(v.begin(), end, ostream_iterator<int>(cout," "));
```

и убедимся, что все работает правильно.

Циклический сдвиг элементов. Алгоритм *rotate()*

```
void rotate (Iterator beg, Iterator newBeg, Iterator end)
Iterator rotate_copy (Iterator sourceBeg, Iterator newBeg,
                      Iterator sourceEnd, Iterator destBeg)
```

Производит циклический сдвиг элементов интервала `[beg, end)`. После чего `*newBeg` становится новым первым элементом. Алгоритм `reverse_copy()` копирует элементы интервала `[sourceBeg, sourceEnd)` в приемный интервал, начинающийся с `destBeg`, где `*newBeg` является новым первым элементом.

Добавим к нашему примеру еще одну строку.

```
rotate_copy(v.begin(),v.begin()+3,end,ostream_iterator<int>(cout," "));
```

Несложно убедиться, что четвертый элемент вектора становится первым, а последующие элементы получены путем циклической перестановки.

Перестановка элементов. Алгоритм *permutation()*

```
bool next_permutation (Iterator beg, Iterator end)
bool prev_permutation (Iterator beg, Iterator end)
```

Алгоритмы изменяют порядок следования элементов в интервале `[beg, end)` в соответствии со следующей перестановкой `next_permutation()` или предыдущей `prev_permutation()`. Оба алгоритма возвращают `false`, если элементы упорядочены по возрастанию для `next_permutation()` или по убыванию для `prev_permutation()`.

В листинге 4.16 приведен текст программы, в которой в качестве примера приведена перестановка трех букв.

Листинг 4.16

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
void PRINT (vector<char>& v)
{
       copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<char>(cout," "));
       cout << endl;
}
void main()
{
       char arr[] = { 'b','c','a' };
       vector<char> v(arr, arr+3);
       vector<char> q(v);
       cout << "v: "; PRINT(v);
       cout << "next\n";
       while (next_permutation(v.begin(), v.end())) PRINT(v);
       cout << "afterward: "; PRINT(v);
       cout << "new: "; PRINT(q);
       cout << "prev\n";
       while (prev_permutation(q.begin(), q.end())) PRINT(q);
       cout << "afterward: "; PRINT(q);
}
```

Мы, для простоты, создали отдельную функцию вывода вектора на консоль.

Вывод:

```
v: b c a
next
c a b
c b a
afterward: a b c
new: b c a
prev
b a c
a c b
a b c
afterward: c b a
```

Здесь нужно обратить внимание на то, что в первом цикле все закончилось исходным порядком `afterward: a b c`, поскольку это следующая перестановка после `c b a`. Именно для этой перестановки алгоритм вернул `false`. После чего можно запускать второй цикл, который заканчивается обратным упорядочением.

Таким образом можно сортировать содержимое контейнера, но это будет неэффективно.

Алгоритм *random_shuffle()*

```
void random_shuffle (Iterator beg, Iterator end)
void random_shuffle (Iterator beg, Iterator end, RandomFunc op)
```

Алгоритмы переставляют элементы в интервале `[beg, end)` в случайном порядке. Первая форма использует генератор случайных чисел с равномерным распределением, вторая использует операцию `op(max)`, где `max` — размер интервала.

Рассмотрим в качестве примера перестановку массива целых чисел, где мы используем алгоритм генерации случайных чисел, предложенный Страуструпом. Текст данной программы приведен в листинге 4.17.

Листинг 4.17

```
#include <stdlib.h>
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
```

```
void PRINT (vector<int>& v)
{ copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
  cout << endl; }
class MyRandom
{ public: int operator() (int max)
               { double tmp = double(rand())/double(RAND_MAX);
                 return int(tmp*max);
               }// Здесь RAND_MAX = 0x7fff;
};
void main()
{
       vector<int> Vi(10);
       for (int i = 0; i < 10; i++) Vi[i] = i;
       PRINT(Vi);
       MyRandom rd;
       random_shuffle(Vi.begin(),Vi.end(),rd);
       PRINT(Vi);
}
```

Вывод:

```
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
3 2 7 4 1 0 5 9 6 8
```

Перемещение элементов в начало. Алгоритм *partition()*

```
Iterator partition (Iterator beg, Iterator end, UnaryPredicate op)
Iterator stable_partition (Iterator beg, Iterator end, UnaryPredicate op)
```

Оба алгоритма перемещают в начало интервала `[beg, end)` все элементы, для которых унарный предикат `op(elem)` возвращает `true`. Возвращают первую позицию, для которой `op(elem)` возвращает `false`. Алгоритм `stable_partition()` сохраняет относительный порядок следования элементов.

Пример программы, демонстрирующий способ перемещения в начало диапазона нечетных чисел, приведен в листинге 4.18.

Листинг 4.18

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
void PRINT (vector<int>& v)
```

```
{
        copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
}
bool op(int elem) {   return (elem & 1) > 0; }
void main()
{
        vector<int> v(10);
        for (int i = 0; i < 10; i++) v[i] = i;
        PRINT(v);
        vector<int> q(v);
        partition(v.begin(),v.end(),op);
        cout << "partition:        "; PRINT(v);
        stable_partition(q.begin(), q.end(), op);
        cout << "stable_partition: "; PRINT(q);
}
```

Вывод:

```
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
partition():        9 1 7 3 5 4 6 2 8 0
stable_partition(): 1 3 5 7 9 0 2 4 6 8
```

Сортировка всех элементов. Алгоритмы сортировки *sort()*

```
void sort (Iterator beg, Iterator end)
void sort (Iterator beg, Iterator end, BinaryPredicate op)
void stable_sort (Iterator beg, Iterator end)
void stable_sort (Iterator beg, Iterator end, BinaryPredicate op)
```

Алгоритмы сортируют все элементы интервала `[beg, end)` оператором `<` или используют в качестве критерия сортировки бинарный предикат `op(elem1, elem2)`. Отличие алгоритма `sort()` от `stable_sort()` заключается в том, что `stable_sort()` сохраняет относительный порядок следования равных элементов.

Примечание

Алгоритмы сортировки не могут использоваться со списками, поскольку списки не поддерживают итераторы произвольного доступа. Для списков реализован метод `sort()`.

Отсортируем массивы целых чисел предыдущего примера:

```
sort(v.begin(),v.end());
cout << "sort v on increase: "; PRINT(v);
```

```
sort(q.begin(), q.end(), greater<int>());
cout << "sort q on decrease: "; PRINT(q);
```

Вывод:

```
sort v on increase: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
sort q on decrease: 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
```

Простая частичная сортировка

```
void partial_sort (Iterator beg, Iterator SortEnd, Iterator end)
void partial_sort (Iterator beg, Iterator SortEnd, Iterator end,
                   BinaryPredicate op)
```

Алгоритмы сортируют все элементы интервала `[beg, end)` оператором `<` или используют в качестве критерия сортировки бинарный предикат `op(elem1, elem2)` так, чтобы интервал `[beg, SortEnd)` содержал упорядоченные данные. В отличие от алгоритма `sort()`, они прекращают работу, как только интервал `[beg, SortEnd)` будет упорядочен.

В предыдущей задаче изменим одну строку:

```
partial_sort(q.begin(),q.begin()+5, q.end(), greater<int>());
```

Вывод:

```
9 8 7 6 5 0 1 2 3 4
```

Действительно, отсортированы только первые пять значений, остальные сохранили исходное упорядочение.

Частичная сортировка с копированием

```
void partial_sort_copy (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
                        Iterator destBeg, Iterator destEnd)
void partial_sort_copy (Iterator sourceBeg, Iterator sourceEnd,
                  Iterator destBeg, Iterator destEnd, BinaryPredicate op)
```

Алгоритмы сортируют элементы из интервала `[sourceBeg, sourceEnd)` в приемный интервал `[destBeg, destEnd)`. Количество упорядоченных и скопированных элементов равно минимальному количеству элементов в исходном и приемном интервалах. Алгоритмы возвращают позицию, следующую за последним скопированным элементом в приемном интервале.

Так, в предыдущем примере мы заменим алгоритм `partial_sort()` на `partial_sort_copy()` и выведем данные на консоль.

```
partial_sort_copy(q.begin(),q.end(),v.begin(),v.begin()+5,
greater<int>());
```

Вывод:

```
9 8 7 6 5 5 6 7 8 9
```

В приемный интервал помещены первые 5 элементов, отсортированных по убыванию, последние 5 элементов приемного интервала остались без изменений.

Разбиение по n-му элементу

```
void nth_element (Iterator beg, Iterator nth, Iterator end)
void nth_element (Iterator beg, Iterator nth, Iterator end,
                  BinaryPredicate op)
```

Алгоритмы сортируют элементы интервала `[beg, end)` так, чтобы элемент `*nth` занимал правильное в процессе сортировки место, т. е. все элементы слева меньше его, а последующие — больше или равны.

Например, если в предыдущей задаче мы хотели бы разделить интервал на значения больше и меньше 6, тогда с помощью алгоритма `find()` найдем позицию числа 6 и воспользуемся алгоритмом `nth_element()`.

```
nth_element(v.begin(),find(v.begin(),v.end(),6),v.end());
```

Вывод:

```
5 5 6 6 7 7 8 8 9 9
```

Алгоритмы упорядоченных интервалов

Алгоритмы упорядоченных интервалов требуют, чтобы элементы исходных контейнеров были упорядочены. Они гораздо эффективнее стандартных аналогов, поэтому, если исходное упорядочение элементов контейнеров не составляет большой проблемы, стараются использовать именно эту группу алгоритмов. Однако для неупорядоченных контейнеров эти алгоритмы могут привести к непредсказуемым последствиям.

Проверка присутствия элемента. Алгоритм *binary_search()*

```
bool binary_search (Iterator beg, Iterator end, const T& val)
bool binary_search (Iterator beg, Iterator end, const T& val,
                    BinaryPredicate op)
```

Алгоритм проверяет, содержит ли интервал `[beg, end)` элемент со значением `val`. Бинарный предикат определяет критерий сортировки.

В листинге 4.19 приведен текст программы проверки содержания в числовом векторе значения, равного 5.

Листинг 4.19

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
void main()
{
       vector<int> v(10);
       for (int i = 0; i < 10; i++) v[i] = i;
       if(binary_search(v.begin(),v.end(),5))cout << "5 is in vector\n";
}
```

Проверка присутствия подинтервала. Алгоритм *includes()*

```
bool includes (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
               Iterator searchEnd)
bool includes (Iterator beg, Iterator end, Iterator searchBeg,
               Iterator searchEnd, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм проверяет, содержится ли подинтервал `[searchBeg, searchEnd)` в интервале `[beg, end)`. Бинарный предикат определяет критерий сортировки.

Например, проверим, содержится ли в числовом векторе предыдущего примера вектор со значениями {2, 3, 4}. Добавим несколько строк к программе.

```
int arr[] = { 2, 3, 4};
vector<int> q(arr, arr+3);
if(includes(v.begin(), v.end(), q.begin(), q.end()))
  cout << "q is in vector v\n";
```

Поиск первой или последней возможной позиции. Алгоритм *lover_bound()*

```
Iterator lover_bound (Iterator beg, Iterator end, const T& val)
Iterator lover_bound (Iterator beg, Iterator end, const T& val,
                      BinaryPredicate op)
```

Алгоритм возвращает позицию первого элемента со значением большим либо равным `val`, куда оно может быть вставлено без нарушения упорядочения. Если позиция не найдена, алгоритм возвращает `end`. Бинарный предикат определяет критерий сортировки.

Алгоритм *upper_bound()*

```
Iterator upper_bound (Iterator beg, Iterator end, const T& val)
Iterator upper_bound (Iterator beg, Iterator end, const T& val,
                      BinaryPredicate op)
```

Алгоритм возвращает позицию последнего элемента со значением большим `val`, куда оно может быть вставлено без нарушения упорядочения. Если позиция не найдена, алгоритм возвращает `end`. Бинарный предикат определяет критерий сортировки.

Поиск первой и последней возможных позиций. Алгоритм *equal_range()*

```
pair<Iterator,Iterator> equal_range (Iterator beg, Iterator end,
                                     const T& val)
pair<Iterator,Iterator> equal_range (Iterator beg, Iterator end,
                                     const T& val, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм возвращает парой итераторов начало и конец интервала значений, равных `val`, куда может быть вставлено это значение без нарушения упорядочения. (Шаблонная структура `pair` приведена в листинге 4.7.) Если позиция не найдена, оба итератора равны `end`. Бинарный предикат определяет критерий сортировки.

Текст программы поиска для алгоритмов упорядоченных диапазонов приведен в листинге 4.20.

Листинг 4.20

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
void main()
{
        int arr[] = { 2, 3, 4, 6, 6, 6, 6, 9, 9, 9 };
        vector<int> v(arr, arr+10);
        vector<int>::iterator it;
        it = lower_bound(v.begin(), v.end(),6);
        cout << "Index >= 6: " << it - v.begin() << endl;
        it = upper_bound(v.begin(), v.end(),6);
        cout << "Index > 6: " << it - v.begin() << endl;
        // Теперь то же самое, но в алгоритме equal_range
        pair<vector<int>::iterator, vector<int>::iterator> pair_it;
```

```
        pair_it = equal_range(v.begin(), v.end(),6);
        cout << "Index >= 6: " << pair_it.first - v.begin() << endl;
        cout << "Index > 6: " << pair_it.second - v.begin() << endl;
}
```

Вывод:

```
Index >= 6: 3
Index > 6: 7
```

Слияние интервалов. Алгоритм *merge()*

```
OutIterator merge (Iterator beg1, Iterator end1,
                   Iterator beg2, Iterator end2, OutIterator destBeg)
OutIterator merge (Iterator beg1, Iterator end1, Iterator beg2,
                Iterator end2, OutIterator destBeg, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм комбинирует элементы упорядоченных интервалов таким образом, что приемный интервал содержит все элементы обеих исходных интервалов с сохранением упорядочения. Возвращает позицию, следующую за последним скопированным элементом. Бинарный предикат определяет порядок сортировки. Приемный интервал не должен перекрывать исходный.

В листинге 4.21 приведен текст программы, в которой продемонстрирован пример слияния двух числовых массивов.

Листинг 4.21

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <algorithm>
using namespace std;
void main()
{
        int arr1[] = { 1, 3, 5, 7, 9 };
        int arr2[] = { 2, 4, 6, 8, 10, 12 };
        vector<int> v1(arr1, arr1 + 5);
        vector<int> v2(arr2, arr2 + 6);
        vector<int> v(20);
        vector<int>::iterator end;
        end=merge(v1.begin(), v1.end(), v2.begin(), v2.end(), v.begin());
        copy(v.begin(), end, ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
}
```

Вывод:

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12
```

Объединение двух упорядоченных множеств элементов. Алгоритм *set_union()*

```
OutIterator set_union (Iterator beg1, Iterator end1, Iterator beg2,
                       Iterator end2, OutIterator destBeg)
OutIterator set_union (Iterator beg1, Iterator end1, Iterator beg2,
                  Iterator end2, OutIterator destBeg,BinaryPredicate op)
```

Алгоритм комбинирует элементы упорядоченных интервалов таким образом, что приемный интервал содержит все элементы, присутствующие в первом или втором интервалах, с сохранением упорядочения. При наличии повторяющихся значений в приемный интервал копируется не суммарное их количество, а максимальное. Возвращает позицию, следующую за последним скопированным элементом. Бинарный предикат определяет порядок сортировки. Приемный интервал не должен перекрывать исходный.

Так, если в предыдущем примере добавить упорядоченный массив, то мы получим:

```
int m[] = { 1, 1, 4, 5, 5, 5, 9, 10 };
vector<int> v3(m, m + 8);
end=set_union(v1.begin(), v1.end(), v3.begin(), v3.end(), v.begin());
copy(v.begin(), end, ostream_iterator<int>(cout," "));
cout << endl;
```

Вывод:

```
1 1 3 4 5 5 5 7 9 10
```

Пересечение двух упорядоченных множеств элементов. Алгоритм *set_intersection()*

```
OutIterator set_intersection (Iterator beg1, Iterator end1, Iterator beg2,
                              Iterator end2, OutIterator destBeg)
OutIterator set_intersection (Iterator beg1, Iterator end1, Iterator beg2,
                  Iterator end2, OutIterator destBeg, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм комбинирует элементы упорядоченных интервалов таким образом, что приемный интервал содержит все элементы, присутствующие сразу в обоих интервалах с сохранением упорядочения. Причем, при наличии повторяющихся значений, в приемный интервал копируется не суммарное их количество, а минимальное. Возвращает позицию, следующую за последним

скопированным элементом. Бинарный предикат определяет порядок сортировки. Приемный интервал не должен перекрывать исходный.

Например, если в предыдущем примере заменить алгоритм `set_union()` на `set_intersection()`, то мы получим:

```
1 5 9
```

Разность двух упорядоченных множеств элементов. Алгоритм *set_difference()*

```
OutIterator set_difference (Iterator beg1, Iterator end1,
                      Iterator beg2, Iterator end2, OutIterator destBeg)
OutIterator set_difference (Iterator beg1, Iterator end1,
   Iterator beg2, Iterator end2, OutIterator destBeg, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм комбинирует элементы упорядоченных интервалов таким образом, что приемный интервал содержит все элементы, присутствующие в первом, но не входящие во второй интервал, с сохранением упорядочения. Причем, при наличии повторяющихся значений, их количество в приемном интервале равно разности между количеством в первом и втором интервалах. Если количество дубликатов во втором интервале больше, то в приемном интервале они будут отсутствовать. Возвращает позицию за последним скопированным элементом. Бинарный предикат определяет порядок сортировки. Приемный интервал не должен перекрывать исходный.

Например, если в предыдущем примере заменить алгоритм на `set_difference()`, то мы получим:

```
3 7
```

Алгоритм *set_symmetric_difference()*

```
OutIterator set_symmetric_difference (Iterator beg1, Iterator end1,
                      Iterator beg2, Iterator end2, OutIterator destBeg)
OutIterator set_symmetric_difference (Iterator beg1, Iterator end1,
   Iterator beg2, Iterator end2, OutIterator destBeg, BinaryPredicate op)
```

Алгоритм комбинирует элементы упорядоченных интервалов таким образом, что приемный интервал содержит все элементы, присутствующие либо в первом, либо во втором интервалах, но не в обоих интервалах. Причем, при наличии повторяющихся значений, их количество в приемном интервале равно разности между количеством в первом и втором интервалах. Возвращает позицию, следующую за последним скопированным элементом. Бинарный предикат определяет порядок сортировки. Приемный интервал не должен перекрывать исходный.

Например, если заменить алгоритм на `set_symmetric_difference()` в предыдущем примере, то мы получим:

```
1 3 4 5 5 7 10
```

Слияние смежных упорядоченных интервалов. Алгоритм *inplace_merge()*

```
void inplace_merge (Iterator beg1, Iterator end1beg2, Iterator end2)
void inplace_merge (Iterator beg1, Iterator end1beg2, Iterator2 end2,
                    BinaryPredicate op)
```

Алгоритм выполняет слияние двух смежных интервалов `[beg1..end1beg2..end2)` так, чтобы полный интервал `[beg1, end2)` содержал упорядоченную совокупность элементов обоих интервалов. Бинарный предикат определяет порядок сортировки.

Например, создадим вектор из числового массива и воспользуемся этим алгоритмом:

```
int mn[] = { 2, 4, 6, 8, 10, 1, 3, 5, 7, 9 };
vector<int> v4(mn, mn + 10);
inplace_merge(v4.begin(), v4.begin() + 5, v4.end());
copy(v4.begin(), v4.end(), ostream_iterator<int>(cout," "));
cout << endl;
```

Вывод:

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

Численные алгоритмы

Алгоритмы, предназначенные для обработки численных данных, представлены в заголовочном файле `numeric`.

Суммирование элементов интервала

```
T accumulate (Iterator beg, Iterator end, T initValue)
```

Для всех элементов интервала выполняется команда:

```
initValue = initValue + elem;
```

Для всех элементов интервала вычисляется сумма + начальное значение `initValue`. Возвращается накопленное значение суммы.

Вычисления с накоплением результата

```
T accumulate (Iterator beg, Iterator end, T initValue, BinaryFunc op)
```

Для всех элементов интервала выполняется команда:

```
initValue = op(initValue, elem);
```

Возвращается накопленное значение `initValue`.

Здесь есть возможность выполнить более сложные вычисления.

Например, в листинге 4.22 представлена программа вычисления суммы и произведения элементов числового вектора.

Листинг 4.22. Вычисление суммы и произведения элементов числового вектора

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <numeric>
#include <functional>
using namespace std;
void main()
{
        int arr[] = { 1, 3, 5, 7, 9 };
        vector<int> v(arr, arr + 5);
        int sum, product;
        sum = accumulate(v.begin(), v.end(), 0);
        product = accumulate(v.begin(), v.end(), 1, multiplies<int>());
        cout << "Sum = " << sum << endl;
        cout << "Product = " << product << endl;
}
```

Вывод:

```
Sum = 25
Product = 945
```

Вычисление скалярного произведения

```
T inner_product (Iterator1 beg1, Iterator1 end1, Iterator2 beg2,
                 T initValue)
```

Алгоритм вычисляет скалярное произведение двух векторов из интервала `[beg1, end1)` и `[beg1...)`. Для всех элементов выполняется команда:

```
initValue = initValue + elem1*elem2;
```

Возвращается накопленное значение `initValue`.

Вычисления с двумя интервалами

```
T inner_product (Iterator beg1, Iterator end1, Iterator beg2,
                 T initValue, BinaryFunc op1, BinaryFunc op2)
```

Для всех элементов из интервала `[beg1, end1)` и `[beg1...)` выполняется команда:

```
initValue = op1(initValue, op2(elem1,elem2));
```

Возвращается накопленное значение `initValue`.

Для примера вычислим скалярное произведение вектора `v` и вектора `v1` (см. задачу в листинге 4.22), а также вычислим сумму квадратов разностей координат двух векторов.

$$d = \sum_i (v_i - v1_i)^2 .$$

Для этого нам придется описать функциональный объект `op()`:

```
int op(int elem1, int elem2)
{
  int tmp = elem1 - elem2;
  return tmp*tmp;
}
```

и дописать необходимый код.

```
int arr1[] = { 2, 4, 6, 8, 10 };
vector<int> v1(arr1, arr1 + 5);
int scalar_product, d;
scalar_product = inner_product(v.begin(), v.end(), v1.begin(), 0);
cout << "scalar_product = " << scalar_product << endl;
d = inner_product(v.begin(), v.end(), v1.begin(), 0, plus<int>(), op);
cout << "d = " << d << endl;
```

Вывод:

```
scalar_product = 190
d = 5
```

Накопительное суммирование элементов интервала

```
Iterator partial_sum(Iterator beg, Iterator end, Iterator destBeg)
Iterator partial_sum(Iterator beg, Iterator end, Iterator destBeg,
                     BinaryFunc op)
```

Алгоритм вычисляет и направляет в приемный интервал для всех элементов следующие выражения:

```
a1, a1+a2, a1+a2+a3, ...
a1, a1 op a2, a1 op a2 op a3, ...
```

Возвращает позицию, следующую за последним записанным элементом в приемном интервале. Исходный и приемный интервалы могут совпадать.

С помощью этого алгоритма можно, например, создать арифметическую и геометрическую прогрессию.

Пример текста программы, демонстрирующей работу с численными алгоритмами, приведен в листинге 4.23.

Листинг 4.23

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <numeric>
#include <functional>
using namespace std;
void main()
{
        vector<int> v(10,2), v1(v);
        partial_sum(v.begin(), v.end(), v.begin());
        copy(v.begin(),v.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
        partial_sum(v1.begin(),v1.end(),v1.begin(),multiplies<int>());
        copy(v1.begin(),v1.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
}
```

Вывод:

```
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
2 4 8 16 32 64 128 256 512 1024
```

Преобразование абсолютных значений в относительные

```
Iterator adjacent_difference (Iterator beg, Iterator end,
                              Iterator destBeg)
Iterator adjacent_difference (Iterator beg, Iterator end,
                              Iterator destBeg, BinaryFunc op)
```

Алгоритм вычисляет и направляет в приемный интервал для всех элементов следующие выражения:

```
a1, a2-a1, a3-a2, ...
a1, a2 op a1, a3 op a2, ...
```

Возвращает позицию, следующую за последним записанным элементом в приемном интервале. Исходный и приемный интервалы могут совпадать.

Алгоритм является логическим антиподом алгоритма `partial_sum()`. С его помощью можно, например, воссоздать исходное состояние контейнеров предыдущего примера:

```
adjacent_difference (v.begin(), v.end(), v.begin());
adjacent_difference (v1.begin(), v1.end(), v1.begin(), divides<int>());
```

Контейнер *Deque*

Дек реализован в виде динамического массива и состоит из нескольких несмежных блоков (рис. 4.2). В отличие от вектора, дек открыт для расширения с обоих концов, что позволяет наращивать его в противоположных направлениях. В связи с таким строением, при необходимости перераспределения памяти не нужно перемещать содержимое контейнера целиком, достаточно лишь переписать один или несколько блоков. Таким образом, дек работает более эффективно с операциями вставки внутрь контейнера.

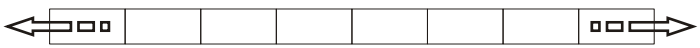

Рис. 4.2. Структура дека

Чтобы использовать дек, в программе необходимо подключить заголовочный файл:

```
#include <deque>
```

Операции с деками

Интерфейсы дека и вектора мало чем отличаются друг от друга. Большинство их методов совпадают по своим функциональным возможностям. Принципиальное же отличие заключается в возможности вставки новых элементов как в конец, так и в начало дека. Эти операции выполняются с одинаковой эффективностью.

Операции с деками рассмотрим по группам, составив соответствующие таблицы: конструкторы, немодифицирующие операции, модифицирующие операции (табл. 4.10—4.12).

Таблица 4.10. *Конструкторы*

Операция	Назначение
`deque<T> d`	Создает пустой дек
`deque<T> d(n)`	Создает дек из `n` элементов
`deque<T> d2(v1)`	Создает копию дека `d1`
`deque<T> d2(n,elem)`	Создает дек из `n` копий `elem`
`deque<T> d2(beg,end)`	Создает дек из элементов интервала `[beg,end)` контейнера `deque`. В отличие от остальных контейнеров, дек не позволяет использовать другие контейнеры в конструкторе

Таблица 4.11. *Немодифицирующие операции*

Операция	Назначение
`d.size()`	Возвращает размер дека
`d.empty()`	`true`, если дек пуст
`d.max_size()`	Возвращает максимальный размер дека
`d1 == d2`	Проверяет равенство
`d1 != d2`	Проверяет неравенство
`d1 < d2`	Проверяет, что `d1 < d2`
`d1 > d2`	Проверяет, что `d1 > d2`
`d1 <= d2`	Проверяет, что `d1 <= d2`
`d1 >= d2`	Проверяет, что `d1 >= d2`
`d[index]`	Возвращает элемент с индексом `index`
`d.at(index)`	Возвращает элемент с индексом `index`. Генерируется исключение `out_of_range` при выходе за границы интервала
`d.front()`	Возвращает первый элемент
`d.back()`	Возвращает последний элемент
`d.begin()`	Возвращает итератор произвольного доступа первого элемента
`d.end()`	Возвращает итератор произвольного доступа за последним элементом
`d.rbegin()`	Возвращает обратный итератор первого элемента для перебора в обратном направлении
`d.rend()`	Возвращает обратный итератор последнего элемента для перебора в обратном направлении

Таблица 4.12. *Модифицирующие операции*

Операция	Назначение
`d1 = d2`	Присваивает `d1` все элементы `d2`
`d.assign(n,elem)`	Присваивает `n` копий `elem`
`d.assign(beg,end)`	Присваивает деку `d` элементы контейнера `deque` `[beg,end)`
`d1.swap(d2)`	Меняет местами содержимое `d1` и `d2`
`swap(d1,d2)`	То же в форме функции
`d.insert(pos,elem)`	Вставляет в позицию `pos` элемент, возвращает позицию следующего элемента
`d.insert(pos,n,elem)`	Вставляет в позицию `pos` `n` элементов `elem`
`d.insert(pos,beg,end)`	Вставляет элементы интервала `[beg,end)` в позицию `pos`
`d.push_back(elem)`	Вставляет элемент `elem` в конец контейнера
`d.pop_back()`	Удаляет последний элемент
`d.push_front(elem)`	Вставляет элемент `elem` в начало дека
`d.pop_front()`	Удаляет первый элемент
`d.erase(pos)`	Удаляет элемент в позиции `pos` и возвращает позицию следующего элемента
`d.erase(beg,end)`	Удаляет все элементы из интервала `[beg,end)` и возвращает позицию следующего элемента
`d.resize(num)`	Приводит контейнер к размеру `num`
`d.resize(num,elem)`	Приводит контейнер к размеру num, новые элементы создаются как копии `elem`
`d.clear()`	Удаляет содержимое дека

В листинге 4.24 приведен текст программы, тестирующей основные методы дека.

Листинг 4.24

```
#include <algorithm>
#include <deque>
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void main()
{// Конструкторы:
       deque<int> d1;
       deque<int> d2(10);
       deque<int> d3(10,1);
       deque<int> d4(d3);
       cout << "size d4 = " << d4.size() << endl;
       cout << "Max size deque<int> = " << d4.max_size() << endl;
       if (d1.empty()) cout << "d1 is empty\n";
       if (d3 == d4) cout << "d3 == d4\n"; else cout << "d3 != d4\n";
// Заполнение дека элементами массива:
       int arr[5] = { -1, 3, 5, 8, 2 };
       deque<int> d5;
       for (int i = 0; i < 5; i++) d5.push_back(arr[i]);
       d1.assign(d5.begin(),d5.end()); // Копирование дека
       copy(d1.begin(),d1.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
       cout << endl;
// Обращение к элементам дека по индексу:
       for (i = 0; i < d2.size();i++) d2[i] = i+1;
       copy(d2.begin(),d2.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
       cout << endl;
// Конструктор копирует содержимое дека d5:
       deque<int> deq(d5.begin(), d5.end());
// Обращение к элементам дека через итератор:
       deque<int>::iterator it;
       for (it = deq.begin(); it != deq.end(); it++) cout << *it << ' ';
       cout << endl;
}
```

Вывод:

```
size d4 = 10
Max size deque<int> = 1073741823
d1 is empty
d3 == d4
-1 3 5 8 2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
-1 3 5 8 2
```

При работе с деком, да и со всеми контейнерами, кроме вектора, следует иметь в виду, что нет никаких оснований считать элементы контейнера расположенными в непрерывной области памяти. Более того, как правило, контейнер занимает несколько разрозненных блоков памяти, в связи с чем опе-

рация '<' или '>' с итераторами не имеет большого смысла, поэтому при передвижении по контейнеру обычно используют сравнение вида:

```
it != deq.end().
```

Контейнер *List*

По своей внутренней структуре *списки* принципиально отличаются от векторов и деков (рис. 4.3). Каждый элемент списка, кроме данных, содержит ссылки на предыдущий и последующий элемент. Такая организация позволяет вставлять и удалять данные не только в начало и конец списка, но и в произвольное место в нем при одной и той же производительности.

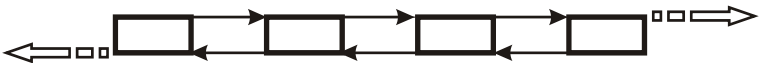

Рис. 4.3. Организация списка

Списки не поддерживают итераторы произвольного доступа, в них не определены ни оператор индексирования `[]`, ни метод `at()`. Для доступа к элементу списка необходимо перебрать все предшествующие элементы. В связи с этим списки не поддерживают работу с некоторыми алгоритмами. В частности, со списком не может быть реализован алгоритм сортировки, однако список имеет собственные методы сортировки.

Чтобы использовать список в программе, необходимо подключить заголовочный файл `list`.

Операции со списками рассмотрим по группам, составив соответствующие таблицы: конструкторы, немодифицирующие операции, модифицирующие операции, специальные операции (табл. 4.13—4.16).

Таблица 4.13. *Конструкторы*

Операция	**Назначение**
`list<T> lst`	Создает пустой список
`list<T> lst (n)`	Создает список из `n` элементов
`list<T> lst1(lst)`	Создает копию списка `lst`
`list<T> lst (n,elem)`	Создает список из `n` копий `elem`
`list<T> lst (beg,end)`	Создает список из элементов интервала `[beg,end)`

Таблица 4.14. *Немодифицирующие операции*

Операция	Назначение
`lst.size()`	Возвращает размер списка
`lst.empty()`	Возвращает `true`, если список пуст
`lst.max_size()`	Возвращает максимальный размер списка
`lst1 == lst2`	Проверяет равенство
`lst1 != lst2`	Проверяет неравенство
`lst1 < lst2`	Проверяет, что `lst1 < lst2`
`lst1 > lst2`	Проверяет, что `lst1 > lst2`
`lst1 <= lst2`	Проверяет, что `lst1 <= lst2`
`lst1 >= lst2`	Проверяет, что `lst1 >= lst2`
`lst.front()`	Возвращает первый элемент
`lst.back()`	Возвращает последний элемент
`lst.begin()`	Возвращает итератор первого элемента
`lst.end()`	Возвращает итератор за последним элементом
`lst.rbegin()`	Возвращает обратный итератор начала контейнера для перебора в обратном направлении
`lst.rend()`	Возвращает обратный итератор конца контейнера для перебора в обратном направлении

Таблица 4.15. *Модифицирующие операции*

Операция	Назначение
`lst1 = lst2`	Присваивает списку `lst1` все элементы `lst2`
`lst.assign(n,elem)`	Присваивает `n` копий `elem`
`lst.assign(beg,end)`	Присваивает контейнеру `list` элементы интервала `[beg,end)`
`lst1.swap(lst2)`	Меняет местами содержимое `lst1` и `lst2`
`swap(lst1,lst2)`	То же в форме функции
`lst.insert(pos,elem)`	Вставляет в позицию `pos` элемент, возвращает позицию следующего элемента
`lst.insert(pos,n,elem)`	Вставляет в позицию `pos` `n` элементов `elem`
`lst.insert(pos,beg,end)`	Вставляет элементы интервала `[beg,end)` с позиции `pos`

Таблица 4.15 *(окончание)*

Операция	Назначение
`lst.push_back(elem)`	Вставляет элемент `elem` в конец списка
`lst.pop_back()`	Удаляет последний элемент
`lst.push_front(elem)`	Вставляет элемент `elem` в начало списка
`lst.pop_front()`	Удаляет первый элемент
`lst.remove(val)`	Удаляет все элементы со значением `val`
`lst.remove_if(op)`	Удаляет все элементы, для которых `op(elem)` возвращает `true`
`lst.erase(pos)`	Удаляет элемент в позиции `pos` и возвращает позицию следующего элемента
`lst.erase(beg,end)`	Удаляет все элементы из интервала `[beg,end)` и возвращает позицию следующего элемента
`lst.resize(num)`	Приводит контейнер к размеру `num`
`lst.resize(num,elem)`	Приводит контейнер к размеру `num`, новые элементы создаются как копии `elem`
`lst.clear()`	Удаляет содержимое списка

Для лучшего понимания технологии работы со списками на рис. 4.4 и 4.5 покажем графически, как происходят вставка и удаление элемента внутри списка.

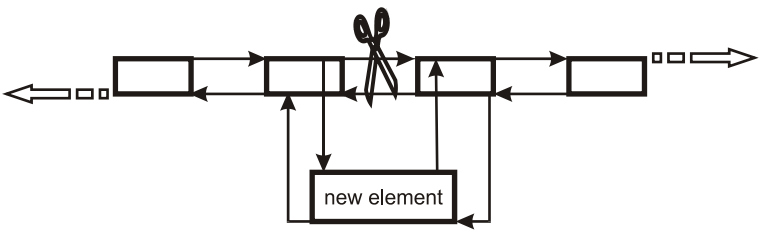

Рис. 4.4. Вставка элемента списка

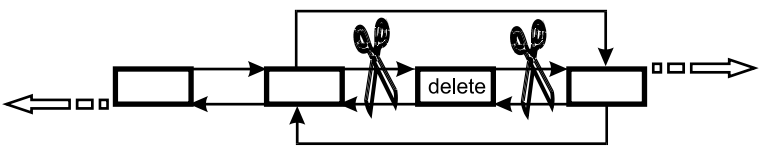

Рис. 4.5. Удаление элемента списка

Таблица 4.16. *Специальные операции списка*

Операция	Назначение
`lst.unique()`	Удаляет дубликаты
`lst.unique(op)`	Удаляет дубликаты, для которых `op` возвращает `true`
`lst.splice(pos,lst1)`	Перемещает все элементы `lst1` в `lst` перед позицией итератора `pos`
`lst.splice(pos,lst1,pos1)`	Перемещает все элементы `lst1`, начиная с позиции итератора `pos1`, в `lst` перед позицией итератора `pos`
`lst.splice(pos,lst1, beg1,end1)`	Перемещает все элементы интервала `[beg1,end1)` списка `lst1` в `lst` перед позицией итератора `pos`
`lst.sort()`	Сортирует все элементы оператором `<`
`lst.sort(op)`	Сортирует все элементы по критерию `op`
`lst.merge(lst1)`	Перемещает все элементы `lst1` в `lst` с сохранением сортировки
`lst.merge(lst1,op)`	Перемещает все элементы `lst1` в `lst` с сохранением сортировки по критерию `op`
`lst.reverse()`	Переставляет все элементы в обратном порядке

В листинге 4.25 приведен текст программы примера использования списка.

Листинг 4.25

```
#include <algorithm>
#include <list>
#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;
void main()
{
int arr[5] = { -1, 3, 5, 8, 2 };
// Конструкторы
       list<int> lst;
       list<int> lst1(10);
       list<int> lst2(10,2);
       list<int> lst3(lst2);
       list<int> lst4(arr, arr+5);
```

```
// Методы
        cout << "Size lst3 = " << lst3.size() << endl;
        cout << "Max Size lst3 = " << lst3.max_size() << endl;
        if (lst.empty()) cout << "lst is empty\n";
        if(lst3 == lst2)cout<<"lst3==lst2\n";else cout<<"lst3 != lst2\n";
        lst = lst4;    // Присваивание
        lst.sort();    // Сортировка по умолчанию
        lst.splice(lst.end(), lst4); // Добавим исходный список в конец
        copy(lst.begin(),lst.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
        lst.sort(greater<int>());    // Сортируем по убыванию
        copy(lst.begin(),lst.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
        lst.unique();         // Удаляем дубликаты
        copy(lst.begin(),lst.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
        lst.reverse();        // Обращение массива данных
        copy(lst.begin(),lst.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
        cout << endl;
}
```

Контейнеры *Set, Multiset*

Множества и *мультимножества* автоматически сортируют элементы, по умолчанию используя критерий сортировки <. Они отличаются только тем, что мультимножества могут содержать дубликаты, а множества — нет. Чтобы использовать эти контейнеры, необходимо включить в программу заголовочный файл:

```
#include <set> или #include <multiset>
```

Особенности строения множеств (здесь и далее под множеством будем понимать также и мультимножество), а они реализованы в виде сбалансированного бинарного дерева, приводит к тому, что на множестве нельзя напрямую менять значение элементов, иначе это нарушит правильный порядок их расположения. Следовательно, чтобы изменить значение элемента, необходимо этот элемент сначала удалить из множества, затем вставить его с новым значением.

Практические следствия такой особенности множества, как контейнера, приводят к тому, что:

- не поддерживается прямое обращение к элементам;
- при косвенном обращении через итераторы значение элемента является константным.

Операции с множествами и мультимножествами рассмотрим по группам, составив соответствующие таблицы: конструкторы, немодифицирующие операции, модифицирующие операции (табл. 4.17—4.19).

Таблица 4.17. *Конструкторы*

Операция	Назначение
`set<T> c`	Создает пустое множество
`set<T> c(op)`	Создает пустое множество с критерием сортировки `op`
`set<T> c1(c)`	Создает копию множества
`set<T> c(beg,end)`	Создает множество из элементов интервала `[beg,end)`. Исходный контейнер может быть любого типа (от массива до входного потока)
`set<T> c(beg,end,op)`	Создает множество с критерием сортировки `op` из элементов интервала `[beg,end)`

Примечание

Для мультимножества вместо `set` пишем `multiset`.

Существует два способа определения критерия сортировки множества.

- *В параметре шаблона*, например:

```
set<int, greater<int> > coll;
```

  В этом случае критерий сортировки является частью типа. Если критерий сортировки явно не задан, по умолчанию понимается `less<>`.

Примечание

В выражении `<int,greater<int> >` между двумя угловыми скобками обязательно должен присутствовать пробел, иначе компилятор не сможет правильно интерпретировать это выражение.

- *В параметре конструктора.* Этот способ применяется в случаях, когда необходимо определить несколько критериев сортировки для одного типа, а также для формирования критерия на стадии выполнения программы.

Таблица 4.18. *Немодифицирующие операции*

Операция	Назначение
`c.size()`	Возвращает количество элементов множества
`c.empty()`	Возвращает `true`, если множество пустое

Таблица 4.18 *(окончание)*

Операция	Назначение
`c.max_size()`	Возвращает максимальный размер множества
`c1 == c2`	Проверяет равенство двух множеств
`c1 != c2`	Проверяет неравенство двух множеств
`c1 < c2`	Проверяет, что `c1 < c2`
`c1 > c2`	Проверяет, что `c1 > c2`
`c1 <= c2`	Проверяет, что `c1 <= c2`
`c1 >= c2`	Проверяет, что `c1 >= c2`
`c.count(elem)`	Возвращает количество элементов со значением `elem`
`c.find(elem)`	Возвращает позицию первого элемента со значением `elem` или `end`, если элемент не найден
`c.lower_bound(elem)`	Возвращает позицию первого элемента со значением `>= elem`
`c.upper_bound(elem)`	Возвращает последнюю позицию со значением `> elem`
`c.equal_range(elem)`	Возвращает интервал (`pair`), в котором элементы равны `elem`
`c.begin()`	Возвращает итератор первого элемента
`c.end()`	Возвращает итератор за последним элементом
`c.rbegin()`	Возвращает обратный итератор начала контейнера для перебора в обратном направлении
`c.rend()`	Возвращает обратный итератор конца контейнера для перебора в обратном направлении

Таблица 4.19. *Модифицирующие операции*

Операция	Назначение
`c1 = c2`	Присваивает `c1` все элементы `c2`
`c1.swap(c2)`	Меняет местами содержимое `c1` и `c2`
`swap(c1,c2)`	То же в форме функции
`c.insert(elem)`	Вставляет `elem`, возвращает позицию нового элемента
`c.insert(pos,elem)`	Вставляет `elem`, возвращает позицию нового элемента `pos` — определяет позицию, с которой следует начать поиск позиции вставляемого элемента

Таблица 4.19 *(окончание)*

Операция	Назначение
`c.insert(beg,end)`	Вставляет все элементы интервала `[beg,end)`
`c.erase(elem)`	Удаляет все элементы `elem` и возвращает количество удаленных элементов
`c.erase(pos)`	Удаляет элемент в позиции итератора `pos`
`c.erase(beg,end)`	Удаляет все элементы из интервала `[beg,end)`
`c.clear()`	Удаляет все элементы

Для выполнения операций присваивания контейнеры должны быть одного типа, однако критерии сортировки могут быть разными. Листинг 4.26 — текст программы, в которой приведен пример использования множества.

Листинг 4.26

```
#include <iostream>
#include <set>
#include <iterator>
using namespace std;
void main()
{
       int arr[] = {1, 5, 4, 2, 8, 3, 7, 6, 9 };
       set<int> c, c1(arr, arr+9);
       cout << "Size c1: " << c1.size() << endl;
       cout << "Max Size c1: " << c1.max_size() << endl;
       cout << "empty c?: " << c.empty() << endl;
       c = c1;
       cout << "set c: ";
       copy(c.begin(),c.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
       cout << endl;
       if (c == c1) cout << "c == c1\n"; else cout << "c != c1\n";
       set<int>::iterator it = c.find(4);
       cout << "position 4 is: " << distance(c.begin(),it) << endl;
       c.insert(10);
       c.erase(1);
       cout << "set c: ";
       copy(c.begin(),c.end(),ostream_iterator<int>(cout," "));
       cout << endl;
}
```

Вывод:

```
Size c1: 9
Max Size c1: 1073741823
empty c?: 1
set c: 1 2 3 4 5 6 7 8 9
c == c1
position 4 is: 3
set c: 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

Для создания множества мы использовали массив целых чисел, причем массив неупорядоченный. Тем не менее конструктор вполне корректно обработал этот массив и упорядочил данные. Проблема возникла, когда мы попытались вычислить позицию найденного значения.

Примечание

Для множества термин "позиция" может рассматриваться лишь в контексте заданного упорядочения.

Поскольку элементы множества не занимают смежные области памяти, то для вычисления расстояния между данными невозможно использовать разность итераторов (для множества эта операция не имеет смысла).

Примечание

Расстояние здесь понимается как количество шагов, которые нужно сделать, чтобы из начальной точки прийти в конечную, учитывая критерий сортировки.

В этой ситуации можно воспользоваться функцией обработки расстояния между элементами контейнера `distance(pos1,pos2)`. При использовании этой функции нужно учитывать, что `pos2` должна быть достижима из `pos1`. Необходимо также подключить заголовочный файл `iterator`.

Контейнеры *Map, Multimap*

Элементами *отображения* и *мультиотображения* являются пары "ключ/значение". Упорядочение элементов производится автоматически на основании критерия сортировки, применяемого к ключу. По умолчанию критерий сортировки `<`. Эти контейнеры отличаются только тем, что мультиотображения могут содержать дубликаты, а отображения — нет. Чтобы использовать отображения и мультиотображения, необходимо включить в программу заголовочный файл:

```
#include <map> или #include <multimap>
```

Как и остальные контейнеры, отображения и мультиотображения определяются как шаблонные классы в пространстве имен `std`. Причем мультиотображения могут содержать одинаковые значения, а отображения — нет. В дальнейшем под отображением `map` будем понимать и мультиотображения `multimap`.

```
namespace std {
       template <class Key, class T, class Compare = less<Key>,
       class Allocator = allocator<pair<const Key, T> > >
class map;
}
```

Как и все ассоциативные контейнеры, они реализованы в виде сбалансированного бинарного дерева. Множество и мультимножество, по сути, являются частными случаями отображения и мультиотображения, соответственно, у которых ключ совпадает со значением. Таким образом, для отображения нельзя напрямую менять значение ключа, но прямая модификация его значения разрешена. Однако, чтобы изменить значение ключа, необходимо этот элемент сначала удалить из отображения, затем вставить его с новым ключом.

Операции с отображениями и мультиотображениями рассмотрим по группам, составив соответствующие таблицы: конструкторы, немодифицирующие операции, модифицирующие операции, прямой доступ к элементам отображения (табл. 4.20—4.23).

Таблица 4.20. *Конструкторы*

Операция	Назначение
`map<Key,T> c`	Создает пустое отображение
`map<Key,T> c(op)`	Создает пустое отображение с критерием сортировки `op`
`map<Key,T> c1(c)`	Создает копию отображения
`map<Key,T> c(beg,end)`	Создает отображение из элементов интервала `[beg,end)`
`map<Key,T> c(beg,end,op)`	Создает отображение с критерием сортировки `op` из элементов интервала `[beg,end)`

Как и для множества, существует два способа определения критерия сортировки отображения.

- *В параметре шаблона*, например:

```
map<int, string, greater<int> > coll;
```

В этом случае критерий сортировки является частью типа. Если критерий сортировки явно не задан, по умолчанию понимается `less<>`.

- *В параметре конструктора*. Этот способ применяется в случаях, когда необходимо определить несколько критериев сортировки для одного типа, а также для формирования критерия на стадии выполнения программы.

Таблица 4.21. *Немодифицирующие операции*

Операция	**Назначение**
`c.size()`	Возвращает количество элементов отображения
`c.empty()`	Возвращает `true`, если отображение пустое
`c.max_size()`	Возвращает максимальный размер отображения
`c1 == c2`	Проверяет равенство
`c1 != c2`	Проверяет неравенство
`c1 < c2`	Проверяет, что `c1 < c2`
`c1 > c2`	Проверяет, что `c1 > c2`
`c1 <= c2`	Проверяет, что `c1 <= c2`
`c1 >= c2`	Проверяет, что `c1 >= c2`
`c.count(key)`	Возвращает количество элементов с ключом `key`
`c.find(key)`	Возвращает позицию первого элемента с ключом `key` или `end`
`c.lower_bound(key)`	Возвращает позицию первого элемента со значением `>= key`
`c.upper_bound(key)`	Возвращает последнюю позицию с ключом `> key`
`c.equal_range(key)`	Возвращает интервал (`pair`), в котором ключи `== key`
`c.begin()`	Возвращает итератор первого элемента
`c.end()`	Возвращает итератор за последним элементом
`c.rbegin()`	Возвращает обратный итератор первого элемента для перебора в обратном направлении
`c.rend()`	Возвращает обратный итератор последнего элемента для перебора в обратном направлении

Таблица 4.22. *Модифицирующие операции*

Операция	Назначение
`c1 = c2`	Присваивает `c1` все элементы `c2`
`c1.swap(c2)`	Меняет местами содержимое `c1` и `c2`
`swap(c1,c2)`	То же в форме функции
`c.insert(elem)`	Вставляет `elem`, возвращает позицию нового элемента
`c.insert(pos,elem)`	Вставляет `elem`, возвращает позицию нового элемента. `pos` – определяет позицию, с которой следует начать поиск позиции вставляемого элемента
`c.insert(beg,end)`	Вставляет все элементы интервала `[beg,end)`
`c.erase(elem)`	Удаляет все элементы `elem` и возвращает количество удаленных элементов
`c.erase(pos)`	Удаляет элемент в позиции итератора `pos`
`c.erase(beg,end)`	Удаляет все элементы из интервала `[beg,end)`
`c.clear()`	Удаляет все элементы

Примечание

При использовании методов вставки и удаления необходимо учитывать, что элемент представляет пару "ключ/значение". Можно использовать шаблон `pair<>()`, например:

```
spr.insert(pair<string,string>(string("aaaa"),string("11")));
```

или использовать функцию `make_pair()`, например:

```
spr.insert(make_pair( string("tttt"), string("22")));
```

Таблица 4.23. *Прямой доступ к элементам отображения*

Операция	Назначение
`c[key]`	Возвращает элемент с ключом `key`. Вставляет элемент, если его не существует

В данном контексте отображения рассматриваются как *ассоциативные массивы*, которые отличаются от обычных тем, что в качестве индекса используется ключевое поле отображения. Индекс ассоциативного массива в принципе не может быть неверным, поскольку в случае отсутствия элемента он создается автоматически при помощи конструктора по умолчанию. Что, кстати, может привести к случайному созданию записи.

Для примера использования отображения рассмотрим создание телефонного справочника. Здесь в качестве типа данных используем стандартный класс `string`. Организуем ввод данных с консоли и, для примера, вставим две записи. Текст программы приведен в листинге 4.27.

Листинг 4.27. Создание телефонного справочника

```
#include <string>
#include <iostream>
#include <map>
#include <utility>  // Здесь описан шаблон pair< >
using namespace std;
void main()
{
       map<string, string> spr;
       string name, number;
       cout << "Enter a name and number\n";
       while(true)
       {
       getline(cin, name);
              if (name.empty()) break;
              getline(cin, number);
              spr[name] = number;   // Добавление элемента контейнера
       }
       spr.insert(pair<string, string>(string("aaaa"),string("11")));
       spr.insert(make_pair( string("tttt"),string("22")));
       map<string, string>::iterator it;
       for (it = spr.begin(); it != spr.end(); it++)
              cout << it->first << ' ' << it->second << endl;
}// it->first – ключ, it->second – значение
```

Вывод:

```
Enter a name and number
aaaa 11
tttt 22
```

Обратите внимание на использование функции `make_pair()`. Эта функция создает пару значений без явного указания типа, что упрощает текст программы и не приводит к усложнению кода, поскольку компилятор автоматически оптимизирует такую конструкцию.

Итераторы

Итераторы — это интеллектуальные указатели, служащие для перебора элементов. Поведение итератора зависит от контейнера, для которого он определен, и направлено на оптимизацию операций с конкретным контейнером. Они описываются в виде встроенного класса для каждого контейнера, поэтому нет необходимости использовать специальный файл включений, и лишь некоторые, общие для всех итераторов функции, описаны в файле включений `iterator`. Для всех итераторов определены конструктор по умолчанию и копирующий конструктор. По своим возможностям итераторы разделены на категории.

Итераторы ввода

Итератор ввода позволяет перемещаться только в прямом направлении и поддерживает только чтение. Операции итераторов ввода приведены в табл. 4.24.

Таблица 4.24. *Операции итераторов ввода*

Операция	Описание
`*iter`	Обращение к элементу
`iter->field`	Обращение к полю или методу прочитанного элемента
`++iter`	Передвижение вперед на 1 элемент (возвращает новую позицию)
`iter++`	Передвижение вперед на 1 элемент (возвращает старую позицию)
`iter1 == iter2`	Сравнение двух итераторов на равенство
`iter1 != iter2`	Сравнение двух итераторов на неравенство

Итераторы вывода

Итератор вывода позволяет перемещаться только в прямом направлении, но поддерживает только запись. Таким образом, после операции записи элемент уже не доступен. Операции итераторов вывода приведены в табл. 4.25.

В листинге 4.28 представлен текст программы посимвольного чтения с консоли с входными итераторами.

Таблица 4.25. *Операции итераторов вывода*

Операция	Описание
`*iter = value`	Записывает `value` в позицию итератора
`++iter`	Передвижение вперед на 1 элемент (возвращает новую позицию)
`iter++`	Передвижение вперед на 1 элемент (возвращает старую позицию)

Листинг 4.28. Посимвольное чтение с консоли с входными итераторами

```
#include <iostream>
#include <iterator>
#include <vector>
using namespace std;
void main()
{
       cin.unsetf(ios::skipws);// Отмена пропуска разделителей при вводе
       vector<char> str(20);
       vector<char>::iterator it = str.begin();
       istream_iterator<char> in(cin);
// Читаем до нажатия клавиши Enter
       while ((*it++ = *in) != '\n') ++in;
       for (it = str.begin(); it != str.end(); it++) cout << *it;
       cout << endl;
}
```

По сути дела, вся программа свелась к конструкции: `*it++ = *in`, где мы копируем входной `*in` символ в вектор. Наращивание входного итератора `++in` осуществляем до символа `'\n'`, который и завершает поток ввода. Здесь обязательно нужно запретить пропуск разделителей при вводе, иначе мы не сможем завершить ввод, поскольку символ перевода строки будет интерпретироваться как разделитель и игнорироваться во входном потоке. Выводим содержимое вектора на консоль при помощи обычной операции разадресации для итератора `*it`.

Прямые итераторы

Прямые итераторы представляют собой комбинацию итераторов ввода и вывода и при перемещении только в прямом направлении и позволяют осуществлять операции чтения и записи. Причем, доступ к элементу может

осуществляться неоднократно. Операции прямых итераторов приведены в табл. 4.26.

Таблица 4.26. *Операции прямых итераторов*

Операция	Описание
`*iter`	Обращение к элементу
`iter->field`	Обращение к полю или методу прочитанного элемента
`++iter`	Передвижение вперед на 1 элемент (возвращает новую позицию)
`iter++`	Передвижение вперед на 1 элемент (возвращает старую позицию)
`iter1 == iter2`	Сравнение двух итераторов на равенство
`iter1 != iter2`	Сравнение двух итераторов на неравенство
`iter1 = iter2`	Присваивание итератора

Двунаправленные итераторы

Двунаправленные итераторы — это модификация прямых итераторов, для которой определены дополнительные операции для передвижения в обратном направлении, приведенные в табл. 4.27.

Таблица 4.27. *Дополнительные операции двунаправленных итераторов*

Операция	Описание
`--iter`	Передвижение назад на 1 элемент (возвращает новую позицию)
`iter--`	Передвижение назад на 1 элемент (возвращает старую позицию)

Рассмотрим, как при помощи двунаправленного итератора можно вывести содержимое контейнера в обратном направлении без использования обратных итераторов. Необходимо лишь добавить одну строку в предыдущий пример:

```
for (it = str.end(); it > str.begin();) cout << *(--it);
```

Необходимо здесь еще раз отметить, что операция сравнения `it > str.begin()` корректно работает только с вектором, поскольку лишь вектор занимает непрерывную область памяти.

Итераторы произвольного доступа

Итераторами произвольного доступа называются двунаправленные итераторы, обеспечивающие перемещение на произвольное количество элементов в обоих направлениях. Например, контейнер `vector` обеспечивает поддержку итераторов прямого доступа. Дополнительные операции итераторов прямого доступа приведены в табл. 4.28.

Таблица 4.28. *Дополнительные операции итераторов прямого доступа*

Операция	Описание
`iter[n]`	Обращение к элементу с индексом `n`
`iter += n`	Смещение на `n` элементов вперед (назад, если `n<0`)
`iter -= n`	Смещение на `n` элементов назад (вперед, если `n<0`)
`iter + n`	Возвращает итератор `n`–го элемента вперед от текущей позиции
`n + iter`	
`iter - n`	Возвращает итератор `n`–го элемента назад от текущей позиции
`iter1 – iter2`	Возвращает расстояние между итераторами. Разумеется, итераторы должны принадлежать одному контейнеру, иначе операция не имеет смысла
`iter1 < iter2`	Сравнение итераторов
`iter1 > iter2`	
`iter1 <= iter2`	
`iter1 >= iter2`	

Вообще-то итератор контейнера `vector` является итератором произвольного доступа, и для него доступны все рассмотренные выше операции. Рассмотрим, например, как вывести на консоль лишь четные символы, добавив также еще одну строку в предыдущий пример:

```
for (it = str.begin(); it < str.end(); it +=2) cout << *it;
```

Здесь мы просто увеличиваем итератор `it` на `2`.

Обратные итераторы

Для передвижения по контейнеру в обратном направлении введены *обратные итераторы*, которые имеют точно такой же синтаксис, что и прямые, но, в связи с особенностью реализации концепции полуоткрытого интервала

[beg, end), значение, на которое они ссылаются, смещены на одну позицию влево, как показано на рис. 4.6.

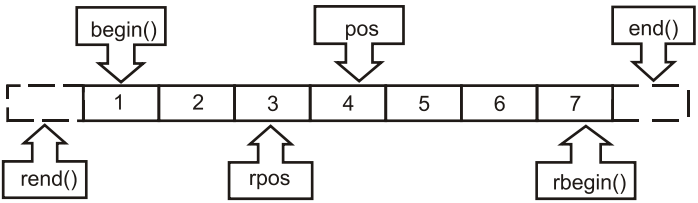

Рис. 4.6. Прямые и обратные итераторы контейнера

Описываются обратные итераторы, например, так:

```
vector<char>::reverse_iterator rit = str.rbegin();
```

Иногда бывает необходимо преобразовать обратный итератор в прямой. Для такого преобразования существует метод `base()`. Например: `it = rit.base()`. Тестовая программа преобразования итераторов приведена в листинге 4.29.

Листинг 4.29. Тестовая программа преобразования итераторов

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <vector>
using namespace std;
void main()
{
        int m[] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 };
        vector<int> v(m, m+7);
        vector<int>::iterator pos = find(v.begin(), v.end(), 4);
        cout << "pos: " << *pos << endl;
        vector<int>::reverse_iterator rpos(pos);
        cout << "rpos: " << *rpos << endl;
        pos = rpos.base();
        cout << "rrpos: " << *pos << endl;
}
```

Вывод:

```
pos: 4
rpos: 3
rrpos: 4
```

Функция `find()` находит позицию числа `4`. Далее мы преобразуем прямой итератор в обратный, используя конструктор обратного итератора, который может принимать в качестве параметра прямой итератор.

```
vector<int>::reverse_iterator rpos(pos);
```

После чего преобразуем обратный итератор в прямой методом `base()`. Результаты вывода показывают, что обратный итератор смещается на 1 позицию.

Итераторы вставки

Итераторы вставки реализованы в виде отдельных классов и преобразуются просто в обычную операцию вставки. Для них имеет значение лишь операция присваивания:

```
insert_iterator = value;
```

Определены еще три операции:

- `*iterator`
- `++ iterator`
- `iterator++`

но они реализованы в виде фиктивной операции, возвращающей исходный `iterator`.

Различают три разновидности итераторов вставки (табл. 4.29), которые реализуются соответствующими методами контейнера (вставка в конец, начало или произвольную позицию).

Таблица 4.29. *Разновидности итераторов вставки*

Название	Класс	Вызываемый метод
Конечный итератор вставки	`back_insert_iterator`	`push_back(value)`
Начальный итератор вставки	`front_insert_iterator`	`push_front(value)`
Общий итератор вставки	`insert_iterator`	`insert(pos,value)`

Поскольку итераторы вставки реализованы в виде шаблонных классов, описание переменных производится с указанием конкретного контейнера. Но и контейнер также реализован шаблонным классом, поэтому описание, как правило, содержит вложенные конструкции "`< < > >`", например:

```
back_insert_iterator<list<int> > it(lst);
```

Нужно напомнить, что между двумя символами "> >" необходимо ставить пробел, иначе компилятор будет интерпретировать это выражение, как операцию >>.

Кроме классов, реализованы также и функции, обеспечивающие более простой способ создания итераторов вставки:

- `back_inserter(Container);`
- `front_inserter(Container);`
- `inserter(Container, pos);`

Эти функции возвращают соответствующий итератор, поэтому их применение имеет несколько своеобразный синтаксис, например:

```
back_inserter(Container) = value;
```

Пример программы использования итераторов вставки приведен в листинге 4.30.

Листинг 4.30. Использование итераторов вставки

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <list>
using namespace std;
void main()
{
        list<int> lst;
        // Вставка при помощи итератора
        back_insert_iterator<list<int> > it(lst);
        it = 1;
        it = 2;
        // Операция вставки при помощи функции
        back_inserter(lst) = 3;
        inserter(lst, ++lst.begin()) = 4;
        list<int>::iterator r;
        for (r = lst.begin(); r != lst.end(); ++r)
          cout << *r << endl;
}
```

Вывод:

```
1
4
2
3
```

Вспомогательные функции итераторов

Набор функций, обеспечивающий дополнительный сервис при работе с итераторами, размещен в файле включений `iterator`.

Функция перемещения итератора *advance()*

```
void advance(Iterator& pos, Dist n)
```

Обеспечивает смещение итератора на `n` позиций относительно текущего положения. Шаблонный тип `Dist` обычно является целым типом. Функция обеспечивает оптимальную скорость выполнения операций, так для контейнера `vector` она выполняет операцию `pos+=n`; а для контейнера `list` — `n` раз выполняет операцию `++pos` (или `--pos`). Нужно только иметь в виду, что функция не контролирует выход за пределы контейнера.

Расстояние между итераторами *distance()*

```
Dist distance(Iterator pos1, Iterator pos2)
```

Возвращает расстояние между итераторами ввода `pos1` и `pos2`. Разумеется, оба итератора должны принадлежать одному контейнеру, и итератор `pos2` должен быть достижим от позиции итератора `pos1`.

Перестановка элементов функцией *iter_swap()*

```
void iter_swap(Iterator pos1, Iterator pos2)
```

Функция переставляет местами элементы, на которые ссылаются итераторы `pos1` и `pos2`. Описание помещено в файл включений `algorithm`.

Пример программы с использованием вспомогательных функций итераторов приведен в листинге 4.31.

Листинг 4.31. Использование вспомогательных функций итераторов

```
#include <iostream>
#include <algorithm>
#include <iterator>
#include <list>
using namespace std;
void main()
{
        list<int> lst;
        for (int i = 0; i < 10; i++) lst.push_back(i);
```

```
        // Обмен местами первого и последнего элемента списка
        iter_swap(lst.begin(), --lst.end());
        copy(lst.begin(), lst.end(), ostream_iterator<int>(cout," "));
        // Размер контейнера – расстояние между его началом и концом
        cout <<endl<<"Distance : "<<distance(lst.begin(),lst.end())<<endl;
        list<int>::iterator it = lst.begin();
        // Сдвиг итератора на 5 позиций вперед
        advance(it, 5);
        cout << "Element num 5 is: " << *it << endl;
}
```

Вывод:

```
9 1 2 3 4 5 6 7 8 0
Distance : 10
Element num 5 is: 5
```

Специальные контейнеры

Стандартная библиотека включает в себя так называемые *контейнерные адаптеры*, т. е. специальные классы, адаптирующие стандартные контейнеры для выполнения специфических задач. К таким адаптерам относятся: стеки, очереди и приоритетные очереди.

Контейнер *Stack*

Стек представляет собой шаблонный класс (`stack`), работающий по принципу "первым пришел — последним вышел", определенный в файле `stack` в стандартной области имен `std`:

```
template <class T, class Container = deque<T> >
class stack;
```

По умолчанию класс определен как адаптер контейнера дек. Это сделано из тех соображений, что дек более эффективно использует память и обходится без копирования всех элементов контейнера при перераспределении памяти, поскольку занимает несколько несмежных блоков памяти и в случае необходимости копирует лишь один из своих блоков. Однако стек можно объявить с любым другим последовательным контейнером, поддерживающим функции: `back()`, `push_back()`, `pop_back()`, например, на базе контейнера `vector` или `list`.

```
stack<int> st;
stack<int, vector<int> > sv;
```

В *главе 2* мы строили собственный класс `stack`. Стандартный класс, по своим функциональным возможностям, мало чем от него отличается.

Пример текста программы, иллюстрирующей работу со стеком, приведен в листинге 4.32.

Листинг 4.32. Работа со стеком

```
#include <iostream>
#include <stack>
using namespace std;
void main()
{
        stack<int> st;
        for (int i = 0; i < 10; i++) st.push(i); // Заполнение стека
        while (!st.empty())   // Цикл "пока стек не пустой"
        {
                cout << st.top() <<endl; // Вывод элемента на консоль
                st.pop(); // Выталкивание "верхнего элемента"
        }
}
```

Методы класса *stack*

Класс `stack` строится не для удобства работы программиста, а для максимальной эффективности этого контейнера, поэтому он имеет минимальное количество методов, из них основные три:

- `push()` — вставляет элемент в стек;
- `pop()` — удаляет элемент из стека;
- `top()` — возвращает верхний элемент стека.

Контейнер *Deque*

Очередь представляет собой шаблонный класс, определенный как адаптер контейнера дек и работающий по принципу "первым пришел — первым вышел" (рис. 4.7):

```
template<class T, class Container = deque<T> >
class queue;
```

Рис. 4.7. Схема функционирования очереди

Точно так же, как и для стека, для организации очереди можно использовать любой последовательный контейнер, например список:

```
queue <int, list<int> > line;
```

Для использования очереди необходимо включить заголовочный файл `queue`. Рассмотрим в качестве примера предыдущую задачу, где мы вместо стека используем очередь (листинг 4.33).

Листинг 4.33. Работа с очередью

```
#include <iostream>
#include <queue>
using namespace std;
void main()
{
        queue<int> line;
        for (int i = 0; i < 10; i++) line.push(i);
        while (!line.empty())
        {
                cout << line.front() <<endl;
                line.pop();
        }
}
```

Так же, как и в стеке, здесь имеются методы:

- `push()` — вставляет элемент в очередь;
- `pop()` — удаляет элемент в конце очереди;
- `back()` — возвращает последний элемент очереди (тот, который был введен позднее других);
- `front()` — возвращает первый элемент очереди (тот, который был введен раньше всех).

Принципиальное отличие этих программ (листинг 4.32—4.33) заключается лишь в том, что последняя программа выводит содержимое контейнера в порядке заполнения, а первая выводит данные в обратном порядке.

Контейнер *Priority_queue*

Шаблонный класс *приоритетная очередь* определен как адаптер контейнера `vector` и реализует очередь, в которой последовательность чтения элементов определяется их приоритетами. В отличие от очереди, следующим элементом чтения является не первый вставленный элемент, а элемент с максимальным

приоритетом. Приоритет здесь определяется критерием сортировки, который является третьим необязательным параметром в объявлении приоритетной очереди (по умолчанию элементы сравниваются с оператором <). Определение класса также размещено в файле включений `queue`.

```
template< class T,
       class Container = vector<T>,
       class Compare = less <typename Container::value_type> >
class priority_queue;
```

Методы приоритетной очереди:

- `push()` — вставляет элемент в приоритетную очередь;
- `top()` — возвращает следующий элемент приоритетной очереди;
- `pop()` — удаляет элемент из приоритетной очереди.

Так, если взять предыдущую задачу, в которой заменить очередь на приоритетную очередь, мы увидим, что данные упорядочены в порядке убывания (листинг 4.34).

Листинг 4.34. Работа с приоритетной очередью

```
#include <iostream>
#include <queue>
using namespace std;
void main()
{
       priority_queue<int> line;
       for (int i = 0; i < 10; i++) line.push(i);
       while (!line.empty())
       {
              cout << line.top() <<endl;
              line.pop();
       }
}
```

Здесь нам пришлось заменить и метод для вывода данных `top()`.

Класс *string*

В стандартную библиотеку STL входит и класс `string`, который, конечно же, имеет больше возможностей, чем разработанный нами вариант класса работы со строками. Определение его размещено в файле включений `string`. При создании этого класса использована та же идея, что и при создании нашего

собственного класса. Символы хранятся в динамическом массиве типа `char` без завершающего символа строки, а размер массива хранится в отдельной переменной. Память под строку выделяется по мере необходимости.

Рассмотрим основные методы класса `string`: конструкторы, функции преобразования строк и С-строк, функции размера и емкости, операторы сравнения, присваивание, склеивание строк, вставка и удаление символов, замена символов, поиск, выделение подстроки, получение итераторов (табл. 4.30—4.40).

Примечание

На самом деле, класс `string` — это реализация шаблонного класса `basic_string<>` для типа `char`.

Таблица 4.30. *Конструкторы*

Выражение	Описание
`string s`	Создает пустую строку
`string s(str)`	Создает копию строки `str`
`string s(str,index)`	Создает копию подстроки `str`, начиная с индекса `index`
`string s(str,index,len)`	Создает копию подстроки `str`, начиная с индекса `index`, размером не более `len` символов
`string s(C_str)`	Создает строку, инициализированную С-строкой, т. е. символьным массивом с завершающим символом `'\0'`
`string s(char_m,len)`	Создает строку, инициализированную `len` символами массива `char_m`
`string s(n,ch)`	Создает строку из `n` символов `ch`
`string s(beg,end)`	Создает строку, инициализированную символами интервала `[beg,end)`

Таблица 4.31. *Функции преобразования строк и С-строк*

Функции	Описание
`data()`	Возвращает содержимое строки в виде массива символов
`c_str()`	Возвращает содержимое строки в виде С-строки
`copy(buff, N,[index])`	Создает копию `N` символов строки в `buff`, начиная с индекса `index`

Таблица 4.32. *Функции размера и емкости*

Функции	Описание
`size()`	Возвращает количество символов в строке
`length()`	
`empty()`	Проверка пустой строки `(s.size() == 0)`
`capacity()`	Возвращает размер выделенной под строку памяти
`reserve([N])`	Увеличивает емкость строки, по крайней мере, до `N` символов. Без параметров приводит емкость к текущему размеру
`resize(N[,char_c])`	Изменяет размер строки до `N`, присоединяя или удаляя символы в конце строки. При увеличении размера строка заполняется символом `char_c`, а при отсутствии второго параметра — символом `'\0'`

Текст программы, в которой показан пример использования переменных класса `string`, приведен в листинге 4.35.

Листинг 4.35. Использование переменных класса `string`

```
#include <string>
#include <iostream>
using namespace std;
void main()
{
       string s1, s2("text"), s3(10,'*');
       const char *p = s3.data();
       for (int i = 0; i < s3.size(); i++) cout << p[i];
       cout << endl;
       cout << "capacity s1: "<< s1.capacity() << endl;
       cout << "capacity s2: "<< s2.capacity() << endl;
       s2.reserve(100);
       cout << "capacity new: "<< s2.capacity() << endl;
       s2.resize(200);
       cout  << "capacity resize: "<< s2.capacity() << endl;
}
```

Вывод:

```
**********
capacity s1: 0
capacity s2: 31
capacity new: 127
capacity resize: 223
```

Что интересно, память выделяется блоками, кратными 32 байтам (без одного байта). Следует также обратить внимание на то, что, в отличие от классического C, в C++ для строковых литералов используется тип `const char*`, поэтому мы должны были именно так описать указатель для возвращаемого значения метода `data()`:

```
const char *p = s3.data();
```

В следующей таблице (табл. 4.33) рассмотрим операторы сравнения.

Таблица 4.33. *Операторы сравнения*

Оператор	Описание
== != < > <= >=	Сравнение производится по лексикографическому критерию. В качестве операндов в левой или правой части выражения могут участвовать и C-строки

Кроме операторов сравнения, в классе `string` реализован и метод `compare()`, который осуществляет сравнение текущей строки с образцом, в качестве которого может выступать как строка `string`, так и C-строка. Возвращаемое значение: 0 — если строки равны; отрицательное число, если `*this < str`; и положительное число, если `*this>str`.

```
int compare([idx, len,] string_str[, str_ind, str_len])
```

сравнивается не более символов `len` текущей строки, начиная с индекса `idx` с `str_len` символами строки `string_str`, начиная с символа `str_ind`. Обязательным здесь является лишь один параметр: `string_str`.

И аналогичная конструкция для C-строки:

```
int compare([idx, len,] C_str[,str_len])
```

C-строка всегда сравнивается с начала.

Для обращения к символам строки перегружен оператор `[]`, который возвращает текущий символ, а также реализован метод `at(idx)`, который осуществляет проверку выхода за пределы строки.

Например:

```
char ch = s2[2];
. . .
ch = s2.at(3);
```

Таблица 4.34. *Присваивание*

Выражение	Описание
`=`	Оператор присваивания перегружен как для строки `string`, так и для С-строки. Возможно многократное присваивание
`assign(string_str[,idx,len])`	Присваивает не более `len` символов строки `string_str`, начиная с индекса `idx`
`assign(C_str[,len])`	Присваивает `len` символов из символьного массива `C_str`
`assign(N,char_c)`	Присваивает `N` символов `char_c`
`swap(string_str)`	Обменивает содержимое `*this` и `string_str`

Метод `swap()` реализован также в виде функции: `swap(str1, str2)`.

Для демонстрации работы рассмотренных методов добавим к рассмотренной ранее программе несколько строк:

```
s1 = s2;
swap(s2,s3);
if ( s1 == s3) cout << "Strings are equal\n";
```

Получим:

```
Strings are equal
```

Таблица 4.35. *Склеивание строк*

Выражение	Описание
`+=`	Оператор присоединения перегружен для строки `string`, С-строки и отдельного символа. Возвращает `*this`
`+`	Оператор "склеивания" + перегружен для строки `string`, С-строки и отдельного символа, как для первого, так и для второго операнда. Возвращает полученную строку
`append(string_str[,idx,len])`	Присоединяет не более `len` символов строки `string_str`, начиная с индекса `idx`. Возвращает `*this`
`append(C_str[,len])`	Присоединяет `len` символов из символьного массива `C_str`. Возвращает `*this`
`append(beg, end)`	Присоединяет все символы интервала `[beg, end)`. Возвращает `*this`

Добавим еще несколько строк в наш пример:

```
s1.append(s2,0,3);
s1 += "12345";
s1 += '!';
cout << s1 << endl;
```

Получим:

```
text***12345!
```

Таблица 4.36. *Вставка и удаление символов*

Выражение	Описание
`insert(idx, string_str [,str_idx, str_len])`	Вставляет фрагмент строки `string_str` длиной `str_len` с позиции `str_idx` в текущую строку, начиная с позиции `idx`. Если два последних параметра отсутствуют, строка вставляется целиком
`insert(idx,C_str[,len])`	Вставляет `len` символов символьного массива или С-строки с позиции `idx`
`insert(idx, N, char_c)`	Вставляет `N` символов `char_c` с позиции `idx`
`insert(pos,[N,] char_c)`	Вставляет `N` символов `char_c` перед символом, на который указывает итератор `pos`
`insert(pos, beg, end)`	Вставляет все символы интервала `[beg, end)` перед символом, на который указывает итератор `pos`
`clear()` `erase()`	Очистка строки
`erase(idx[,len])`	Удаляет `len` символов с позиции `idx`, или до конца строки, если второй параметр отсутствует
`erase(pos)`	Удаляет символ в позиции итератора `pos`
`erase(beg, end)`	Удаляет все символы интервала `[beg,end)`

При вставке символов строка "раздвигается", а при удалении "сжимается", заполняя освободившиеся позиции символами справа.

Добавим небольшой фрагмент к нашей программе и посмотрим, что получится.

```
s1 = "0123";
s2 = "abcd";
```

```
s1.insert(2,s2);
cout << s1 << endl;
s2.insert(1,2,'#');   // Добавим 2 символа #
cout << s2 << endl;
s1.erase(2,4);        // Удалим подстроку "abcd" из s1
cout << s1 << endl;
```

Вывод:

```
01abcd23
a##bcd
0123
```

Таблица 4.37. *Замена символов*

Выражение	**Описание**
`replace(idx, len, string_str [,str_idx, str_len])`	Заменяет не более `len` символов текущей строки с позиции `idx` на фрагмент строки `string_str` с позиции `str_idx` не более `str_len` символов
`replace(idx, len, C_str [,str_len])`	Заменяет не более `len` символов текущей строки на `str_len` символов С-строки или символьного массива
`replace(idx, len, N, char_c)`	Заменяет не более `len` символов текущей строки с позиции `idx` `N` экземплярами символа `char_c`
`peplace(beg,end,string_str)`	Заменяет все символы интервала `[beg, end)` символами строки `string_str`
`replace(beg, end, C_str [,str_len])`	Заменяет все символы интервала `[beg, end)` на `str_len` символов С-строки или символьного массива
`replace (beg,end,N,char_c)`	Заменяет все символы интервала `[beg, end)` на `N` экземпляров символа `char_c`
`replace (beg, end, newbeg, newend)`	Заменяет все символы интервала `[beg, end)` символами интервала `[newbeg, newend)`

Добавим к нашему примеру еще пару строк:

```
s1.replace(1,2,1,'&');       // Заменим 2 символа s1, начиная с индекса 1
cout << s1 << endl;          // одним символом '&'
```

Вывод: `0&3`

Как видно из рассмотренного примера, если символов для замены предлагается меньше, чем имеется в исходной строке, то строка просто "сжимается".

Таблица 4.38. *Поиск*

Выражение	Описание
`find(char_c[,idx])`	Поиск первого вхождения в строке символа `char_c`, начиная с индекса `idx`
`rfind(char_c[,idx])`	Поиск последнего вхождения в строке символа `char_c`, начиная с индекса `idx`
`find(string_str[,idx])`	Поиск первого вхождения подстроки `string_str`, начиная с индекса `idx`
`rfind(string_str[,idx])`	Поиск последнего вхождения подстроки `string_str`, начиная с индекса `idx`
`find(C_str[[,idx][,len]])`	Поиск первого вхождения С-строки `C_str`, начиная с индекса `idx` или символьного массива размером `len`
`rfind(C_str[[,idx][,len]])`	Поиск последнего вхождения С-строки `C_str`, начиная с индекса `idx` или символьного массива размером `len`
`find_first_of(string_str [,idx])`	Поиск первого символа, который входит в строку `string_str`, начиная с индекса `idx`
`find_first_not_of(string_str [,idx])`	Поиск первого символа, который не входит в строку `string_str`, начиная с индекса `idx`
`find_first_of(C_str [[,idx] [,len]])`	Поиск первого символа, который входит в С-строку `C_str`, начиная с индекса `idx`
`find_first_not_of(C_str [,idx] [,len]])`	Поиск первого символа, который не входит в С-строку `C_str`, начиная с индекса `idx`
`find_first_of (char_c[,idx])`	Поиск первого символа, равного `char_c`, начиная с индекса `idx`
`find_first_not_of (char_c [,idx])`	Поиск первого символа, не равного `char_c`, начиная с индекса `idx`
`find_last_of(string_str [,idx])`	Поиск последнего символа, который входит в строку `string_str`, начиная с индекса `idx`

Таблица 4.38 *(окончание)*

Выражение	Описание
`find_last_not_of(string_str [,idx])`	Поиск последнего символа, который не входит в строку `string_str`, начиная с индекса `idx`
`find_last_of(C_str [[,idx] [,len]])`	Поиск последнего символа, который входит в С-строку `C_str`, начиная с индекса `idx`
`find_last_not_of(C_str [,idx] [,len]])`	Поиск последнего символа, который не входит в С-строку `C_str`, начиная с индекса `idx`
`find_last_of (char_c[,idx])`	Поиск последнего символа, равного `char_c`, начиная с индекса `idx`
`find_last_not_of (char_c,idx])`	Поиск последнего символа, не равного `char_c`, начиная с индекса `idx`

Примечание

Для всех функций поиска, при отсутствии второго параметра, поиск осуществляется с конца строки.

Если метод имеет три параметра, то третий параметр интерпретируется как размер символьного массива, в этом случае символ `'\0'` не имеет особой интерпретации.

Все функции возвращают позицию найденного символа или начала подстроки типа `size_type`, который является просто беззнаковым целым типом. Если поиск закончился неудачей, то возвращаемое значение `string::npos()`. (Это беззнаковое целое равное `-1`. Рекомендуется сравнивать с константой `-1`.)

Таблица 4.39. *Выделение подстроки*

Выражение	Описание
`substr([idx][,len])`	Возвращает подстроку из не более `len` символов, начиная с индекса `idx`. Без параметров возвращает копию строки

Таблица 4.40. *Получение итераторов*

Выражение	Описание
`begin()`	Возвращает итератор начала строки
`end()`	Возвращает итератор конца строки

Таблица 4.40 *(окончание)*

Выражение	Описание
`rbegin()`	Возвращает обратный итератор начала строки
`rend()`	Возвращает обратный итератор конца строки

Переменные типа `string` поддерживают итераторы произвольного доступа, поскольку занимают непрерывную область памяти. Необходимо только учитывать, что после операций вставки/замены возможно неявное перераспределение памяти, в связи с чем, после этих операций значение итераторов необходимо переопределить.

Функции ввода/вывода

В классах потокового ввода/вывода на консоль `istream` и `ostream`, а также и в файл `ifstream` и `ofstream` перегружены операторы `>>` и `<<` для экземпляров класса `string` и мы можем осуществлять их ввод и вывод, как простых переменных, например:

```
string s1;
cin >> s1;
cout << s1 << endl;
```

Рассмотрим, в качестве примера, следующую задачу.

Дан текстовый файл в формате MS DOS, необходимо вывести на консоль все встречающиеся слова, причем, если слова повторяются, выводить слово только один раз.

Для решения этой задачи лучше всего использовать множество, поскольку по своей структуре этот контейнер будет игнорировать повторяющиеся значения. Но здесь возникает вопрос о критерии сортировки. Если мы выберем критерий сортировки по умолчанию `less<>`, то в списке будут присутствовать все вариации одного слова с разными окончаниями, поэтому мы создадим функциональный объект, который и будем использовать в качестве более слабого критерия. Будем считать, что вообще-то спорно, слова одинаковыми, если они совпадают на 80% своей длины.

Прежде чем мы будем помещать слово в контейнер, отбросим завершающие знаки пунктуации и исключим однобуквенные слова. Текст программы приведен в листинге 4.36.

Листинг 4.36. Задача "Глоссарий"

```
#include <string>
#include <fstream>
#include <iostream>
#include <set>
#include <algorithm>
using namespace std;
const double criterion = 0.8;
class compare
{
public: bool operator () (const string& s1, const string& s2) const
              {
              int l1 = s1.size();
              int l2 = s2.size();
              int min = (l1 < l2)? l1: l2;
              int max = (l1 > l2)? l1: l2;
              int k = max*criterion+0.5;
              if (k > min) k = min;
              for (int i = 0; i < k; i++)
                     if (s1[i] < s2[i]) return true;
                     else if (s1[i] > s2[i]) return false;
              return false;
              }
};
void main()
{
       string::size_type k;
       string str;
       set<string,compare> glossary;
       ifstream in("text.txt");
       if (in)
       {
              while (in >> str)
              {
              k = str.find_last_of(".,;!?");
              if ( k != -1) str.erase(k);
              if (str.size() == 1) continue;
              glossary.insert(str);
              }
       copy(glossary.begin(), glossary.end(),
              ostream_iterator<string>(cout,"\n"));
       }
       else cout << "File not found\n";
}
```

Анализируя полученный список слов, можно увидеть, что сортировка в контейнере осуществляется в лексикографическом порядке, т. е. все слова, начинающиеся с прописной буквы, оказались в начале списка, затем следуют слова, начинающиеся со строчных букв. Если нас не устраивает такой порядок сортировки, то следует написать более совершенный функциональный объект для определения необходимого критерия сортировки.

Заключение

Стандартная библиотека STL содержит и другие компоненты, например классы: "умных указателей" `auto_ptr`, битовых полей `bitset`, комплексных чисел `complex`, массивов значений `valarray` и т. д., а также множество сервисных функций. Но мы ограничимся пока рассмотренным выше материалом, полагая, что для вводного курса этого достаточно, а когда нам потребуются дополнительные возможности, мы вернемся к библиотеке STL.

Вопросы к главе

1. Состав стандартной библиотеки STL.
2. Последовательные контейнеры. Конструкторы. Основные операции и особенности реализации.
3. Специальные контейнеры: стек, очередь, приоритетная очередь.
4. Ассоциативные контейнеры. Особенности реализации.
5. Итераторы, как интеллектуальные указатели. Доступ к элементам контейнера через итераторы.
6. Классификация итераторов. Операции с контейнером через итераторы.
7. Итераторы вставки.
8. Вспомогательные функции итераторов: `advance()`, `distance()`, `iter_swap()`.
9. Алгоритмы поиска, возвращаемое значение.
10. Функциональные объекты. Три формы реализации. Адаптеры функциональных объектов.
11. Алгоритмы копирования. Использование потоковых итераторов.
12. Алгоритмы преобразования.
13. Алгоритмы сортировки.
14. Алгоритмы упорядоченных интервалов.
15. Численные алгоритмы.
16. Особенности реализации класса `string`. Основные операции.

Задание для самостоятельной работы

1. Определить в программе массив из 10 чисел типа `double`. Создать вектор из этого набора чисел и отсортировать его по возрастанию. Используя стандартные алгоритмы, построить вектор, координаты которого являются квадратами исходных координат. Вычислить сумму координат обоих векторов, результаты вывести на консоль.
2. Решить ту же задачу, используя в качестве исходных данных массив чисел из текстового файла.
3. Прочесть текстовый файл и поместить как С-строки в контейнер `vector`. Отсортировать строки по алфавиту и вывести на консоль и в файл с тем же именем и расширением srt.
4. Решить ту же задачу, используя для хранения строки класс `string`.
5. Преобразовать предыдущую задачу, используя контейнеры `deque`, `list`.
6. В предыдущей задаче найти количество символов, слов и строк в текстовом файле. Вывести отчет на консоль.
7. Для набора целых чисел из текстового файла построить упорядоченный список всех встречающихся значений, найти частоты их появления. Результаты вывести на консоль.
8. Имеется текстовый файл с заданным набором чисел. Написать программу, которая заполняет контейнер (`vector`, `deque`, `list`) из текстового файла и, используя возможности стандартной библиотеки, вычисляет:
   - количество чисел;
   - среднее значение;
   - размах выборки (`max-min`);

   Набор чисел, отсортированный по убыванию, вывести на консоль.
9. Организовать формирование двоичного файла из имеющегося текстового с набором числовых данных целого типа. Решить предыдущую задачу для двоичного файла.
10. Для предыдущей задачи разбить диапазон значений на 10 равных интервалов и подсчитать количество значений, попавших в эти диапазоны. Найти диапазон с максимальным и минимальным заполнением. Результаты вывести на консоль.

ГЛАВА 5

Организация оконного интерфейса

Стиль программирования Windows-приложений принципиально отличается от того, который сложился в операционных системах раннего поколения. Например, в MS DOS именно программа является инициатором взаимодействия с операционной системой, а для организации обработки системных событий приходилось прилагать дополнительные усилия, вплоть до переустановки векторов прерываний. Совсем иначе дело обстоит в Windows, где, наоборот, именно операционная система обращается к программе. В связи с такой идеологией построения операционной системы, программа должна ждать посылки сообщения операционной системы и лишь после его получения выполнить определенные действия, затем вновь перейти в режим ожидания очередного сообщения. На рис. 5.1 схематично изображена диаграмма типичной Windows-программы.

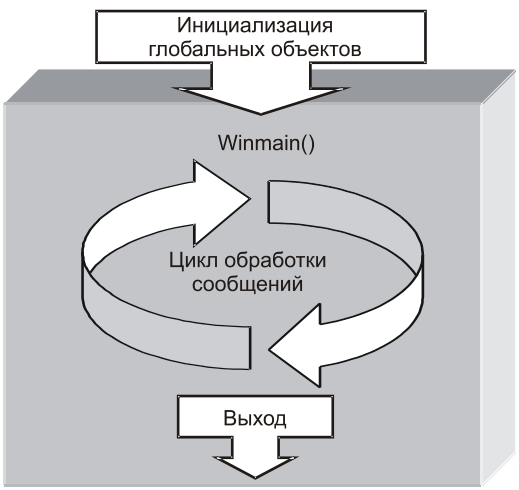

Рис. 5.1. Структура Windows-программы

Windows генерирует множество различных сообщений, которые направляются программе — например, сообщения о нажатии кнопки мыши или клавиши на клавиатуре. Если программа не обрабатывает какие-то сообщения, операционная система реагирует на них стандартным способом, так что задачей программиста является обработка лишь тех сообщений, которые необходимы для работы конкретной программы.

Следующим существенным отличием Windows-программы является возможность ее непосредственного обращения к ресурсам Windows, используя функции *Программного Интерфейса Приложений* (Application Program Interface, API). Совсем иначе в Windows осуществляется и вывод на экран монитора. Дело в том, что эта операционная система изначально строилась как многозадачная, а в этом случае должна исключаться возможность монопольного захвата одной из программ устройства вывода, поэтому весь вывод на консоль должен осуществляться через оконные процедуры, а операционная система распределяет ресурс между окнами. Эта идеология реализована таким образом, что оконная функция вызывается не из программы, а операционной системой. Когда программа начинает выполняться, она должна определить и зарегистрировать класс окна, с которым и будет взаимодействовать операционная система.

Примечание

Здесь термин "класс окна" использован в смысле "тип окна".

Причем регистрация окна не означает его отображения. Для этого нужно вызвать специальную функцию отображения окна.

Прежде чем переходить к детальному обсуждению структуры Windows-программы, рассмотрим типы данных, используемых в стандартных библиотеках. Так сложилось, что разработчики программного обеспечения под Windows ввели множество собственных типов данных, являющихся аналогами стандартных типов, но их использование стало стандартом де-факто при программировании Windows-приложений. Приведем наиболее типичные обозначения (табл. 5.1).

Большая группа типов данных, название которых начинается с `H`, — это дескрипторы (описатели), например `HANDLE`. На самом деле они являются целыми числами типа `int` и используются операционной системой в качестве индексов. Если же название типа начинается с `LP` — это указатель соответствующего типа, например, `LPWORD` — это `WORD*`.

Еще одной особенностью Windows-программ является использование функций с обратным порядком следования параметров вызова (как это принято в языке Pascal). В классическом C для вызова таких функций использовалось служебное слово `pascal`, здесь также введен его синоним `CALLBACK`. Для обо-

значения функций с прямым порядком передачи параметров в классическом C может быть использован модификатор `cdecl`, но его обычно опускают, поскольку он определен по умолчанию.

Примечание

В Windows все API-функции являются функциями с обратным порядком следования параметров, но для них используется служебное слово `WINAPI`.

Таблица 5.1. *Имена типов данных, используемых в Windows*

Тип	Аналог в C++
DWORD COLORREF	unsigned long
FLOAT	float
INT	int
LONG	long
LPARAM LRESULT	long
UINT	unsigned int
WORD ATOM	unsigned short
BOOL	int
BYTE	unsigned char

Каркас Windows-приложения

Структура Windows-программы должна быть стандартизирована для того, чтобы пользователь, загрузив любую программу, имел примерно одинаковый интерфейс. Для достижения этой цели в среде разработки Visual C++ созданы специальные мастера, но вначале рассмотрим создание проекта "вручную".

Для того чтобы иметь возможность работать с Windows-окнами, заготовка, или каркас Windows-приложения, должна выполнить некоторые стандартные действия.

1. Определить *класс окна*.
2. Зарегистрировать окно.
3. Создать окно данного класса.

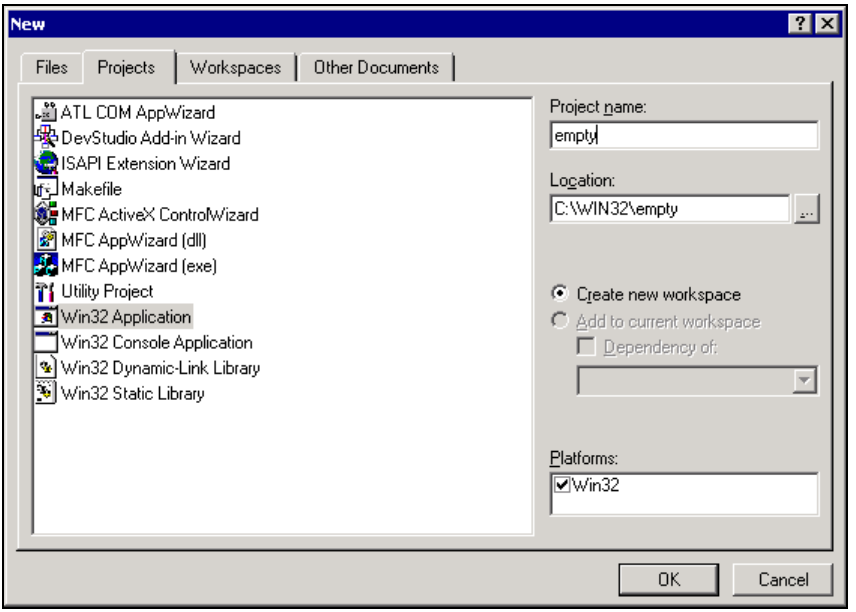

Рис. 5.2. Создание 32-битного Windows-приложения

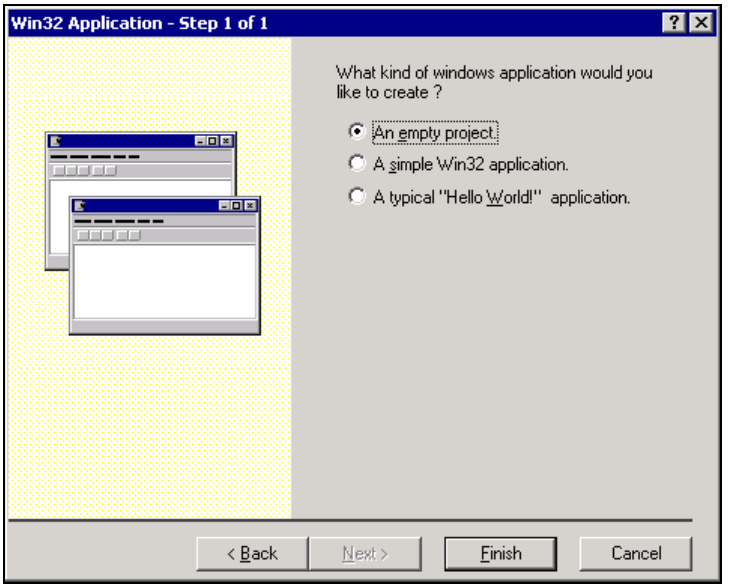

Рис. 5.3. Создание "пустого" проекта

4. Отобразить окно.

5. Запустить цикл обработки сообщений.

Рассмотрим технику создания простейшего 32-разрядного Windows-приложения. Последовательность действий по созданию "пустого" проекта в среде MS Visual C++ 6.0 показана на рис. 5.2, 5.3. В результате этих действий будет создана пустая папка с именем проекта. Выполнив команду меню **File | New**, на вкладке **Files** добавим **C++ Sourse File** с именем, например, `main`, после чего можно вводить приведенный далее текст (листинг 5.1), представляющий каркас Windows-приложения.

Листинг 5.1. Простейшая Windows-программа, или каркас Windows-приложения

```
#include <windows.h>
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);
char WinName[] = "MainFrame";
int WINAPI WinMain(HINSTANCE This,  // Дескриптор текущего приложения
       HINSTANCE Prev,              // В современных системах всегда 0
       LPSTR cmd,                   // Командная строка
       int mode)                    // Режим отображения окна
{
       HWND hwnd;     // Дескриптор главного окна программы
       MSG msg;       // Структура для хранения сообщения
       WNDCLASS wc;   // Класс окна
// Определение класса окна
       wc.hInstance = This;
       wc.lpszClassName = WinName;          // Имя класса окна
       wc.lpfnWndProc = WindowsFunc;        // Функция окна
       wc.style = 0;                        // Стиль по умолчанию
       wc.hIcon = LoadIcon(NULL,IDI_APPLICATION); // Стандартная иконка
       wc.hCursor = LoadCursor(NULL,IDC_ARROW);   // Стандартный курсор
       wc.lpszMenuName = NULL;      // Нет меню
       wc.cbClsExtra = 0;           // Нет дополнительных данных класса
       wc.cbWndExtra = 0;           // Нет дополнительных данных окна
       // Заполнение окна белым цветом
       wc.hbrBackground = (HBRUSH)GetStockObject(WHITE_BRUSH);
       if(!RegisterClass(&wc)) return 0;   // Регистрация класса окна
// Создание окна
       hwnd = CreateWindow(WinName, // Имя класса окна
       "Каркас Windows-приложения", // Заголовок окна
       WS_OVERLAPPEDWINDOW,  // Стиль окна
       CW_USEDEFAULT,  // x
       CW_USEDEFAULT,  // y  Размеры окна
```

```
        CW_USEDEFAULT, // Width
        CW_USEDEFAULT, // Height
        HWND_DESKTOP,  // Дескриптор родительского окна
        NULL,   // Нет меню
        This,   // Дескриптор приложения
        NULL); // Дополнительной информации нет
        ShowWindow(hwnd, mode); // Показать окно
// Цикл обработки сообщений
        while(GetMessage(&msg, NULL, 0, 0))
        {
        TranslateMessage(&msg);// Функция трансляции кодов нажатой клавиши
        DispatchMessage(&msg); // Посылает сообщение функции WindowsFunc()
        }
}
// Оконная функция вызывается операционной системой
// и получает сообщения из очереди для данного приложения
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
                             WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{       // Обработчик сообщений
        switch(message)
        {
        case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0);
          break; // Завершение программы
        // Обработка сообщения по умолчанию
        default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
        }
        return 0;
}
```

Программа не делает ничего полезного, поэтому, запустив ее на выполнение, мы получим изображенное на рис. 5.4 пустое окно, имеющее заголовок и набор стандартных кнопок.

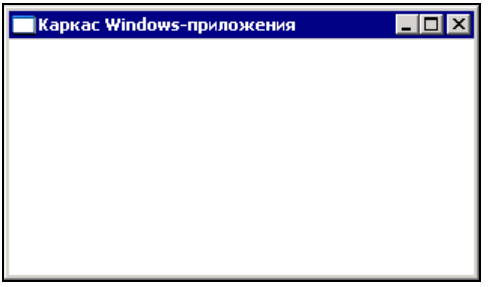

Рис. 5.4. Результат выполнения нашей первой Windows-программы

Исследование программы

Сейчас подробно рассмотрим текст нашей программы. Первая строка содержит единственный файл включений, который обязательно присутствует во всех Windows-программах.

```
#include <windows.h>
```

Основа файла `windows.h` состоит из вызова четырех файлов включений: `windef.h`, `winbase.h`, `wingdi.h`, `winuser.h`, а также нескольких дополнительных файлов, в которых размещены основные определения и описание API-функций.

Далее следует прототип оконной функции:

```
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);
```

Отличительной чертой оконной функции является обратный порядок вызова параметров, что связано с некоторыми особенностями вызовов от операционной системы. Эта функция регистрируется в системе головной программой, а ее вызов осуществляет именно операционная система, когда требуется обработать системное сообщение.

Затем на глобальном уровне описывается текстовый массив:

```
char WinName[] = "MainFrame";
```

Массив содержит С-строку с именем приложения и используется операционной системой для его идентификации. Имя может быть произвольным, в частности, содержать кириллический текст. Не является обязательным описание `WinName` на глобальном уровне, но часто это оказывается удобным.

И наконец, начинается описание головной функции, для Windows-приложений она носит имя `WinMain()`. Рассмотрим ее заголовок:

```
int WINAPI WinMain(HINSTANCE This,  // Дескриптор текущего приложения
                   HINSTANCE Prev,  // В современных системах всегда 0
                   LPSTR cmd,       // Командная строка
                   int mode)        // Режим отображения окна
```

Функция теперь имеет четыре параметра, устанавливаемых при загрузке программы:

- `This` — дескриптор, устанавливаемый операционной системой для данного приложения;
- параметр `Prev` был предназначен для хранения дескриптора предыдущего экземпляра приложения, уже загруженного системой; сейчас потерял свою актуальность и сохранен лишь для совместимости со старыми приложениями (начиная от Windows 95, он устанавливается в нулевое значение);

- `cmd` — обычная С-строка, где хранится командная строка, при помощи которой запущено приложение, причем без имени запускаемой программы;
- `mode` — режим отображения окна.

Внутри головной функции описаны три переменные:

```
HWND hwnd;              // Дескриптор главного окна программы
MSG msg;                // Структура для хранения сообщения
WNDCLASS wc;            // Класс окна
```

- `hwnd` предназначен для хранения дескриптора главного окна программы. Идеология Windows предусматривает дескрипторы практически для всех объектов, причем их типы различаются, хотя, на самом деле, все дескрипторы имеют тип `int`;
- `msg` — это структура, в которой будет храниться информация о сообщении, передаваемом операционной системой в приложение:

```
struct MSG
{
HWND hwnd;          // Дескриптор окна
UINT message;       // Номер сообщения
WPARAM wParam;      // 32-разрядные целые содержат
LPARAM lParam;      // дополнительные параметры сообщения
DWORD time;         // Время посылки сообщения в миллисекундах
POINT pt;           // Координаты курсора (x,y)
 };
struct POINT
{
    LONG x,y;
};
```

- `wc` — структура, содержащая информацию по настройке окна. Требуется заполнить следующие поля:
  - `wc.hInstance = This;`

    Полю присваивается дескриптор текущего приложения.
  - `wc.lpszClassName = WinName;`

    Имя главного окна приложения совпадает с именем самого приложения.
  - `wc.lpfnWndProc = WindowsFunc;`

    Имя оконной функции для обработки сообщений.
  - `wc.style = 0;`

    Стиль окна. Нулевое значение задает стиль по умолчанию.

- `wc.hIcon = LoadIcon(NULL,IDI_APPLICATION);`

  Дескриптор иконки приложения. Функция `LoadIcon()` обеспечивает загрузку иконки. Если первый параметр `NULL`, используется системная пиктограмма, которая выбирается заданием второго параметра:

  - `IDI_APPLICATION` — стандартная иконка;
  - `IDI_ASTERISK` — звездочки;
  - `IDI_EXCLAMATION` — восклицательный знак;
  - `IDI_HAND` — ладонь;
  - `IDI_QUESTION` — вопросительный знак;
  - `IDI_WINLOGO` — логотип Windows;

- `wc.hCursor = LoadCursor(NULL,IDC_ARROW);`

  Аналогично, функция `LoadCursor()` обеспечивает загрузку графического образа курсора, где нулевой первый параметр также означает использование системного курсора, вид которого можно выбрать из списка:

  - `IDC_ARROW` — стандартный курсор;
  - `IDC_APPSTARTING` — стандартный курсор и маленькие песочные часы;
  - `IDC_CROSS` — перекрестие;
  - `IDC_IBEAM` — текстовый курсор;
  - `IDC_NO` — перечеркнутый круг;
  - `IDC_SIZEALL` — четырехлепестковая стрелка;
  - `IDC_SIZENESW` — двухлепестковая стрелка, указывающая на северо-восток и юго-запад;
  - `IDC_SIZENWSE` — двухлепестковая стрелка, указывающая на северо-запад и юго-восток;
  - `IDC_SIZENS` — двухлепестковая стрелка, указывающая на север и юг;
  - `IDC_SIZEWE` — двухлепестковая стрелка, указывающая на запад и восток;
  - `IDC_UPARROW` — стрелка вверх;
  - `IDC_WAIT` — песочные часы;

- `wc.lpszMenuName = NULL;`

  Ссылка на строку главного меню, при его отсутствии — `NULL`.

- `wc.cbClsExtra = 0;`

  Дополнительные параметры класса окна, если 0, параметры отсутствуют.

- `wc.cbWndExtra = 0;`

  Аналогично, здесь указываются дополнительные параметры окна.

- `wc.hbrBackground = (HBRUSH)GetStockObject(WHITE_BRUSH);`

  Здесь задается дескриптор кисти, которая используется для заполнения окна. Можно использовать API-функцию `GetStockObject()`, которая создает стандартную кисть белого цвета `WHITE_BRUSH`. Требуется явное преобразование типа — `(HBRUSH)`.

После того, как определены основные характеристики окна, можно это окно создать при помощи API-функции `CreateWindow()`, для которой также нужно задать параметры:

1. `WinName` — имя, которое присвоено классу окна, поле `lpszClassName`.
2. `"Каркас Windows-приложения"` — C-строка, отображаемая в заголовке окна.
3. `WS_OVERLAPPEDWINDOW` — макрос, определяющий стиль отображения стандартного окна, имеющего системное меню, заголовок, рамку для изменения размеров, а также кнопки минимизации, развертки и закрытия. Это наиболее общий стиль окна, он определен как:

   ```
   #define WS_OVERLAPPEDWINDOW (WS_OVERLAPPED|WS_CAPTION|WS_SYSMENU|
   WS_THICKFRAME|WS_MINIMIZEBOX|WS_MAXIMIZEBOX)
   ```

   Можно создать другой стиль, используя комбинацию стилевых макросов при помощи операции логического сложения:

   - `WS_OVERLAPPED` — стандартное окно с рамкой.
   - `WS_CAPTION` — окно с заголовком.
   - `WS_THICKFRAME` — окно с рамкой.
   - `WS_MAXIMIZEBOX` — наличие кнопки развертки.
   - `WS_MINIMIZEBOX` — наличие кнопки минимизации.
   - `WS_SYSMENU` — наличие системного меню.
   - `WS_HSCROLL` — наличие горизонтальной панели прокрутки.
   - `WS_VSCROLL` — наличие вертикальной панели прокрутки.

4. Следующие два параметра определяют координаты левого верхнего угла окна `(x,y)`, еще два параметра: `Width` — ширину и `Height` — высоту окна

в пикселах. Задание параметра CW_USEDEFAULT означает, что система сама выберет для отображения окна наиболее (с ее точки зрения) удобное место и размер.

5. Следующий параметр — указатель на структуру меню, или NULL, при его отсутствии.
6. Далее требуется указать дескриптор приложения владельца окна — This.
7. И, наконец, указатель на дополнительную информацию, у нас — NULL.

Окно создано, и с ним можно работать, но окно пока не отображается. Для того чтобы его увидеть, необходимо окно показать функцией ShowWindow(hwnd, mode), которая принимает два параметра: hwnd — дескриптор окна и mode — режим отображения, мы используем значение, полученное при открытии приложения через параметр головной функции WinMain().

Далее, заключительная часть головной функции — цикл обработки сообщений. Он задается оператором while, аргументом которого является функция GetMessage(&msg, NULL, 0, 0). Такой цикл обязателен для всех Windows-приложений и используется для получения и обработки сообщений, передаваемых операционной системой. Сообщения ставятся в очередь, откуда и извлекаются, по мере готовности приложения, функцией GetMessage():

- первым параметром функции является &msg — указатель на структуру MSG, где и сохраняются сообщения;
- второй параметр hwnd — определяет окно, для которого предназначено сообщение, если же необходимо перехватить все сообщения данного приложения, то он должен быть NULL;
- остальные два параметра определяют [min, max] диапазон получаемых сообщений. Чаще всего необходимо обработать все сообщения, тогда эти параметры должны быть равны 0.

Если очередь сообщений пуста, функция возвращает 0 и управление передается операционной системе.

Внутри цикла расположены две функции:

```
TranslateMessage(&msg);
DispatchMessage(&msg);
```

Первая из них транслирует код нажатой клавиши в клавиатурные сообщения WM_CHAR. При этом в переменную wParam структуры msg помещается ASCII-код нажатой клавиши, а в lParam битовая карта со значениями, приведенными в табл. 5.2.

Использование этой функции необязательно и нужно только для обработки кода нажатой клавиши.

Таблица 5.2. *Битовая карта клавиатуры*

Бит	Значение
15	1, если клавиша отпущена, 0 — если нажата
14	1, если клавиша была нажата перед посылкой сообщения
13	1, если нажата клавиша <Alt>
12-9	Системные
8	1, если нажата функциональная клавиша
7-0	Scan-код клавиши

Вторая функция `DispatchMessage(&msg)` обеспечивает возврат преобразованного сообщения обратно операционной системе и инициирует вызов оконной функции данного приложения для его обработки.

Данным циклом и заканчивается функция `WinMain()`.

Нам осталось лишь описать оконную функцию, и построение каркаса Windows-приложения будет закончено.

Основной и единственный компонент этой функции — переключатель, обеспечивающий выбор соответствующего обработчика сообщений по его номеру `message`. Здесь мы предусмотрели обработку лишь одного сообщения `WM_DESTROY`. Это сообщение посылается, когда пользователь завершает программу. Получив это сообщение, оконная функция вызывает API-функцию `PostQuitMessage(0)`, которая завершает приложение и передает операционной системе код возврата 0. Если говорить точнее, генерируется сообщение `WM_QUIT`, получив которое функция `GetMessage()` возвращает нулевое значение, в результате цикл обработки сообщений прекращается и происходит завершение работы приложения.

Все остальные сообщения обрабатываются "по умолчанию" функцией `DefWindowProc()`, имеющей такой же список параметров и аналогичное возвращаемое значение, поэтому вызов функции и помещается как возвращаемое значение оператора `return`.

На этом описание каркаса Windows-приложения завершено.

Обработка сообщений

Операционная система способна генерировать больше двух сотен сообщений. В файле включений `winuser.h` размещены макроимена для них. Этот файл не нужно подключать самостоятельно, поскольку он вызывается неявно через

windows.h. Рассмотрим технику обработки наиболее распространенных сообщений Windows.

Нажатие клавиши

При нажатии любой клавиши на клавиатуре вырабатывается сообщение WM_CHAR. Чтобы обработать это сообщение, необходимо добавить в переключатель оконной функции еще одну строку альтернативы:

```
case WM_CHAR :
```

и описать необходимые действия для обработки нажатия клавиши.

Поставим самую простую задачу — при нажатии на клавишу выводить текущий символ в окне приложения, т. е. обеспечить эхо-печать в одну строку, пока не беспокоясь о выходе строки за границу окна.

Для решения этой задачи нам понадобится на глобальном уровне описать текстовый массив для хранения набранных символов.

```
char str[80] = "";
```

Глобальный уровень нам понадобился по той причине, что содержимое текстовой строки должно сохранять свое значение и при выходе из оконной функции.

Следующая проблема, которую нужно решить, — это организация вывода строки в окно приложения. Для этого необходим *контекст устройства*. В Windows все функции, выводящие что-либо в окно, используют в качестве параметра *дескриптор* контекста устройства, который представляет собой структуру, описывающую свойства данного устройства вывода. А дескриптор — это индекс, который позволяет операционной системе извлечь нужный контекст из массива аналогичных структур. Для получения контекста устройства необходимо в оконной функции описать переменную — *дескриптор контекста устройства*:

```
HDC hdc;
```

а в обработчике сообщений получить этот дескриптор вызовом функции GetDC():

```
hdc = GetDC(hwnd);
```

Теперь можно выводить текст в окно с помощью функции TextOut():

```
BOOL WINAPI TextOut(HDC hdc, int x, int y, LPCSTR str, int len);
```

которая принимает в качестве параметров контекст устройства hdc, (x,y) — координаты начала вывода текста, указатель на С-строку с текстом и длину выводимой строки.

Необходимо также учитывать, что определение контекста устройства приводит к выделению области памяти для записи структуры, содержащей информацию о данном устройстве вывода. И после того как строка будет выведена и необходимость в данном контексте отпадет, его нужно уничтожить, т. е. освободить память. Дело в том, что даже после выхода из оконной функции, блок памяти под контекстом устройства автоматически не освобождается, и если его не освободить принудительно, то память будет непроизводительно расходоваться. Для освобождения контекста устройства вызывается функция:

```
ReleaseDC(hwnd,hdc);
```

где в качестве параметров фигурируют дескрипторы окна и контекста устройства.

Листинг 5.2 представляет собой текст переработанной нами части программы.

Листинг 5.2

```
char str[80] = "";
int strApp(char ch)   // Функция добавления символа к строке
{
       int i = strlen(str);
       str[i] = ch;
       str[++i] = '\0';
       return i;
}
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       switch(message)
       { // Обработка нажатия клавиши
       case WM_CHAR : hdc = GetDC(hwnd);
              TextOut(hdc,1,1,str,strApp((char)wParam));
              ReleaseDC(hwnd,hdc);
              break;
       case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0); break;
       default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
       }
       return 0;
}
```

Теперь продолжим обсуждение текста программы. Функция в качестве параметра, кроме задания строки текста, требует еще и длину этой строки. Мы

решили сразу "убить двух зайцев" и написали функцию `strApp()`, которая добавляет символ к строке и возвращает ее длину.

Для вычисления длины существующей строки воспользуемся готовой функцией:

```
int i = strlen(str);
```

добавлять файл включений `string.h` нет необходимости, поскольку он подключается неявно. Далее все просто, добавим принятый с клавиатуры символ и завершающий символ строки:

```
str[i] = ch;
str[++i] = '\0';
```

теперь осталось только вернуть индекс `i`, который равен длине полученной строки

```
return i;
```

и функция завершена.

Обращение к этой функции:

```
strApp((char)wParam);
```

Что выглядит довольно интересно и странно, но все становится ясно, если вспомнить, что переменная `wParam` возвращает ASCII-код символа, а операция явного преобразования типа `(char)wParam` просто выделит этот символ и передаст его как параметр функции. При этом, поскольку управление функции `TextOut()` будет передано лишь после того, как будут определены все параметры, строка уже станет больше на принятый с клавиатуры символ.

Теперь следует обсудить позицию, куда будет выведена текстовая строка. Система координат (рис. 5.5), используемая при выводе в окно, имеет начало в верхнем левом углу окна, ось x направлена горизонтально, а ось y — вертикально вниз. Причем вывод осуществляется в клиентскую область окна, т. е. исключая полосу заголовка.

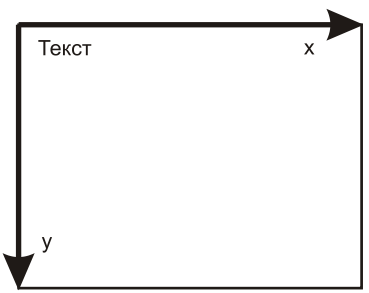

Рис. 5.5. Система координат окна

По умолчанию размер окна измеряется в пикселах, т. е. точках на экране. Таким образом, вывод в точку с координатами (1, 1) — это практически с начала окна.

Запустим программу на выполнение и введем текст, должно получиться что-то похожее на рис. 5.6.

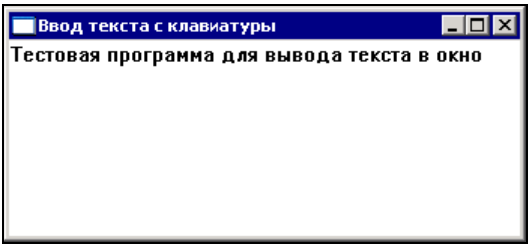

Рис. 5.6. Вид окна программы эхо-печати

Текст выводится шрифтом по умолчанию, и пока нас это устраивает, а как установить необходимый шрифт, мы обсудим позднее. Также мы не стали выводить текст по одному символу, а каждый раз просто выводим вновь с тех же координат всю строку целиком, и в таком подходе есть некоторый смысл.

Однако если свернуть окно и развернуть его вновь, мы увидим, что выведенная в окне строка исчезла. При изменении размера окна мы также можем потерять часть строки. Дело в том, что при необходимости обновления окна операционная система генерирует сообщение `WM_PAINT`, которое в нашем случае обработано по умолчанию.

Для того чтобы избежать этой неприятной ситуации, построим обработчик сообщения `WM_PAINT` для вывода строки текста при перерисовке окна. Текст обработчика сообщения выглядит довольно просто:

```
case WM_PAINT : hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
                TextOut(hdc,1,1,str,strlen(str));
                EndPaint(hwnd,&ps);
                break;
```

Однако здесь имеются некоторые особенности, в частности, дескриптор контекста устройства должен возвращаться функцией `BeginPaint()`, принимающей два параметра:

- `hwnd` — дескриптор окна.
- `&ps` — указатель на структуру `PAINTSTRUCT`.

Освобождаться контекст устройства должен функцией `EndPaint()` с теми же параметрами. Переменная типа `PAINTSTRUCT` предварительно должна быть описана в оконной функции:

```
PAINTSTRUCT ps;
```

Собственно, особенность описания обработчика сообщения WM_PAINT связана с возможностью перерисовки только части окна, а необходимая для этого информация содержится в структуре PAINTSTRUCT:

```
struct PAINTSTRUCT {
  HDC   hdc;          // Дескриптор контекста устройства
  BOOL  fErase;
  RECT  rcPaint;      // Координаты прямоугольной области перерисовки
  BOOL  fRestore;
  BOOL  fIncUpdate;
  BYTE  rgbReserved[32];
};
```

Если поля структуры ps не заданы, то перерисовывается все окно.

Теперь можно безболезненно изменять размеры окна, не беспокоясь о сохранности текста в окне. Однако текст, выходящий за границу окна, отображаться не будет.

Сообщение мыши

Нажатие на клавиши мыши приводит к следующим сообщениям:

- WM_LBUTTONDOWN — нажатие на левую кнопку мыши;
- WM_RBUTTONDOWN — нажатие на правую кнопку мыши.

Составим тестовую программу для демонстрации обработки этих сообщений, просто добавив к оконной функции Windows-приложения два обработчика сообщений (листинг 5.3).

Примечание

Поскольку каркас приложения изменяется лишь в части касающейся обработки сообщений, то мы не будем приводить полного листинга, а только изменяемую часть — обработчики сообщений, а при необходимости — всю оконную функцию. В головной же функции будем изменять лишь строку заголовка окна.

Листинг 5.3. Обработчики сообщений нажатия на кнопку мыши

```
case WM_LBUTTONDOWN : strcpy(str,"Нажата левая кнопка мыши");
       x = LOWORD(lParam);
       y = HIWORD(lParam);
       InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
       break;
case WM_RBUTTONDOWN : strcpy(str," Нажата правая кнопка мыши ");
       x = LOWORD(lParam);
```

```
y = HIWORD(lParam);
InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
break;
```

Здесь мы реализуем стандартный подход к организации вывода данных в окно. Обычно весь вывод организуют в обработчике сообщения `WM_PAINT`, что позволяет просто организовать перерисовку окна в случае необходимости. Обработчики же остальных сообщений должны подготовить информацию для вывода в окно и инициировать принудительно перерисовку окна.

Так мы и поступим, скопируем соответствующий текст в строку `str` глобальной области видимости и вернем в переменные `x, y` — координаты курсора. Эти координаты нам понадобятся для вывода строки текста с этой позиции, а извлечем мы их из параметра `lParam`, где младшее слово содержит `x`-координату, а старшее слово — `y`-координату. Для этого используем макросы, описанные в файле включений `windef.h`:

```
x = LOWORD(lParam);
y = HIWORD(lParam);
```

Эти макросы можно заменить простыми конструкциями:

```
x = lParam & 0xFFFF;
y = (lParam >> 16) & 0xFFFF;
```

Теперь необходимо спровоцировать систему на перерисовку окна, не можем же мы из одного обработчика сообщения вызывать другой. Однако это можно сделать, обратившись к функции:

```
InvalidateRect(HWND hwnd, RECT *rect, BOOL fErase);
```

Эта функция объявляет область окна `hwnd`, заданную вторым параметром `rect`, *недействительной*, т. е. подлежащей перерисовке, что заставляет Windows генерировать сообщение `WM_PAINT`. Последний параметр `fErase` — флаг перерисовки заполнения окна, если значение `fErase` отлично от нуля, то вначале изображение полностью стирается и рисование начинается с заполнения фона, иначе фоновое заполнение не перерисовывается.

Нетрудно сообразить, что параметры этой функции используются для заполнения структуры `PAINTSTRUCT`.

В нашем случае обращение к функции выглядит так:

```
InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
```

где вторым параметром указано `NULL`, что означает необходимость перерисовки всего окна.

Теперь нам необходимо определить обработчик сообщения WM_PAINT:

```
case WM_PAINT : hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
                TextOut(hdc,x,y,str,strlen(str));
                EndPaint(hwnd,&ps);
                break;
```

который отличается от приведенного в предыдущем примере лишь тем, что функция TextOut() выводит с точки (x,y).

Запустив программу на выполнение, получим картинку, изображенную на рис. 5.7.

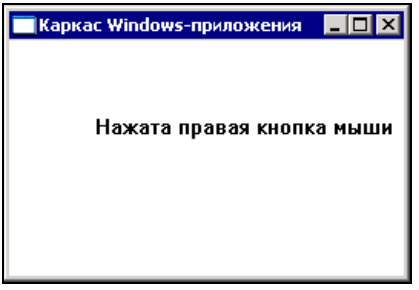

Рис. 5.7. Обработка нажатия кнопки мыши

Создание окна

При создании окна генерируется сообщение WM_CREATE, которое происходит еще до отображения окна и позволяет производить некоторые начальные установки. Мы продемонстрируем использование этого сообщения в следующем примере.

Таймер

В программе можно установить один или несколько *таймеров*, которые позволяют производить отсчет времени. Таймер создается функцией SetTimer():

```
UINT SetTimer(HWND hwnd, UINT nID, UINT wLength, TIMEPROC lpTFunc);
```

- hwnd — дескриптор окна;
- nID — номер таймера, задается целым числом;
- wLength — временной интервал таймера в миллисекундах;
- lpTFunc — указатель на функцию, вызываемую при обработке таймера. Эта функция должна быть определена как VOID CALLBACK и имеет параметры, показанные ниже в прототипе, но, если lpTFunc = NULL, для обработки

сообщения таймера вызывается оконная функция. Обычно так и поступают.

```
VOID CALLBACK TimerProc(
 HWND hwnd, // Дескриптор окна
 UINT uMsg, // WM_TIMER сообщение
 INT idEvent,      // Номер таймера
 DWORD dwTime      // Текущее системное время
);
```

Если поставить задачу отсчета времени с момента начала работы приложения, то проще всего создать таймер по сообщению `WM_CREATE`:

```
case WM_CREATE : t = 0;
                 SetTimer(hwnd,1,1000,NULL);
                 break;
```

Здесь мы присвоим начальное значение переменной `t = 0`, которую опишем на глобальном уровне и будем использовать как счетчик секунд. Таймеру присвоим номер 1, а интервал отсчета зададим в 1000 миллисекунд (1 секунда), в качестве же обработчика таймера используем оконную функцию (третий параметр `NULL`).

Теперь опишем обработчик таймера:

```
case WM_TIMER : t++;
                strcpy(str,"Секунды: ");
                strcat(str,itoa(t,s,10));
                InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
                break;
```

Здесь мы сформируем строку текста для вывода в окне, используя функцию `itoa()` для преобразования целого числа в строку, где третий параметр — основание системы счисления 10. После чего инициируем вызов сообщения `WM_PAINT`.

Пример текста оконной функции для таймера приведен в листинге 5.4.

Листинг 5.4. Оконная функция для таймера

```
char s[10], str[20];
int t;
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
                             WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       PAINTSTRUCT ps;
```

```
// Обработчик сообщений
        switch(message)
        {
        case WM_CREATE : t = 0;
                SetTimer(hwnd,1,1000,NULL);
                break;
        case WM_TIMER : t++;
                strcpy(str,"Секунды: ");
                strcat(str,itoa(t,s,10));
                InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
                break;
        case WM_PAINT : // Перерисовка экрана
                hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
                TextOut(hdc,1,1,str,strlen(str));
                EndPaint(hwnd,&ps);
                break;
        case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0); break;// Завершение программы
        // Обработка сообщения по умолчанию
        default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
        }
        return 0;
}
```

На глобальном уровне описаны два символьных массива `s`, `str` и переменная целого типа `t` — счетчик секунд. И если массив `s` можно было бы описать внутри оконной функции, поскольку он используется локально лишь в одном обработчике сообщений, то остальные переменные должны быть описаны именно на глобальном уровне, т. к. их значение устанавливается в одном обработчике, а используются они в другом. Нужно помнить, что переход от одного обработчика к другому происходит лишь после передачи управления операционной системе и получения следующего сообщения, а локальная переменная в этом случае потеряет свое значение.

Примечание

Можно, конечно, описывать переменные как статические и в оконной функции:

```
static char s[10], str[20];
static int t;
```

в этом случае их значение сохранится до следующего вызова.

Для уничтожения таймера используется функция `KillTimer()`, которая возвращает `true` при успешном удалении таймера.

```
BOOL WINAPI KillTimer(HWND hwnd, UINT nID);
```

Параметры имеют тот же смысл, что и для функции `SetTimer()`.

В нашем случае было бы корректным вызвать эту функцию при завершении работы в сообщении `WM_DESTROY`:

```
case WM_DESTROY: KillTimer(hwnd,1);
...
```

Пример работы программы показан на рис. 5.8.

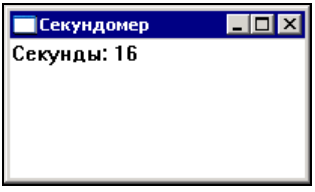

Рис. 5.8. Таймер

Рисование в окне

При рисовании в окне можно использовать достаточно большой набор API-функций, для которых нужно учитывать следующее соглашение — все линии рисуются текущим пером, а области заполняются текущей кистью. Как устанавливать перо и кисть мы обсудим позднее, а пока будем рисовать пером и кистью, определенными при создании окна. Все эти функции возвращают ненулевое значение в случае успешного выполнения, и 0 — в случае ошибки. Начнем с рассмотрения с самых простых функций.

Рисование линии

Для того чтобы нарисовать линию, используется функция:

```
BOOL LineTo(HDC hdc, int x, int y);
```

где `hdc` — дескриптор контекста устройства, `x, y` — координаты конца линии. Начало линии определяется положением текущей позиции рисования.

При инициализации графической системы функцией начальная позиция определяется в начале координат `(0,0)`. Если же необходимо нарисовать линию из другой точки, то текущая позиция рисования может быть изменена.

Установка текущей позиции

```
BOOL MoveToEx(HDC hdc, int x, int y, LPPOINT oldPoint);
```

Функция устанавливает текущую позицию в точку с координатами `(x,y)` и передает в структуру `POINT` координаты предыдущей позиции. Если последний параметр `NULL`, предыдущие координаты не сохраняются.

Обычно эти функции используются в паре, обе они возвращают ненулевое значение в случае успешного завершения, и 0 — в случае ошибки.

Например, если нам нужно нарисовать линию между двумя точками (рис. 5.9), можно сделать это так:

```
MoveToEx(hdc,50,100,NULL);
LineTo(hdc,350,100);
```

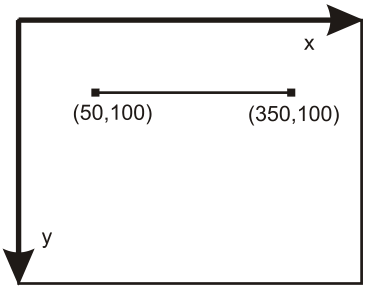

Рис. 5.9. Рисование линии

Функции рисования можно включать в любой обработчик сообщений, но по многим соображениям лучше всего — в сообщение `WM_PAINT`. Хотя бы потому, что операционная система автоматически генерирует это сообщение при необходимости перерисовки окна, а значит, если рисовать в окне посредством других обработчиков, то мы потеряем выведенную графику при перерисовке окна.

Определение размера клиентской области

При выводе данных в окно необходимо определить фактический размер этого окна, точнее его клиентской области, т. е. окна без верхней строки заголовка. Для решения данной задачи существует API-функция:

```
BOOL WINAPI GetClientRect(HWND hWnd, LPRECT lpRect);
```

принимающая дескриптор окна `hWnd` и адрес структуры `RECT` — `lpRect`, определяющей его размеры:

```
struct RECT
{
  LONG   left;    // x - координата левого верхнего угла
  LONG   top;     // y - координата левого верхнего угла
  LONG   right;   // Ширина
  LONG   bottom;  // Высота
};
```

В результате работы функции будут заполнены поля структуры RECT, и мы можем использовать высоту и ширину окна в последующих графических построениях.

Примечание

В данном контексте применения функции GetClientRect(), поля left и top структуры RECT будут равны 0.

Теперь у нас достаточно информации, чтобы рассмотреть простой пример. Поставим задачу построить оси системы координат, проходящие через центр окна. Причем картинка должна перестраиваться при изменении размеров окна. В листинге 5.5 приведен текст оконной функции.

Листинг 5.5

```
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
        WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       PAINTSTRUCT ps;
       RECT rt;
       switch(message) {
       case WM_PAINT : hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
              GetClientRect(hwnd, &rt);
              MoveToEx(hdc,0,rt.bottom/2,NULL);
              LineTo(hdc,rt.right,rt.bottom/2);
              MoveToEx(hdc,rt.right/2,0,NULL);
              LineTo(hdc,rt.right/2,rt.bottom);
              EndPaint(hwnd,&ps);
              break;
       case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1); break;
       case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0); break;
       default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
       }
       return 0;
}
```

Изменение размеров окна

При изменении размеров окна система генерирует сообщение WM_SIZE, реагируя на которое мы должны перерисовать окно, поскольку его размеры изменились, и линии осей системы координат должны быть перестроены. Как и ранее, мы решим эту задачу, просто вызывая функцию InvalidateRect(), ко-

торая и обеспечит генерацию сообщения WM_PAINT, что приведет к перерисовке окна. Обработчик сообщения будет следующим:

```
case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1); break;
```

Теперь мы можем изменять размер окна и система координат всегда будет подстраиваться под текущий размер.

Рисование прямоугольника

Нарисовать прямоугольник можно при помощи функции:

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

где (x1,y1) — координаты левого верхнего угла прямоугольника, а (x2,y2) — координаты правого нижнего угла. Прямоугольник заполняется текущей кистью, поэтому если к предыдущему примеру (листинг 5.5) добавить в обработчик сообщения WM_PAINT следующую строку:

```
Rectangle(hdc,rt.right/4,rt.bottom/4,3*rt.right/4,3*rt.bottom/4);
```

которая рисует прямоугольник в четверть окна, то мы получим картинку, изображенную на рис. 5.10.

Рис. 5.10. Окно программы рисования системы координат

Рисование эллипса

Функция для отображения эллипса имеет те же параметры, поскольку эллипс определяется ограничивающим его прямоугольником:

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

а внутренняя область также заполняется текущей кистью. Если необходимо нарисовать круг, нужно задать равносторонний прямоугольник.

Таким образом, если мы заменим Rectangle() на Ellipse(), то получим вместо прямоугольника эллипс.

```
Ellipse(hdc,rt.right/4,rt.bottom/4,3*rt.right/4,3*rt.bottom/4);
```

Рисование точки

Функция `SetPixel()` позволяет вывести в окно одну точку (пиксел):

```
COLORREF SetPixel(HDC hdc, int x, int y, COLORREF color);
```

где `hdc` — контекст устройства, `(x,y)` — координаты точки, `color` — цвет точки. Функция возвращает прежний цвет точки в случае успешного завершения, и –1 — при ошибке.

Тип `COLORREF` представляет длинное целое число, где три младших байта кодируют соответственно *красный*, *синий*, *зеленые* цвета. Старший байт всегда 0. Числовое значение байта определяет интенсивность каждого цвета, а цвет точки определяется смешиванием трех базовых цветов. Для получения нужного цвета проще всего воспользоваться предопределенным в файле `wingdi.h` макросом `RGB()`, прототип которого можно представить в виде:

```
COLORREF RGB(int red, int green, int blue);
```

Например, если нам нужен чисто зеленый цвет, мы могли бы определить переменную `color` так:

```
COLORREF color = RGB(0,255,0);
```

Для демонстрации рассмотренных функций рисования напишем небольшую программу, точнее ее оконную функцию (листинг 5.6), которая строит простой график.

Листинг 5.6. Построение синусоиды

```
const double PI = 3.14159;
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
       WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       PAINTSTRUCT ps;
       RECT rt;
       COLORREF color = RGB(0,255,0);      // Цвет зеленый
       int a,b,x_scr,y_scr,h_scr;   // Экранные координаты
       double x, y, h_x;            // Физические координаты
       switch(message)
       {
       case WM_PAINT : hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
              GetClientRect(hwnd, &rt);
              a = rt.right/2;       // Половина ширины окна
              b = rt.bottom/2;      // Половина высоты окна
              MoveToEx(hdc,0,b,NULL);
              LineTo(hdc,2*a,b);
```

```
                MoveToEx(hdc,a,0,NULL);
                LineTo(hdc,a,2*b);
                h_scr = 1;
                h_x = PI*h_scr/a;
                for (x=-PI,x_scr=0; x<PI; x+=h_x,x_scr+=h_scr)
                {
                        y = sin(x);
                        y_scr = b - y*b;
                        SetPixel(hdc, x_scr, y_scr, color);
                }
                EndPaint(hwnd,&ps);
                break;
        case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
                break;
        case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0);
                break; // Завершение программы
        // Обработка сообщения по умолчанию
        default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
        }
        return 0;
}
```

Попробуем прокомментировать текст данной программы. В качестве основы для ее создания мы взяли предыдущую программу с уже построенной системой координат, где для упрощения формул ввели две локальные переменные: `a`, `b`, равные, соответственно, половине ширины и высоты окна. После вывода осей системы координат можно начинать строить кривую, но вначале необходимо определить как физические координаты, присутствующие в формуле, и экранные координаты будут связаны между собой. То, что для вывода в окно нельзя использовать физические координаты, должно быть ясно. Действительно, если наша функция имеет значение в диапазоне (–1, 1), то при отображении такой картинки в окне мы ничего не сможем увидеть.

Таким образом, задача заключается в том, чтобы растянуть картинку как по горизонтали, так и по вертикали. И если физическая координата в начале построения равна `x=-PI`, то экранная координата должна равняться `x_scr = 0`. Здесь мы на глобальном уровне определили константу:

```
const double PI = 3.14159;
```

В конце построения должно получиться `x = PI`, `x_scr = 2*a`.

Чтобы достичь такого результата, зададим шаг изменения экранной `x`-координаты `h_scr=1`, а шаг изменения физической координаты вычислим по формуле:

```
h_x = PI*h_scr/a;
```

Теперь осталось организовать цикл, изменяя одновременно физическую и экранную координаты на величину заданного шага. Внутри цикла вычисляем значение функции (не забыть добавить файл включений `math.h` для функции `sin(x)`), затем вычисляем экранную `y_scr`-координату, учитывая, что направление физической и экранной оси y не совпадает, а начало физических координат находится в середине окна. Отсюда и формула:

```
y_scr = b - y*b;
```

После чего строим точку в окне:

```
SetPixel(hdc, x_scr, y_scr, color);
```

Зеленый цвет точки мы задали при описании переменной `color`:

```
COLORREF color = RGB(0,255,0);
```

Завершаем обработчик сообщения функцией `EndPaint(hwnd,&ps)`, после чего можно программу выполнить.

Если все введено правильно, то мы увидим в окне синусоиду, которая перестраивается при каждом изменении размеров окна, сохраняя свое положение относительно заданной системы координат.

Однако, анализируя полученный график, мы видим, что на нем вместо непрерывной линии получился набор точек. Эту проблему можно решить, если вместо установки точки мы рисовали бы отрезок ломаной линии функцией `LineTo()`, но тогда мы получим линию черного цвета, поскольку линия рисуется текущим пером.

Создание пера

Создать *перо* можно при помощи функции:

```
HPEN CreatePen(int style, int width, COLORREF color);
```

Параметр `style` определяется макросом и задает тип линии, список его возможных значений приведен в табл. 5.3.

Таблица 5.3. *Макросы, определяющие тип линии*

Макрос	Тип линии
`PS_DASH`	Пунктирная линия (`---`)
`PS_DASHDOT`	Штрихпунктирная линия (`-.-`)
`PS_DASHDOTDOT`	Штрихпунктирная линия (`-..-`)
`PS_DOT`	Точечная линия (`...`)
`PS_INSIDEFRAME`	Сплошная линия внутри области

Таблица 5.3 *(окончание)*

Макрос	Тип линии
PS_NULL	Прозрачное перо
PS_SOLID	Сплошная линия

Параметр `width` задает ширину пера в логических единицах. Если ширина пера установлена в 0, то линии рисуются в 1 пиксел независимо от режима рисования.

Примечание

- По умолчанию одна логическая единица равна одному пикселу.
- Пунктирные линии рисуются только при ширине пера в 1 пиксел.

И наконец, параметр `color` задает цвет пера. Как задать цвет, мы уже рассматривали, но далее, в табл. 5.4, приведем список чистых цветов. Дело в том, что перу всегда присваивается *чистый цвет*, и если заданный цвет не является чистым, то линии будут рисоваться ближайшим чистым цветом, за исключением стиля `PS_INSIDEFRAME` и при ширине линии более 1 пиксела.

Таблица 5.4. *Значения параметров макроса RGB для генерации чистых цветов*

Цвет	Red, Green, Blue
Темно-красный	128, 0, 0
Светло-красный	255, 0, 0
Темно-зеленый	0, 128, 0
Светло-зеленый	0, 255, 0
Темно-синий	0, 0, 128
Светло-синий	0, 0, 255
Темно-желтый	128, 128, 0
Светло-желтый	255, 255, 0
Темно-бирюзовый	0, 128, 128
Светло-бирюзовый	0, 255, 255
Темно-сиреневый	128, 0, 128
Светло-сиреневый	255, 0, 255
Черный	0, 0, 0
Темно-серый	128, 128, 128

Таблица 5.4 *(окончание)*

Цвет	Red, Green, Blue
Светло-серый	192, 192, 192
Белый	255, 255, 255

После создания перо выбирается в контексте устройства при помощи функции:

```
HGDIOBJ SelectObject(HDC hdc, HGDIOBJ hpen);
```

где указываются контекст устройства вывода и дескриптор созданного функцией `CreatePen()` пера. В качестве примера установим синее перо толщиной два пиксела в программе построения системы координат:

```
HPEN hpen;
hpen = CreatePen(PS_SOLID,2,RGB(0, 0, 255));
SelectObject(hdc,hpen);
```

Нетрудно убедиться, что линии действительно стали синими и в два раза толще.

Можно и не создавать перо, а воспользоваться готовыми перьями Windows. В этом случае дескриптор пера можно получить при помощи функции `GetStockObject()`:

```
HGDIOBJ GetStockObject(int);
```

указывая в качестве параметра соответствующий макрос:

- `BLACK_PEN` — черное перо;
- `WHITE_PEN` — белое перо;
- `NULL_PEN` — прозрачное перо.

Примечание

Поскольку функция может возвращать различные объекты, то для возвращаемого значения необходимо указывать явно преобразование типа, например:

```
HPEN hpen = (HPEN)GetStockObject(BLACK_PEN);
```

Перед выходом из программы все созданные перья необходимо удалить (за исключением системных), поскольку каждое вновь созданное перо занимает определенные ресурсы, которые автоматически не освобождаются при переходе на другое перо. Сделать это нужно функцией `DeleteObject()`:

```
BOOL DeleteObject(HGDIOBJ hpen);
```

Переделаем немного программу вывода графика синусоиды с учетом возможности создавать и менять перья в процессе вывода. Будем выводить оси координат синей линией толщиной 2 пиксела, а кривую — сплошной красной линией толщиной также 2 пиксела, в этом случае мы можем выбрать шаг цикла по оси x в 3 пиксела. Здесь мы воспользуемся тем обстоятельством, что функция `LineTo()` перемещает текущую позицию в конец линии. Определение перьев вынесем отдельно в сообщение `WM_CREATE`, а их удаление — в `WM_DESTROY`. В листинге 5.7 приведен текст преобразованной программы.

Листинг 5.7

```
const double PI = 3.14159;
HPEN hpen1, hpen2;
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
       WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       PAINTSTRUCT ps;
       RECT rt;
       int a, b, x_scr, y_scr, h_scr;
       double x, y, h_x;
       switch(message)
       {
       case WM_CREATE :hpen1 = CreatePen(PS_SOLID,2,RGB(0, 0, 255));
              hpen2 = CreatePen(PS_SOLID,2,RGB(255, 0, 0));
              break;
       case WM_PAINT : hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
              GetClientRect(hwnd, &rt);
              a = rt.right/2;
              b = rt.bottom/2;
              SelectObject(hdc,hpen1);     // Синее перо
              MoveToEx(hdc,0,b,NULL);
              LineTo(hdc,2*a,b);
              MoveToEx(hdc,a,0,NULL);
              LineTo(hdc,a,2*b);
              h_scr = 3;
              h_x = PI*h_scr/a;
              SelectObject(hdc,hpen2);     // Красное перо
              MoveToEx(hdc,0,b,NULL);
              for (x=-PI,x_scr=0; x<PI; x+=h_x,x_scr+=h_scr)
                     {
                            y = sin(x);
                            y_scr = b - y*b;
```

```
                        LineTo(hdc, x_scr, y_scr);
                    }
                EndPaint(hwnd,&ps);
                break;
        case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
                break;
        case WM_DESTROY:DeleteObject(hpen1);
                DeleteObject(hpen2);
                PostQuitMessage(0);
                break;
        default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
        }
        return 0;
}
```

В результате работы программы получаем более привлекательный график, который приведен на рис. 5.11.

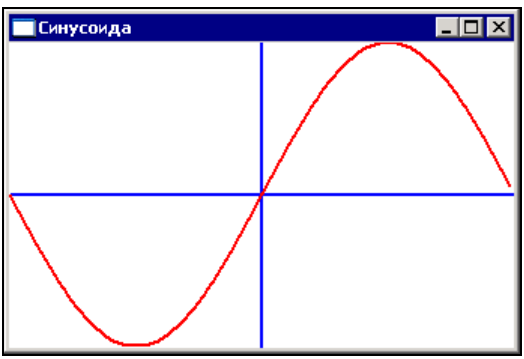

Рис. 5.11. Вывод графика функции сплошной линией

Настройка графического режима

Как показал предыдущий пример, построение графика функций происходит довольно неуклюже. Действительно, нам всегда нужно помнить, что система координат имеет начало в левом верхнем углу окна, а ось y направлена вниз. Поскольку мы привыкли строить графики в декартовой системе координат, нам приходится каждый раз пересчитывать физические координаты в координаты экранные. Все это можно делать, но система программирования предоставляет набор функций, которые позволят упростить процесс и установить такую систему координат, которая необходима при решении задачи. Можно задать размер выводимой области, его физические размеры, а также

новое начало координат и направление координатных осей. Но вначале рассмотрим возможные режимы отображения графики.

Режимы отображения

По умолчанию устанавливается графический режим MM_TEXT, при котором одна логическая единица равна 1 экранному пикселу. Этот режим обычно применяется для вывода текста, но при выводе графики обычно используют другие режимы.

Примечание

Установка режима отображения не меняет ни размера окна, ни разрешающей способности, а лишь изменяет способ преобразования логических координат в экранные пикселы.

Для установки текущего режима отображения используется функция SetMapMode():

```
int SetMapMode(HDC hdc, int mode);
```

где параметр mode определяет графический режим и принимает одно из заданных значений:

- MM_TEXT — одна логическая единица равна 1 пикселу (этот режим выбран по умолчанию);
- MM_LOMETRIC — одна логическая единица равна 0,1 миллиметра;
- MM_HIMETRIC — одна логическая единица равна 0,01 миллиметра;
- MM_LOENGLISH — одна логическая единица равна 0,01 дюйма;
- MM_HIENGLISH — одна логическая единица равна 0,001 дюйма;
- MM_TWIPS — одна логическая единица равна 1/12 точки принтера или 1/1440 дюйма;
- MM_ISOTROPIC — режим отображения логических единиц с эквивалентным масштабированием по осям координат.
- MM_ANISOTROPIC — режим отображения логических единиц с различным масштабированием по осям координат.

Определение логических размеров окна

При использовании режимов отображения MM_ISOTROPIC и MM_ANISOTROPIC необходимо задать размеры окна в логических координатах. Здесь нужно учитывать то обстоятельство, что с этими логическими координатами мы будем обращаться к графическим функциям, где они интерпретируются как имеющие тип int, в связи с чем логические координаты часто не совпадают с фи-

зическими координатами. Для примера вернемся к предыдущей задаче, график которой приведен на рис. 5.11. У рассматриваемой функции `sin(x)` аргумент `x` меняется в диапазоне (-π; π), а сама функция принимает значения в диапазоне (–1; 1). Если бы мы задали логический размер окна (6,28; 2), то вряд ли мы получили бы в окне вывода что-либо разумное. Поэтому мы введем масштабный множитель и зададим размер так: (628; 400), т. е. умножим `x`-координату на 100, а `y`-координату — на 200.

Примечание

При задании логических размеров окна лучше задавать их как можно ближе к соотношению реальных размеров окна, иначе толщина вертикальных и горизонтальных линий может существенно отличаться.

Логические размеры окна определяются функцией `SetWindowExtEx()`:

```
BOOL SetWindowExtEx(HDC hdc, int x, int y, LPSIZE size);
```

Функция принимает контекст устройства `hdc` и логические размеры `x` и `y`, возвращает ненулевое значение при успешном завершении. Если последним параметром передан адрес структуры `SIZE`, то там будет сохранена информация о предыдущем размере окна, если она не нужна, указывается `NULL`.

Определение области вывода

Для режимов отображения `MM_ISOTROPIC` и `MM_ANISOTROPIC` необходимо указать и физический размер области экрана в пикселах. Этот размер может быть как меньше, так и больше фактического размера окна и определяется вызовом функции `SetViewportExtEx()`:

```
BOOL SetViewportExtEx(HDC hdc, int x, int y, LPSIZE size);
```

Эта функция имеет такой же набор параметров, что и предыдущая, но `x,y` сейчас определяет физические размеры области вывода.

Примечание

Задание размера окна отрицательным числом приводит к изменению направления оси координат.

Задание начала системы координат

Осталось определить новое начало системы координат. По умолчанию начало координат, т. е. точка с координатами (0; 0), находится в левом верхнем углу окна (точнее клиентской области). Мы можем разместить начало координат в любой точке области вывода при помощи функции `SetViewportOrgEx()`:

```
BOOL SetViewportOrgEx(HDC hdc, int x, int y, LPPOINT point);
```

Функция принимает контекст устройства hdc, координаты нового начала координат (x,y) в экранных координатах и указатель на структуру point для хранения старого начала координат. Если последний параметр NULL, предыдущее начало координат не сохраняется.

Для демонстрации использования последних рассмотренных функций перепишем в программе вывода графика синусоиды обработчик сообщения WM_PAINT. Текст нового обработчика сообщения WM_PAINT для программы построения графика функции с определением логических размеров окна и переносом начала координат приведен в листинге 5.8.

Листинг 5.8

```
  case WM_PAINT : hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
                  GetClientRect(hwnd, &rt);
// Установка режима
                  SetMapMode(hdc,MM_ANISOTROPIC);
// Установка логических размеров вывода, ось y направлена вверх
                  SetWindowExtEx(hdc,628,-400,NULL);
// Установка физических размеров на все окно
                  SetViewportExtEx(hdc,rt.right,rt.bottom,NULL);
// Установка начала координат в центр окна
                  SetViewportOrgEx(hdc,rt.right/2,rt.bottom/2,NULL);
// Сейчас работаем в логических координатах
                  SelectObject(hdc,hpen1);
                  MoveToEx(hdc,-314,0,NULL);
                  LineTo(hdc,314,0);
                  MoveToEx(hdc,0,200,NULL);
                  LineTo(hdc,0,-200);
                  SelectObject(hdc,hpen2);
                  x_scr = -314;
                  MoveToEx(hdc,x_scr,0,NULL);
                  for (x = -PI; x < PI; x += 0.01, x_scr++)
                  {
                      y = sin(x);
                      y_scr = y*200;
                      LineTo(hdc, x_scr, y_scr);
                  }
                  EndPaint(hwnd,&ps);
                  break;
```

Преобразование системы координат мы выделили жирным шрифтом. Выбран режим MM_ANISOTROPIC и логические размеры [628; 400], а физические разме-

ры — фактический размер окна. Поскольку при указании логических размеров мы задали размер по вертикали отрицательным числом, то ось y новой системы координат сейчас направлена, как и принято, вверх. Начало же координат мы установили в центр окна (рис. 5.12).

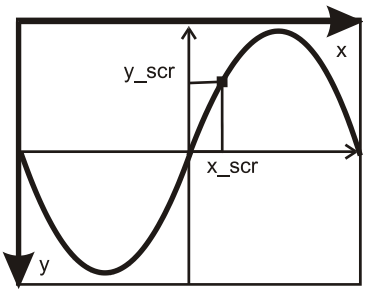

Рис. 5.12. Преобразование системы координат

Если сравнить текст нового обработчика сообщения с предыдущим, то можно убедиться, что вычисления упростились и стали более наглядными.

Создание кисти

Кисть используется для заполнения фона всего окна при его создании или замкнутой области внутри окна. Сплошная кисть создается при помощи функции `CreateSolidBrush()`:

```
HBRUSH CreateSolidBrush(COLORREF color);
```

и устанавливается функцией `SelectObject()`, например:

```
HBRUSH hbrush = CreateSolidBrush(RGB(255, 255, 0));
SelectObject(hdc,hbrush);
```

Штриховая кисть создается функцией `CreateHatchBrush()`:

```
HBRUSH CreateHatchBrush(int nIndex, COLORREF color);
```

где первый параметр `nIndex` определяет тип штриховки и может принимать следующие значения:

- `HS_BDIAGONAL` — слева направо и снизу вверх;
- `HS_CROSS` — горизонтальная и вертикальная штриховка;
- `HS_DIAGCROSS` — под углом в 45 градусов;
- `HS_FDIAGONAL` — слева направо и сверху вниз;
- `HS_HORIZONTAL` — горизонтальная штриховка;
- `HS_VERTICAL` — вертикальная штриховка.

Второй параметр, как и раньше, обозначает цвет линии штриховки. Пример создания штриховой кисти:

```
HBRUSH hbrush = CreateHatchBrush(HS_CROSS,RGB(0, 128, 0));
SelectObject(hdc,hbrush);
```

Кисть также должна быть удалена при завершении работы программы функцией `DeleteObject()`.

Примечание

Перед удалением кисти ее нужно освободить заданием новой кисти или определением стандартной кисти.

Имеется набор системных кистей, которые могут устанавливаться функцией `GetStockObject()`, как мы это сделали, определив стандартную кисть при создании окна в одном из следующих макросов:

- `BLACK_BRUSH` — черная кисть;
- `DKGRAY_BRUSH` — темно-серая кисть;
- `GRAY_BRUSH` — серая кисть;
- `LTGRAY_BRUSH` — светло-серая кисть;
- `NULL_BRUSH` — нулевая кисть;
- `WHITE_BRUSH` — белая кисть.

Системные кисти не нужно удалять при завершении программы.

После всего вышеизложенного нам будет несложно написать простую тестовую программу (листинг 5.9), которая показывает заполнение графических объектов сплошной и штриховыми кистями.

Листинг 5.9

```
HBRUSH hbrush,h_brush[6];
char *str = "сплошное заполнение";
char *hstr[] = {"HS_BDIAGONAL – слева направо и снизу вверх",
       "HS_CROSS - горизонтальная и вертикальная штриховка",
       "HS_DIAGCROSS - под углом в 45 градусов",
       "HS_FDIAGONAL – слева направо и сверху вниз",
       "HS_HORIZONTAL - горизонтальная штриховка",
       "HS_VERTICAL - вертикальная штриховка"};
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
       WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       PAINTSTRUCT ps;
```

```
        int i;
        int nIndex[] = {HS_BDIAGONAL,HS_CROSS,HS_DIAGCROSS,
               HS_FDIAGONAL,HS_HORIZONTAL,HS_VERTICAL};
        switch(message)
        {
        case WM_CREATE :hbrush = CreateSolidBrush(RGB(255, 255, 0));
               for (i = 0; i < 6; i++)
               h_brush[i]=CreateHatchBrush(nIndex[i],RGB(0, 128, 0));
               break;
        case WM_PAINT : hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
               SelectObject(hdc,hbrush);
               Ellipse(hdc,1,1,40,40);
               TextOut(hdc,50,11,str,strlen(str));
               for (i = 0; i < 6; i++)
               {
               SelectObject(hdc,h_brush[i]);
               Rectangle(hdc,1,41+i*40,40,80+i*40);
               TextOut(hdc,50,51+i*40,hstr[i],strlen(hstr[i]));
               }
               EndPaint(hwnd,&ps);
               break;
        case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1); break;
        case WM_DESTROY :DeleteObject(hbrush);
               for (i = 0; i < 6; i++) DeleteObject(h_brush[i]);
               PostQuitMessage(0); break;// Завершение программы
        default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
        }
        return 0;
}
```

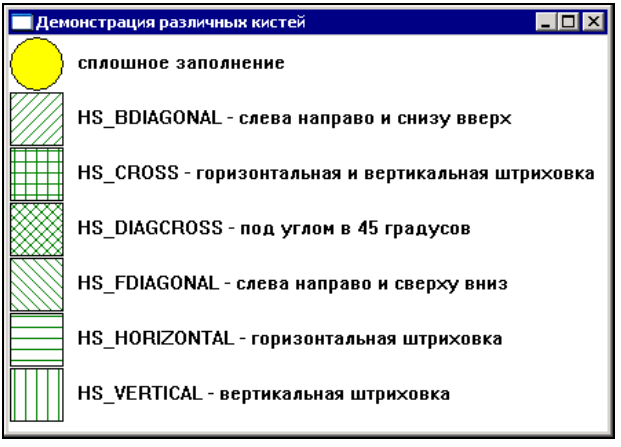

Рис. 5.13. Заполнение различными кистями

Здесь мы определили дескрипторы кистей и текстовые строки на глобальном уровне, причем определили их в виде массивов, что позволило организовать цикл для перебора всех 6 штриховых кистей.

В результате работы программы получим картинку, изображенную на рис. 5.13.

Работа с текстом

До сих пор мы выводили текст, используя стандартный шрифт по умолчанию. Сейчас посмотрим, как можно установить другой шрифт для вывода текста, а также использовать различные возможности его оформления.

Цвет текста и фона

При выводе текста функцией `TextOut()` имеется возможность установить цвет фона и текста при помощи пары функций: `SetBkColor()` и `SetTextColor()`:

```
COLORREF SetBkColor(HDC hdc, COLORREF color);
COLORREF SetTextColor(HDC hdc, COLORREF color);
```

Обе функции принимают дескриптор контекста устройства `hdc` и цвет `color`, а возвращают предыдущий цвет или `CLR_INVALID` в случае ошибки.

Примечание

Функция `SetBkColor()` определяет также фон между линиями для штриховой кисти.

Имеется еще одна функция `SetBkMode()`, которая управляет режимом отображения фона при выводе текста:

```
int SetBkMode(HDC hdc, int mode);
```

Эта функция также получает дескриптор контекста устройства `hdc` и `mode` — режим отображения, принимающий одно из двух значений:

- `OPAQUE` — цвет фона при выводе текста будет определяться текущим, заданным функцией `SetBkColor()`, установлено по умолчанию;
- `TRANSPARENT` — цвет фона при выводе текста не изменится.

Например, так можно установить вывод синего текста на желтом фоне:

```
SetBkColor(hdc,RGB(255,255,0));
SetTextColor(hdc,RGB(0,0,128));
```

Получение метрики текста

При помощи функции `GetTextMetrics()` можно получить информацию о текущем шрифте, установленном для окна. Функция получает дескриптор кон-

текста устройства и заполняет структуру `TEXTMETRIC` информацией о текущем шрифте.

```
BOOL GetTextMetrics(HDC hdc, TEXTMETRIC* tm);
```

Переменная имеет множество полей, содержащих характеристики шрифта, но в настоящее время нас интересуют лишь те, которые характеризуют размер шрифта (рис. 5.14).

Рис. 5.14. Основные характеристики шрифта

Построим тестовую программу для демонстрации текстового вывода шрифтом по умолчанию (листинг 5.10). Покажем различное фоновое заполнение, установку цвета текста и выведем основные характеристики шрифта.

Листинг 5.10. Вывод метрики шрифта, заданного по умолчанию

```
char str[] = "Текст для вывода в окне";
void Outtext(HDC hdc, int y, long tm, char *height)
{
       char rw[40],s[10];
       ltoa(tm,s,10);
       strcpy(rw,height);
       strcat(rw,": ");
       strcat(rw,s);
       TextOut(hdc,1,y,rw,strlen(rw));
}
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
       WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       PAINTSTRUCT ps;
       TEXTMETRIC tm;
       switch(message)
       {
       case WM_PAINT : // Перерисовка экрана
              hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
              SetBkColor(hdc,RGB(255,255,0));// Желтый фон
              SetTextColor(hdc,RGB(0,0,128));// Синий шрифт
```

```
                TextOut(hdc,1,1,str,strlen(str));
                SetBkMode(hdc,TRANSPARENT);  // Прозрачный фон
                GetTextMetrics(hdc,&tm);
                Outtext(hdc,20,tm.tmHeight,"tmHeight");
                Outtext(hdc,40,tm.tmInternalLeading,"tmInternalLeading");
                Outtext(hdc,60,tm.tmExternalLeading,"tmExternalLeading");
                Outtext(hdc,80,tm.tmAscent,"tmAscent");
                Outtext(hdc,100,tm.tmDescent,"tmDescent");
                EndPaint(hwnd,&ps);
                break;

        case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1); break;
        case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0);
                break; // Завершение программы
        default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
        }
        return 0;
}
```

Здесь использована написанная нами небольшая функция `Outtext()` — чтобы не писать один и тот же код 5 раз, вместо этого обращаемся к этой функции и передаем ей необходимые параметры, в том числе и поле структуры `TEXTMETRIC` для вывода в окне его значения.

Обратите внимание, что первая строка на рис. 5.15 отображается с желтым фоном, поскольку по умолчанию работает параметр `OPAQUE` функции `SetBkMode()`. Однако, после того как мы установили параметр `TRANSPARENT` вызовом функции:

```
SetBkMode(hdc,TRANSPARENT);
```

то остальной вывод будет идти на белом фоне.

Отметим, в заключение, что высота шрифта определяется суммой высоты букв и межстрочным расстоянием:

```
Height = tmHeight + tmExternalLeading;
```

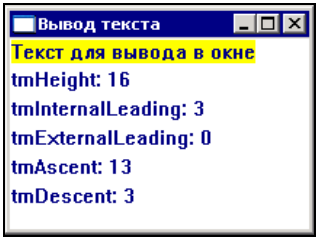

Рис. 5.15. Вывод характеристик шрифта

Определение длины строки

Иногда при выводе текста необходимо определить длину строки в логических единицах. Это бывает нужно или для определения позиции последующего вывода, или для организации переноса строки, когда она не входит в одну экранную строку. Задача не столь проста, как может показаться на первый взгляд, поскольку если шрифт не является моноширинным, то символы имеют различную ширину. К счастью, имеется специальная функция, которая выполнит за нас эту работу:

```
BOOL GetTextExtentPoint32W(HDC hdc, LPCWSTR str, int len,
                                    LPSIZE size);
```

где `hdc` — дескриптор контекста устройства, `str` — выводимая строка, `len` — длина этой строки и `size` — указатель на структуру `SIZE`:

```
struct SIZE
{ LONG cx;     // Ширина
  LONG cy;     // Высота
};
```

Так, если мы допишем в нашу предыдущую программу пару строк:

```
SIZE size;
GetTextExtentPoint32(hdc,str,strlen(str),&size);
```

то из переменных `size.cx` и `size.cy` можно извлечь и вывести в окно значения ширины и высоты строки `str`. Проделайте это самостоятельно.

Системные шрифты

Операционная система имеет набор встроенных шрифтов, которые может использовать прикладная программа, выбрав их при помощи функции `GetStockObject()`, а затем переключиться на нужный шрифт функцией `SelectObject()`. В табл. 5.5 приведены макросы, определяющие эти шрифты.

Таблица 5.5. *Макроимена стандартных шрифтов*

Макрос	Шрифт
ANSI_FIXED_FONT	Шрифт с фиксированным размером символов
ANSI_VAR_FONT	Шрифт с переменной шириной символов
DEVICE_DEFAULT_FONT	Шрифт по умолчанию
DEFAULT_GUI_FONT	Шрифт графического интерфейса по умолчанию
OEM_FIXED_FONT	OEM – шрифт (кириллицы нет)

Таблица 5.5 *(окончание)*

Макрос	Шрифт
SYSTEM_FONT	Системный шрифт
SYSTEM_FIXED_FONT	Системный шрифт (устаревший)

Для тестирования стандартных шрифтов допишем в начало предыдущей программы несколько строк:

```
HFONT oldFont, newFont;
newFont = (HFONT)GetStockObject(ANSI_FIXED_FONT);
oldFont = (HFONT)SelectObject(hdc,newFont);
```

Первой строкой мы определяем дескрипторы `newFont` для нового и `oldFont` для предыдущего шрифта. Обычно стараются сохранять дескриптор предыдущего объекта, чтобы иметь возможность к нему вернуться, но, если такой потребности нет, можно использовать функцию `SelectObject()` без возвращаемого значения:

```
SelectObject(hdc, oldFont);
```

Если добавить эти три строки перед выводом текста, то текст будет выводиться выбранным шрифтом. Меняя макроопределения различных шрифтов, можно посмотреть, чем отличается выводимый текст, а также его метрика.

Примечание

Обе функции `GetStockObject()` и `SelectObject()` требуют явного преобразования типа, в нашем случае к `(HFONT)`.

Освобождать ресурсы, занятые встроенными шрифтами, не нужно.

Определение произвольных шрифтов

Кроме встроенных шрифтов, в программе может использоваться любой шрифт, зарегистрированный в системе. Для того чтобы программа могла осуществлять вывод выбранным шрифтом, его необходимо создать функцией `CreateFont()`:

```
HFONT WINAPI CreateFont(int Height, int Width, int Escapement,
                        int Orientation, int Weight, DWORD Ital,
                        DWORD Underline, DWORD StrikeThru, DWORD Charset,
                        DWORD Precision, DWORD ClipPrecision,
                        DWORD Quality, DWORD Pitch, LPCSTR FontName);
```

где необходимо задать значение параметров:

- `Height` — высота шрифта;
- `Width` — ширина шрифта;
- `Escapement` — угол наклона строки текста относительно горизонтальной оси в десятых долях градуса;
- `Orientation` — угол наклона каждого символа относительно горизонтальной оси в десятых долях градуса;
- `Weight` — насыщенность (жирность) текста, лежит в диапазоне [0; 1000]. (400 — нормальный текст, 700 — жирный.) `FW_NORMAL` или 0 задает нормальную жирность;
- `Ital` — ненулевое значение создает наклонный шрифт;
- `Underline` — ненулевое значение создает подчеркнутый шрифт;
- `StrikeThru` — ненулевое значение создает перечеркнутый шрифт;
- `Charset` — определяет множество символов шрифта, обычно задается макросом, например `DEFAULT_CHARSET`;
- `Precision` — задает точность отображения шрифта, определяется макросом, например `OUT_DEFAULT_PRECIS`;
- `ClipPrecision` — определяет, как будут отсекаться символы, не попадающие в видимую область вывода, при помощи макроса, например `CLIP_DEFAULT_PRECIS`;
- `Quality` — качество шрифта: `DEFAULT_QUALITY`, `DRAFT_QUALITY`, `PROOF_QUALITY`;
- `Pitch` — тип и семейство шрифтов. Значение формируется операцией логического сложения для выбранного типа и семейства.

  Тип: `DEFAULT_PITCH`, `FIXED_PITCH`, `VARIABLE_PITCH`.

  Семейство: `FF_DECORATIVE`, `FF_DONTCARE`, `FF_MODERN`, `FF_ROMAN`, `FF_SCRIPT`, `FF_SWISS`;
- `FontName` — указатель на строку, содержащую имя шрифта (до 32 символов).

Примечание

Функция `CreateFont()` не создает шрифт, а лишь настраивает существующий в системе в соответствии с заданными параметрами.

Так, если мы в предыдущей программе заменим строки выбора шрифта на следующие:

```
newFont = CreateFont(24,0,0,0,FW_NORMAL,0,0,0,
                DEFAULT_CHARSET,OUT_DEFAULT_PRECIS,CLIP_DEFAULT_PRECIS,
                DEFAULT_QUALITY, DEFAULT_PITCH | FF_DONTCARE,
                "Times New Roman");
oldFont = (HFONT)SelectObject(hdc,newFont);
```

то в результате получим окно, изображенное на рис. 5.16, где мы добавили еще несколько строк кода для вывода длины и ширины выводимого текста:

```
SIZE size;
char s[30], ls[10];
// Определение размеров строки текста в пикселах
GetTextExtentPoint32(hdc,str,strlen(str),&size);
strcpy(s,"ширина строки: ");
ltoa(size.cx,ls,10);
strcat(s,l);
TextOut(hdc,240,1,s,strlen(s));      // Вывод ширины строки
strcpy(s,"высота строки: ");
ltoa(size.cy,ls,10);
strcat(s,l);
TextOut(hdc,240,20,s,strlen(s));     // Вывод высоты строки
```

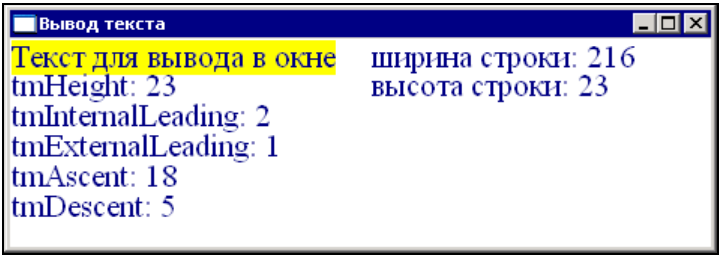

Рис. 5.16. Демонстрация вывода шрифтом "Times New Roman"

Однако перед завершением обработки сообщения необходимо освободить ресурсы, занятые созданным шрифтом. Но мы не можем удалить текущий шрифт, поэтому обычно вначале восстанавливают старый шрифт, и лишь затем удаляют вновь созданный:

```
SelectObject(hdc,oldFont);   // Восстановить шрифт по умолчанию
DeleteObject(newFont);       // Освободить ресурсы
```

Примечание

Здесь мы создаем новый шрифт при каждом вхождении в обработчик сообщения `WM_PAINT`, поэтому и вынуждены при завершении обработки сообщения удалить созданный шрифт, иначе мы "замусорим" память "бесхозными" шрифтами. Однако часто поступают иначе, и создают шрифты при создании окна (сообщение `WM_CREATE`), а уничтожают при его закрытии (сообщение `WM_DESTROY`).

Напишем еще одну небольшую программу (листинг 5.11) для демонстрации использования произвольных шрифтов. Используем возможность изменения ориентации выводимой строки, параметр `Orientation`. Изменим также насыщенность шрифта `Weight` и наклон `Ital`.

Листинг 5.11. Вывод текста по радиальным линиям

```
char str[] = "Наклонный текст";
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
       WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       HFONT oldFont, newFont;
       PAINTSTRUCT ps;
       RECT rt;
       int i, a, b;
       switch(message)
       {
       case WM_PAINT :
              hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
              GetClientRect(hwnd, &rt);
              a = rt.right/2;
              b = rt.bottom/2;
              for (i = 0; i < 3600; i += 200)
                     {
                            newFont = CreateFont(20,0,i,0,700,1,0,0,
                            DEFAULT_CHARSET, OUT_DEFAULT_PRECIS,
                            CLIP_DEFAULT_PRECIS, DEFAULT_QUALITY,
                            DEFAULT_PITCH | FF_DONTCARE,"Arial");
                            oldFont = (HFONT)SelectObject(hdc,newFont);
                            TextOut(hdc,a,b,str,strlen(str));
                            SelectObject(hdc,oldFont);
                            DeleteObject(newFont);
                     }
              EndPaint(hwnd,&ps);
              break;
       case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1); break;
       case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0); break;
       default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
       }
       return 0;
}
```

Результат работы программы приведен на рис. 5.17.

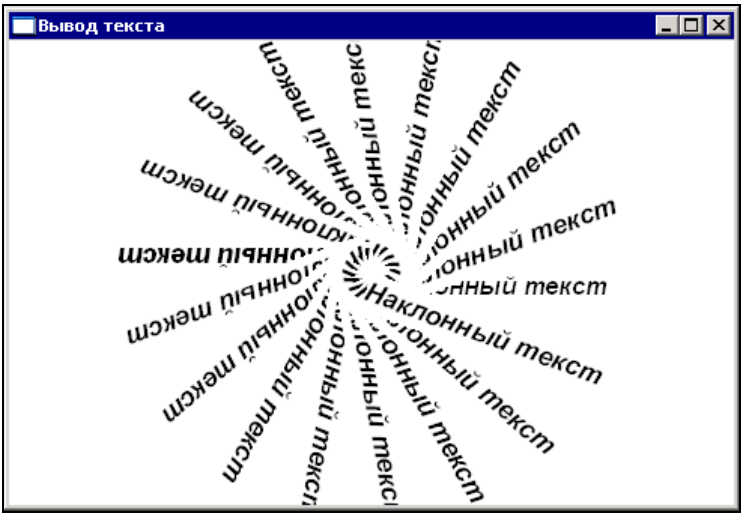

Рис. 5.17. Вывод текста по наклонным линиям из центра окна

Диалог с пользователем

Вся идеология построения Windows-программы ориентирована на взаимодействие с пользователем. Это может быть выбор пункта меню, специальные окна для ввода или выбора данных и т. п. Наиболее простым элементом интерфейса является *окно сообщений*.

Окно сообщений

Часто возникает ситуация, когда программа должна получить согласие на выполнение действий. Для этих целей используется API-функция `MessageBox()`, которая отображает сообщение и ждет реакции пользователя. Никаких дополнительных действий предпринимать не нужно, функция сама создаст и отобразит окно, а после ответа пользователя его уничтожит.

```
int WINAPI MessageBox(HWND hwnd, LPCSTR Text, LPCSTR Caption, UINT Type);
```

где параметры:

- `hwnd` — дескриптор родительского окна;
- `Text` — указатель строки сообщения;
- `Caption` — указатель строки заголовка окна сообщения;
- `Type` — определяет свойства окна сообщения и строится как логическая сумма этих свойств.

Вот некоторые типичные его значения:

- `MB_OK` Отображается кнопка `OK`.
- `MB_OKCANCEL` Отображаются кнопки `OK` и `CANCEL`.
- `MB_ABORTRETRYIGNORE` Отображаются кнопки `ABORT`, `RETRY` и `IGNORE`.
- `MB_YESNOCANCEL` Отображаются кнопки `YES`, `NO` и `CANCEL`.
- `MB_YESNO` Отображаются кнопки `YES` и `NO`.
- `MB_RETRYCANCEL` Отображаются кнопки `RETRY` и `CANCEL`.
- `MB_ICONHAND` Отображается иконка "⊗".
- `MB_ICONQUESTION` Отображается иконка `"?"`.
- `MB_ICONEXCLAMATION` Отображается иконка `"!"`.
- `MB_ICONASTERISK` Отображается иконка `"*"`.

Так, если в предыдущем примере мы хотели бы перед выводом текста спросить пользователя, хочет ли он выводить текст курсивом, то мы могли бы это реализовать перед определением шрифта следующим образом:

```
int k;
i = MessageBox(hwnd, "Будем выводить текст курсивом", "Оформление
текста", MB_YESNO | MB_ICONQUESTION);
k = (i == IDYES)? 1 : 0;
```

а шестым параметром `Ital` функции `CreateFont()` вместо `1` укажем переменную `k`. В результате мы увидим диалоговое окно, изображенное на рис. 5.18.

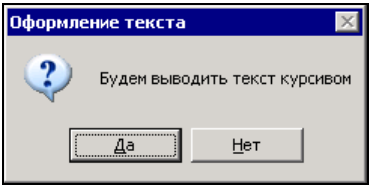

Рис. 5.18. Диалоговое окно MessageBox()

При нажатии кнопки "Да" функция возвратит значение `IDYES`, и в этом случае мы присваиваем переменной `k` значение 1, иначе — 0. Так что, в зависимости от ответа пользователя, текст будет выводиться либо курсивом, либо нормальным шрифтом.

Меню

Ни одна Windows-программа не обходится без *меню*. При помощи выполнения команд меню происходит открытие и закрытие файлов, выбор и настрой-

ка устройства печати, собственно настройки программы и т. п. Причем во всех Windows-программах при создании меню необходимо придерживаться некоторых устоявшихся традиций. Так меню верхнего уровня всегда отображается вверху под заголовком окна, подменю отображаются как выпадающие меню.

Для создания меню необходимо использовать специальный файл — *файл ресурсов*, который для меню является просто текстовым файлом определенной структуры.

Хотя среда программирования предоставляет для этой цели определенный механизм, мы пока не будем его использовать. Проще написать этот файл "вручную", используя, например, Блокнот. Имя файла произвольно, но расширение должно быть rc, месторасположение файла — в папке проекта.

Определение меню имеет следующий вид:

```
MenuName MENU параметр
{
элементы меню
}
```

Значения параметров меню приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6. *Значения параметров меню*

Параметр	Назначение
DISCARDABLE	Неиспользуемое меню может быть удалено из памяти
FIXED	Меню фиксировано в памяти
LOADONCALL	Меню загружается перед использованием
MOVEABLE	Меню может перемещаться в памяти
PRELOAD	Меню загружается при старте программы

Имеется два типа элементов меню: `POPUP` — выпадающее меню, в котором могут содержаться любые элементы меню; `MENUITEM` — обычный элемент меню:

```
MENUITEM "Имя", MenuID[, параметры]
POPUP "Имя", MenuID[, параметры]
```

`Имя` — это текст, отображаемый в пункте меню, `MenuID` — уникальный целочисленный идентификатор, который обычно определяется в заголовочном файле. `[параметры]` являются необязательной частью конструкции и позволя-

ют делать пункты меню неактивными, определяют способ размещения пунктов и т. п. Здесь мы не будем углубляться в подробности.

Рассмотрим создание меню на примере рисования прямоугольника или эллипса, где мы будем в меню задавать тип фигуры, толщину линии и цвет заполнения.

Для создания меню можно воспользоваться любым текстовым редактором, но сохранить в текстовом файле с именем `menu.rc` (листинг 5.12) в папке проекта, а затем добавить его к проекту командой контекстного меню правой кнопки мыши **Add Files to Folder**. При этом курсор мыши должен показывать на папку в рабочей области (Workspace).

Листинг 5.12. Файл menu.rc

```
#include "menu.h"
MAINMENU MENU DISCARDABLE
{
       POPUP "Фигура"
       {
              MENUITEM "Прямоугольник",    RECTANGLE
              MENUITEM "Эллипс",    ELLIPSE
       }
       POPUP "Линия"
       {
              MENUITEM "Тонкая",    THIN
              MENUITEM "Удвоенной толщины", THICK
       }
       POPUP "Цвет заливки"
       {
              MENUITEM "Красный",   RED
              MENUITEM "Зеленый",   GREEN
              MENUITEM "Синий",     BLUE
       }
}
```

Это меню с именем `MAINMENU` содержит три пункта верхнего уровня и выпадающие меню из двух и трех пунктов.

Поскольку мы определили идентификаторы пунктов меню, то необходимо добавить файл включений `menu.h` (листинг 5.13), где эти идентификаторы будут определены. Этот файл можно добавить к проекту, выполнив команду **File | New | C/C++ Header File**.

Листинг 5.13. Файл menu.h

```
#define RECTANGLE    1
#define ELLIPSE      2
#define THIN         3
#define THICK        4
#define RED          5
#define GREEN        6
#define BLUE         7
```

Примечание

Этот файл необходимо включить и в программу, использующую меню.

После создания файла ресурса и заголовочного файла для него необходимо скомпилировать меню (рис. 5.19), поскольку соединение его с Windows-программой осуществляется на этапе компоновки. Это можно сделать, выделив файл ресурса при помощи контекстного меню, вызываемого нажатием правой кнопки мыши.

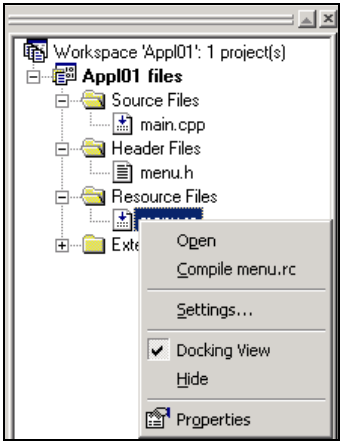

Рис. 5.19. Контекстное меню для файлов ресурса

После компиляции файла ресурсов в папке `Debug` будет создан компилированный файл `menu.res`, который и будет использоваться компоновщиком для построения рабочей программы.

Обработка команд меню

При выборе пункта меню операционная система посылает окну сообщение `WM_COMMAND`. Идентификатор же выбранного пункта меню содержится в млад-

шем слове параметра `wParam`, и для его извлечения можно использовать макрос `LOWORD(wParam)`. Обычно для обработки пунктов меню используют переключатель, например:

```
case WM_COMMAND :
  switch(LOWORD(wParam))
  {
  case ALPHA : ...
  case BETA  : ...
  case GAMMA : ...
  }
break;
```

Реализуем теперь обработку пунктов меню, показанного в листинге 5.14.

Листинг 5.14. Программа рисования прямоугольника или эллипса с использованием меню

```
#include "menu.h"
LRESULT CALLBACK WindowsFunc(HWND hwnd, UINT message,
                             WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
       HDC hdc;
       PAINTSTRUCT ps;
       RECT rt;
       int a,b;
       static int figure, width;
       static COLORREF color;
       HPEN oldpen, hpen;
       HBRUSH oldbrush, hbrush;
       switch(message)
       {
       case WM_CREATE :figure = 0; width = 1;
                       color = RGB(255,255,255);
                       break;
       case WM_COMMAND :
              switch(LOWORD(wParam))
                       {
                       case RECTANGLE: figure = 0; break;
                       case ELLIPSE :figure = 1; break;
                       case THIN :   width = 1; break;
                       case THICK :  width = 2; break;
                       case RED :    color = RGB(255,0,0); break;
                       case GREEN :  color = RGB(0,255,0); break;
                       case BLUE :   color = RGB(0,0,255);
                       }
```

```
                    InvalidateRect(hwnd,NULL,1);
                    break;
        case WM_PAINT :
                    hdc = BeginPaint(hwnd,&ps);
                    GetClientRect(hwnd, &rt);
                    a = rt.right; // Ширина окна
                    b = rt.bottom; // Высота окна
                    hpen = CreatePen(PS_SOLID,width,0);
                    oldpen = (HPEN)SelectObject(hdc,hpen);
                    hbrush = CreateSolidBrush(color);
                    oldbrush = (HBRUSH)SelectObject(hdc,hbrush);
                    if (figure == 0) Rectangle(hdc,a/4,b/4,3*a/4,3*b/4);
                    else Ellipse(hdc,a/4,b/4,3*a/4,3*b/4);
                    SelectObject(hdc,oldpen);
                    SelectObject(hdc,oldbrush);
                    DeleteObject(hpen);
                    DeleteObject(hbrush);
                    EndPaint(hwnd,&ps);
                    break;
        case WM_SIZE :InvalidateRect(hwnd,NULL,1); break;
        case WM_DESTROY : PostQuitMessage(0); break;
        default : return DefWindowProc(hwnd, message, wParam, lParam);
        }
        return 0;
}
```

Хотя текст обработчика сообщения готов, мы еще сделали не все для того, чтобы можно было компилировать программу. Предварительно необходимо подключить меню к оконному классу, т. е. присвоить полю `lpszMenuName` переменной класса окна имя меню:

```
wc.lpszMenuName = "mainmenu";
```

Теперь можно компилировать программу и, в случае отсутствия ошибок, выполнить, получив результат такой же, как показан на рис. 5.20.

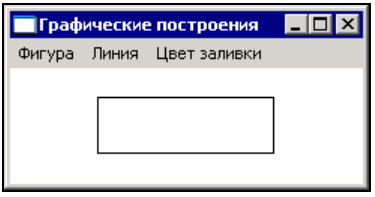

Рис. 5.20. Программа с главным меню

Прокомментируем приведенную в листинге 5.14 программу.

Мы должны описать переменные, которые характеризуют выводимый объект:

- `figure` — тип фигуры;
- `width` — толщина линии;
- `color` — цвет заполнения;
- `oldpen, hpen` — дескрипторы пера;
- `oldbrush, hbrush` — дескрипторы кисти.

Поскольку первые три переменных должны сохранять свое значение при выходе из оконной функции, мы их описываем как статические:

```
static int figure, width;
static COLORREF color;
```

Дескрипторы мы определяем только в одном обработчике, поэтому они могут быть автоматическими переменными. По два дескриптора мы определим, чтобы иметь возможность удалить созданные перо и кисть, не замусорив память.

Так мы создадим перо и кисть:

```
hpen = CreatePen(PS_SOLID,width,0);     // Определяем перо
oldpen = (HPEN)SelectObject(hdc,hpen); // Сохраняем старое перо
hbrush = CreateSolidBrush(color);       // Определяем кисть
oldbrush = (HBRUSH)SelectObject(hdc,hbrush); // Сохраняем старую кисть
```

Поскольку нельзя удалять текущее перо и кисть, нам приходится перед удалением вернуться к значению пера и кисти по умолчанию:

```
SelectObject(hdc,oldpen);    // Выбрать старое перо
SelectObject(hdc,oldbrush);  // Выбрать старую кисть
DeleteObject(hpen);          // Удалить созданное перо
DeleteObject(hbrush);        // Удалить созданную кисть
```

Выбор фигуры для рисования осуществляем оператором `if () ... else ...` Быть может, это не самое лучшее решение, но самое простое:

```
if (figure == 0) Rectangle(hdc,a/4,b/4,3*a/4,3*b/4);
else Ellipse(hdc,a/4,b/4,3*a/4,3*b/4);
```

Фигура строится в ¼ окна.

Для того чтобы фигура сразу была построена при создании окна, в сообщении `WM_CREATE` мы устанавливаем начальное значение параметров:

```
case WM_CREATE :figure = 0; width = 1;
                color = RGB(255,255,255);
                break;
```

При обработке сообщения `WM_COMMAND`, т. е. при выборе пункта меню, мы просто изменяем значения параметров `figure`, `width` или `color` и вызываем функцию `InvalidateRect()`, инициирующую перерисовку окна.

Заключение

На этом мы завершим рассмотрение оконного интерфейса. Мы не ставили перед собой задачу познакомиться со всеми аспектами создания Windows-приложений, поэтому просто провели небольшой обзор для того, чтобы у читателя сложилось некоторое представление о программировании оконного интерфейса. Дело в том, что в настоящее время практически уже никто не пишет программ, основанных на вызовах API-функций. Давно уже создана библиотека MFC, которая представляет библиотеку классов и, по сути, является обложкой для тех же API-функций, но помимо этого предоставляет массу дополнительных возможностей, что существенно облегчает процесс создания полноценного приложения. К тому же и среда программирования MS Visual C++ 6.0 ориентирована на использование MFC и программирование без этих библиотек становится все менее привлекательным занятием.

Мы же преследовали несколько иную цель — показать "изнутри", как осуществляется обработка сообщений. При программировании же с MFC мы даже не имеем возможности увидеть головную функцию `WinMain()`, поскольку она скрыта в среде разработки. В этом есть определенный смысл, действительно, если эта функция практически не меняется, т. е. смысл использовать шаблон этой функции на все случаи жизни, изменяя лишь некоторые ее параметры по мере необходимости. Однако начинать изучение оконного интерфейса с библиотеки MFC довольно проблематично — мы получим массу рецептов, но трудно добиться понимания, как же все это происходит.

Вопросы к главе

1. Типы данных в Windows-приложениях.
2. Что такое дескриптор?
3. Что такое "функция с обратным вызовом"?
4. Какие действия выполняет головная функция `WinMain()`?
5. Назначение оконной функции.
6. Как происходит обработка сообщения о нажатии клавиши на клавиатуре?

7. В чем специфика сообщения `WM_PAINT`?
8. Как извлечь координаты мыши при обработке сообщения о нажатии кнопки мыши?
9. Как заставить систему перерисовать окно?
10. Как создать и уничтожить таймер?
11. Функции рисования: параметры и возвращаемое значение.
12. Как определить размеры окна (клиентской области)?
13. Как обработать сообщение "Изменение размеров окна"?
14. Как создать и установить перо и кисть?
15. Зачем нужно уничтожать созданные перья и кисти при завершении работы приложения и как это сделать?
16. Что такое "Чистый цвет"?
17. Установка режима отображения.
18. Как определить физические и логические размеры окна и для каких режимов это необходимо?
19. Как задать новую систему координат?
20. Установка фона и цвета при выводе текста.
21. Функция вывода текста.
22. Метрика текста.
23. Установка системного и произвольного шрифта.
24. Вывод окна сообщения.
25. Подключение пользовательского меню.

Задание для самостоятельной работы

1. Написать программу, строящую прямоугольник в центре окна. При нажатии на левую кнопку мыши его размеры уменьшаются, а при нажатии на правую кнопку мыши его размеры, соответственно, увеличиваются на единицу.
2. То же самое, только размеры изменяются автоматически через 1 секунду. Нажатие на левую кнопку мыши меняет направление изменения размеров. Правая кнопка завершает работу.
3. Написать программу движения шарика в окне с отражением от стенок по законам геометрической оптики. Начало движения происходит из точки, в которой нажимается левая кнопка мыши. Скорость постоянна, начальный угол определяется случайным образом.

4. Написать программу, которая разрисует окно, как шахматную доску, и при нажатии клавиши мыши выведет окно сообщений с именем клетки, где находится курсор в шахматной нотации.
5. Создать тестовую программу вывода строки текста, меняя размер шрифта от минимально читаемого размера (определите опытным путем) до 1 дюйма.
6. Решите задачу о вычислении интеграла Френеля из *главы 1*, выведите в окне результат и дайте графическую иллюстрацию.

Приложение

Таблица приоритетов операций	
`::`	Доступ к области видимости
`()`	Скобки
`[]`	Выделение элемента массива
`.`	Выделение элемента класса, структуры или объединения
`->`	То же по указателю
`!`	Логическое отрицание
`~`	Побитовое отрицание
`-`	Унарный минус
`++`	Увеличение на 1
`--`	Уменьшение на 1
`&`	Определение адреса
`*`	Обращение по адресу
`new`	Выделение памяти
`delete`	Освобождение памяти
`(тип)`	Преобразование типа
`sizeof`	Определение размера объекта в байтах
`*`	Умножение
`/`	Деление
`%`	Остаток от деления
`+`	Сложение
`-`	Вычитание

Таблица приоритетов операций *(окончание)*	
<<	Сдвиг влево
>>	Сдвиг вправо
<	Меньше
<=	Меньше или равно
>	Больше
>=	Больше или равно
==	Равно
!=	Не равно
&	Битовая операция И
^	Битовая операция "исключающее ИЛИ"
|	Битовая операция ИЛИ
&&	Логическая операция И
||	Логическая операция ИЛИ
?:	Условная арифметическая операция
=	Присваивание
throw	Исключение
,	Операция запятая

Рекомендуемая литература

1. Джосьютис Н. C++. Стандартная библиотека. Для профессионалов. — СПб.: Питер, 2004. — 730 с.: ил.
2. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в C++. Классика Computer Science. 4-е изд.— СПб.: Питер, 2003. — 928 с.: ил.
3. Павловская Т. А. C/C++. Программирование на языке высокого уровня. — СПб.: Питер, 2002. — 464 с.: ил.
4. Павловская Т. А., Шупак Ю. А. C/C++. Структурное программирование: Практикум. — СПб.: Питер, 2003. — 240 с.: ил.
5. Шилдт Г. Программирование на C и C++ для Windows 95. — К.: Торгово-издательское бюро BHV, 1996. — 400 с.: ил.

Дополнительная литература

1. Круглински Д., Уингоу С., Шеферд Дж. Программирование на Microsoft Visual C++ 6.0 для профессионалов/Пер. с англ. — СПб.: Питер; М.: изд. "Русская редакция", 2003. — 864 с.: ил.
2. Эккель Б. Философия C++. Введение в стандартный C++. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2004. — 572 с.: ил.
3. Эккель Б., Эллисон Ч. Философия C++. Практическое программирование. — СПб.: Питер, 2004. — 608 с.: ил.

Предметный указатель

К

Л

М

Н

О

П

С

Т

У

Ф

Ц

Ш