Очередное введение в язык программирования C

Иван Овчинников

29 сентября 2021 г.

Содержание

1 Введение

1.1 От автора

Приветствую, коллеги! Начиная работу над этим документом я не ставил целью написать очередной учебник по языку C или поспорить с трудами Кернигана, Ритчи и Страуструпа. Я думаю, что понял, почему программирование кажется таким сложным: не нашлось ни одного материала, написанного понятным и простым языком. В этом документе я постараюсь не повторить этой досадной ошибки именитых авторов.

> Брайан Керниган: «**Язык C** — инструмент, острый, как бритва: с его помощью можно создать и элегантную программу, и кровавое месиво.»

Да, спасибо классикам за предупреждения, постараемся, также, этой работой не создать кровавое месиво.

1.2 Инструментарий

В этом документе сознательно пропускается подраздел, посвящённый выбору и настройке инструментария, потому что целью документа не является начало очередного раунда борьбы за право какого бы то ни было компилятора и/или среды разработки называться единственно верным, даже с точки зрения отдельно взятого автора отдельно взятой книги. Обозначим лишь популярные варианты для основной тройки операционных систем (Windows, Linux, Mac OS X). Компиляторы:

- clang;
- GCC/MinGW;
- MSVC.

Остальные, такие как, например, Borland C++ можно считать экзотическими и не пытаться их устанавливать без экономического обоснования. Интегрированные среды разработки и программы для редактирования кода:

- CLion;
- Visual Studio;
- VSCode;
- Qt Creator;

- CodeBlocks;
- Notepad++;
- Sublime Text.

Этот список можно продолжать почти бесконечно, поскольку редактировать код можно в абсолютно любом редакторе, позволяющем сохранять простой текст в файлы.

1.3 Немного истории

Первая версия языка С была разработана в 1972м году Деннисом Ритчи для программирования в недавно созданной на тот момент среде UNIX. Язык разрабатывался не государством, а обычными практикующими программистами. В нём сразу были учтены и исправлены все неудобства существовавших на тот момент FORTRAN и PASCAL. Поскольку интерес к языку со временем не пропадал, а технологии развивались, появились редакции языка, такие как C99 (1999 год) C11(2011 год). В языке С есть возможность работать с указателями на физические ячейки оперативной памяти компьютера. Конечно, это небезопасно, но при должной квалификации программиста позволяет получить максимально эффективный код, близкий к языку ассемблера и даже машинным кодам конкретного процессора. С является компилируемым процедурным языком со строгой статической типизацией, что позволяет писать максимально безопасный код, и отсеять бОльшую часть ошибок ещё на этапе компиляции проекта. На языке С написано огромное количество программ, библиотек, и даже операционных систем. Какая-бы у Вас ни была установлена операционная система, очень вероятно, что она написана на С. На языке С пишут драйверы для периферийного оборудования, программируют контроллеры для космической аппаратуры, пишут высокоскоростные приложения. Помимо этого, сейчас стремительно набирает популярность такое направление, как «умная техника» и «интернет вещей». Именно из-за этих трендов язык С за последние пару лет снова поднялся в рейтинге TIOBE на лидирующие места. Какой бы язык программирования вы ни изучали, знание языка С нужно потому что языки высокого уровня делают много вещей одной командой, а если Вы хотите не просто стать программистом, а быть хорошим программистом - вы должны понимать, что там, внутри, происходит на самом деле. Знание языка С можно сравнить с умением ездить на автомобиле с механической коробкой передач: коробка-автомат резко снижает порог вхождения в участники дорожного движения, но, зачастую настолько ухудшает качество управления автомобилем, что это приводит к самым печальным последствиям.

2 Основные понятия

2.1 Компиляция

Прежде, чем говорить о языках программирования и о том, что такое компиляция, как она работает и прочих интересных вещах, нам необходимо познакомиться с понятием, которое будет сопровождать весь курс и в целом всю программистскую жизнь - это понятие имени. Имя - это некий символьный идентификатор (переменная, контейнер) для некоторого числа (числом в свою очередь является адрес ячейки памяти, куда записывается значение). Именовать можно как переменные, так и функции. Простейший пример - запись равенства: `name = 123456`. Различие между именем и числом задает признак числа, в программах для компьютеров признаком числа является первый символ, имя (идентификатор) не должно начинаться с цифры. Таким образом компиляторы однозначно могут определить, что является именем, а что числом. Это отличие накладывает на программиста очевидное ограничение: невозможность создать идентификаторы, начинающиеся с цифр. Также, чтобы не создавать неоднозначности в поведении программы нельзя, чтобы имена в рамках одной программы повторялись. Общий алгоритм работы со всеми компилируемыми языками, в том числе C++ выглядит следующим образом:

1. программист пишет текст программы на каком-либо языке программирования, в нашем случае это C;
2. при помощи программы-транслятора и, зачастую, ассемблера этот текст преобразуется в исполняемые машинные коды, этот процесс, обычно, состоит из нескольких этапов и называется общим словом «компиляция»;
3. исполняемые коды запускаются на целевом компьютере (чаще всего, это сервер или персональный компьютер пользователя).

Применим этот общий алгоритм для написания первой программы. Предполагается, что на данный момент у Вас установлена либо среда разработки, либо текстовый редактор и компилятор по отдельности, чтобы иметь возможность повторить этот и все последующие примеры самостоятельно.

Первая программа, файл `program.c` Для написания программы, откроем выбранный текстовый редактор или среду программирования, и напишем следующие строки (важно отличать заглавные и строчные буквы, то есть, например `Int` и `int` - это разные слова, и первое, написанное с заглавной буквы, будет не понято компилятором):

```c
/*
 * Project: yet another basic C guide
 * Author: Ivan I. Ochinnikov
 * program.c
 */
#include <stdio.h>
int main(int argc, char** args) {
    printf("Hello, World!\n");
    return 0;
}
```

Запуск компиляции и исполнение программы В зависимости от выбранного инструментария и ОС процесс компиляции (трансляции) и запуска программы на исполнение может незначительно отличаться, далее будут приведены несколько вариантов. Естественно, что не нужно выполнять их все, а следует выбрать один, который сработает именно с Вашим набором инструментов. Трансляция (компиляция):

```
      clang -o program program.c
(или) gcc -o program program.c
```

Запуск будет отличаться только для Windows (символами доллара и угловой скобки обозначены приглашения unix-терминала и командной строки windows, соответственно):

```
non-windows $ ./program
    windows > .\program.exe
```

Далее в тексте в целях демонстрации будет использоваться запуск в стиле non-windows, а также, будет опускаться демонстрация этапа компиляции (кроме случаев, когда сам процесс компиляции отличается).

2.2 Шаблон программы

Как и программы на любом другом языке, программы на языке C имеют ряд обязательных элементов, также называемых шаблоном программы. Рассмотрим эти элементы подробнее на примере только что написанной первой программы (2.1). Некоторые, незначительные аспекты, будут рассмотрены сразу и полностью, комментарии, например, но некоторые будут рассмотрены поверхностно, поскольку являются масштабными, сложными для понимания фундаментальными механизмами языка, которым будут посвящены целые специальные разделы.

Комментарии Некоторые среды разработки оставляют в шапке файла комментарии об авторе и дате создания файла. Некоторые команды разработки регламентируют такие комментарии и рекомендуют их написание каждым участником. Комментарий это любой текст, написанный для удобства программиста и игнорируемый компилятором. Комментарии бывают как однострочные, так и многострочные. В редких случаях можно встретить внутристрочные комментарии, но их лучше стараться не использовать, они считаются дурным тоном, поскольку резко снижают читаемость кода.

> **Комментарий** - это фрагмент текста программы, который будет проигнорирован компилятором языка.

Очень старые компиляторы допускали только комментарии в стиле `/* xxx */`, сейчас допустим также стиль `// xxx`, завершается такой комментарий концом строки (то есть вся оставшаяся строка, после символов `//` будет проигнорирована компилятором). Комментарии в коде важны, особенно для описания и пояснения неочевидных моментов, но важно соблюсти баланс и не превратить программу в один сплошной комментарий, иногда прерывающийся на работающий код.

Директивы препроцессора это такие команды, которые будут выполняться не просто до запуска программы, но даже до компиляции.

> Есть мнение, что C/C++ программисты - это не программисты на языке C/C++, а программисты на языке препроцессора используемых ими компиляторов.

В директивах препроцессора подключаются внешние заголовочные файлы, и определяются некоторые абсолютные значения проекта. Обратите внимание, что директивы препроцессора это достаточно сложный инструмент, и использовать его, например, только для определения константных значений - не лучшее архитектурное решение. Для нашего проекта нам понадобится директива `#include <stdio.h>` - эта директива подключит библиотеку стандартного ввода вывода в наш проект, что позволит нам "общаться"с пользователем нашей программы, используя терминал операционной системы (командную строку в терминах Windows)

Функция `main(){}` это точка входа в программу. Программа может состоять из огромного числа файлов и функций, но операционная система как-то должна понять, откуда ей начинать исполнение программы. Такой точкой начала исполнения является функция `main` которая должна быть написана именно так:

```
int main(int argc, char** args)
```

более подробно о функциях, их синтаксисе и аргументах мы поговорим позднее, на данном этапе можно просто запомнить такое (или же упрощённое `int main()` описание главной функции любой программы на языке С. Далее в фигурных скобках пишется так называемое «тело» программы, то есть именно те операторы, функции и алгоритмы, которые являются программой. По сути, всё наше программирование будет происходить либо в этой функции, либо будет довольно тесно с ней связано.

Возврат из функции `return;` это оператор явно завершающий выполнение функции `main` и, соответственно, программы. Все операторы, кроме директив препроцессора, комментариев и описаний тел функций должны заканчиваться точкой с запятой.

> **Внимание!** Далее Вы прочитаете тезис, который является значительным упрощением реальной ситуации. Автор пошёл на такое упрощение по двум причинам: во-первых, поскольку в классическом С дела обстояли именно так, а в современных компьютерах ситуация меняется настолько быстро, что никакой текст не сможет оставаться актуальным, и во-вторых, поскольку целью данного документа не является детальное описание архитектур современных операционных систем.

Поскольку программа написанная на языке С работает на одном уровне с операционной системой, а не в средах виртуализации, как это происходит в Java, например, она должна сообщить операционной системе, что она отработала нормально. Это делается посредством возврата в качестве результата работы программы кода ноль. В нашем случае, оператор `return` сообщает код `0`, говорящий об успешности завершения работы программы. Такой возвратный код - исторически сложившаяся договорённость между программистами: ненулевой код означает аварийное завершение программы и сообщает системе, что программа завершена некорректно и необходимо дополнительно и явно освобождать занятые ею ресурсы.

3 Базовый ввод-вывод

3.1 Форматированный вывод

Общение с пользователем на чистом C происходит через консоль. Для того, чтобы выводить какую-либо информацию для чтения пользователем - используется функция `printf();` предназначенная для форматированного вывода некоторого текста в консоль. Функция описана в заголовке `stdio.h`, поэтому мы и включили данный заголовок в нашу программу. Какого рода форматирование применяется при выводе строк в консоль? Существуют два основных инструмента придания выводу необходимого вида: экранированные последовательности (escape sequences) и заполнители (placeholders).

Экранированная последовательность это буква или символ, написанные после знака обратного слэша (\), которые при выполнении программы будут на что-то заменены. Самые часто используемые это:

- `\'` - одинарная кавычка;
- `\"` - двойная кавычка;
- `\?` - вопросительный знак;
- `\\` - обратный слэш;
- `\0` - нулевой символ;
- `\b` - забой (backspace);
- `\f` - перевод страницы - новая страница;
- `\n` - перевод строки - новая строка;
- `\r` - возврат каретки;
- `\t` - горизонтальная табуляция;
- `\v` - вертикальная табуляция;
- `\nnn` - произвольное восьмеричное значение;
- `\xnn` - произвольное шестнадцатеричное значение;
- `\unnnn` - произвольное Юникод-значение.

Чтобы убедится что это правильно работает выведем еще одну строку (в дополнение к коду со страницы 7) с надписью «Это новая строка» на следующую строку нашей консоли. Также добавим к ещё одной строке символ табуляции чтобы увидеть как он работает. И сразу рассмотрим экранированную последовательность `\\` она делает ни что иное как добавляет символ обратного слэша в наш текст. Аналогичным образом работают и другие символьные экранирования. Это нужно, чтобы компилятор мог отличить, например, символ двойных кавычек в строке, написанной программистом, от символа двойных кавычек, завершающего строку в коде программы. Обратите внимание что не поставив в конец строки последовательность `\n` мы заставим компилятор постоянно писать текст на одной строке, не переходя на новую. И наконец `\0` сообщает компилятору что строка закончилась. Даже если у нас есть еще какие-то символы до закрывающих кавычек компилятор их просто проигнорирует. Добавим в код программы ещё пару строк, таким образом тело функции `main` должно принять следующий вид:

```
1     printf("Hello, world!\n");
2     printf("This is a new row");
3     printf("This is \"\t\"tab\n");
4     printf("This is \\ symbol\n");
5     printf("This is a terminant \0 it ends a string");
6
```

Запустив программу мы можем убедиться, что всё работает так, как мы описали в тексте: сначала идёт приветствие миру, на новой строке сообщение о том, что это новая строка, далее на той же строке (ведь мы не переходили на новую) демонстрация пробела и символа табуляции. На последних двух строках происходит демонстрация обратного слэша и терминанта, видно, что остаток строки не был выведен на экран.

```
$ ./program
Hello, World!
This is a new rowThis is "      "tab
This is \ symbol
This is terminant
$
```

Заполнитель это также специальная последовательность, но она говорит компилятору, что на место этой последовательности необходимо вставить некий аргумент, который будет передан после строки, через запятую, при вызове данной функции `printf();`. Заполнитель начинается со знака процента и обозначает тип вставляемой переменной.

- `%%` - символ процента;
- `%i (%d)` - целые числа (integer, decimal);
- `%ld (%li)` – целые числа (long int);
- `%s` - для вывода строк;
- `%c` – для вывода символов;
- `%p` - для вывода указателей;
- `%f` – для вывода чисел с плавающей точкой;
- `%lf` – для вывода чисел с плавающей точкой удвоенной точности;
- `%x (%X)` - беззнаковое целое в шестнадцатеричном виде.

Как видно, существуют заполнители для всех основных типов данных и для экранирования самого символа начала заполнителя. Заполнители можно и нужно комбинировать в строках как между собой, так и с экранированными последовательностями. Умение работать с заполнителями пригодится не только в консоли, но и при формировании локализованных сообщений в более сложных приложениях, в том числе на других языках.

```
1     int a = 50;
2     printf("%d\n", a);
3     printf("%5d\n", a);
4     printf("%05d\n", a);
5     printf("%.2f\n", 5.12345);
6     printf("Placeholders are \"%5d%%\" of formatting\n", a);
7
```

Так первый оператор выведет просто число. Второй это же число, но оставив для его отображения пять пробельных символов (два окажутся заняты разрядами числа 50, и ещё три останутся свободными, слева от числа). Третий оператор форматированного вывода впишет число в пять отображаемых символов, но заполнит пустоту нулями (запись с лидирующими нулями, leading zeroes). Четвёртый осуществит вывод числа с плавающей точкой, ограничив дробную часть двумя отображаемыми символами, при этом важно, что не произойдёт математического округления, символы просто не отобразятся, такое отображение часто используется для демонстрации денежных значений в долларах и центах, рублях и копейках, и пр. Последний же оператор выведет на экран надпись, информирующую о том, что заполнители - это 50% форматирования:

```
$ ./program
50
   50
00050
5.12
Placeholders are "   50%" of formatting
$
```

Для заполнителей `%d`, `%i`, `%f` часто используются дополнительные параметры, такие как количество знаков после запятой, например, `%.2f` или минимальное количество знаков для отображения целого числа `%5d`. Также в пользу оператора форматированного вывода говорит тот факт, что, например, в C++ стандартный вывод в консоль осуществляется с помощью команды `std::cout`, которая не поддерживала форматирование строк вплоть до принятия стандарта C++20.

3.2 Форматированный ввод

Поговорив о выводе в консоль нельзя не сказать о пользовательском вводе данных. Один из способов пользовательского ввода данных в программу - это использование функции `scanf();`. Предложим пользователю ввести некоторое число:

```
1     int input;
2     printf("Please, enter a number: ");
3     scanf("%d", &input);
4
```

Функция `scanf();` – это функция форматированного ввода. Принцип её работы очень похож на принцип работы функции `printf();` В двойных кавычках мы указываем в виде заполнителя тип переменной, которую ожидаем от пользователя, а в качестве дополнительного аргумента указываем адрес той переменной, в которую хотим записать введённые пользователем данные. Получается процесс прямо противоположный выводу. В этой функции можно использовать все те же заполнители, что и при выводе, поэтому пользователь может ввести как целые числа, так и символы, строки и числа с плавающей точкой.

```
1     printf("You entered %d, let's double it: %d\n", input, input * 2);
```

Выведем в консоль изменённое число, введённое пользователем, чтобы удостовериться, что всё работает. В результате запуска программы, консоль застынет в ожидании

пользовательского ввода. Пользователь сообщает консоли (терминалу операционной системы) об окончании ввода нажатием клавиши `Enter`:

```
$ ./program
Please, enter a number: 50
You entered 50, let's double it: 100
$
```

Функция форматированного ввода позволяет не только приводить пользовательский ввод к нужному типу данных, но и считывать разные сложные пользовательские вводы из множества переменных, разделённых символами.

4 Переменные и типы данных. Базовые манипуляции с данными

4.1 Переменные в программе на языке С

Это некие *именованные контейнеры*, тип которых строго описан при их создании, каждый из которых может содержать одно и только одно значение в единицу времени. Названия или имена переменных не могут начинаться с цифр и спецсимволов, а также не должны повторяться (2.1).

Идентификатор переменной - это её имя, которое для программы не существует без привязки к типизации, то есть для объявления переменной мы пишем её тип и название, что вместе составляет идентификатор. По идентификатору переменной мы можем записать в неё значение, прочитать текущее значение, узнать адрес хранения этого значения, и т.д. **Литерал** - это число или строка, которые мы пишем в тексте явно. Литералу нельзя присвоить значение, литерал это и есть значение. Литерал (ни строковый, ни числовой) нельзя изменить. Если изменить какой-то литерал, то это будет уже другой литерал, явно изменённое в коде значение. Также есть термины `lvalue` и `rvalue`. Если очень сильно упрощать, то их можно отождествить с идентификатором и литералом: `lvalue` - это то, *куда* присваивается, `rvalue` - это то, *что* присваивается

Переменные делятся на целочисленные, символьные, указатели и числа с плавающей точкой (англ. floating point, дробное число). Все, кроме указателей и символьных переменных бывают как знаковыми так и беззнаковыми. То есть в знаковых самый старший бит в двоичной записи этих переменных отводится под определение, является ли число отрицательным, или положительным, в беззнаковых все биты используются для записи числа, что увеличивает его диапазон возможных значений, но позволяет записать только положительные числа. В классическом С нет булевого типа, вместо него используется целое число и значения нуля для **лжи** и *любое* другое число для **истины**, обычно это единица. Об указателях и булевой алгебре мы будем подробно говорить в одном из последующих разделов.

Тип	Пояснение	Спецификатор формата
char	Целочисленный, самый маленький из адресуемых типов, диапазон: [−128, +127]	%c
short short int	Тип короткого целого числа со знаком, диапазон: [−32 768, +32 767]	%hi
int	Основной тип целого числа со знаком, диапазон: [−2 147 483 648, +2 147 483 647]	%i или %d
long long int	Тип длинного целого числа со знаком, диапазон: [−2 147 483 648, +2 147 483 647]	%li или %ld
long long long long int	Тип двойного длинного целого числа со знаком, диапазон: [−9 223 372 036 854 775 808, +9 223 372 036 854 775 807]	%lli
float	Тип вещественного числа с плавающей запятой (одинарной точности)	%f (автоматически преобразуется в double для printf())
double	Тип вещественного числа с плавающей запятой (двойной точности)	%f(%F) (%lf(%lF) для scanf()) %g %G %e %E
long double	Тип вещественного числа с плавающей запятой, ставящийся в соответствие формату повышенной точности с плавающей запятой	%Lf %LF %Lg %LG %Le %LE

1: Основные типы данных в языке C

Символьный тип не такой простой, как может показаться на первый взгляд. Если вкратце, то в переменной типа `char` хранится число, которое можно интерпретировать как символ. По умолчанию тип знаковый, то есть может содержать значения от −128 до +127, но символы в таблице ASCII[1], что совершенно логично, имеют только положительные индексы, поэтому в читаемый текст в стандартном C можно превратить только латинский алфавит и некоторый набор знаков и символов, находящиеся на первых 128-ми местах в этой таблице. Также можно явно указать компилятору, что мы хотим использовать эту переменную как беззнаковую, для этого используется ключевое слово `unsigned`, что позволит нам хранить только положительные числа гораздо больших значений. Например для переменной типа `unsigned char` это будут значения от 0 до 255, а для переменной типа `unsigned int` можно можно хранить значения от 0 до +4.294 миллиардов с какими-то копейками. В более поздних редакциях языка были

[1] American standard code for interaction interchange

утверждены типы `long long` и другие, для хранения 64-х разрядных целых чисел.

```
1     unsigned char symbol = 75;
2     printf("75 stands for: %c\n", symbol);
3
```

Соответственно, программа выше выведет в терминал информацию о том, какой именно символ в таблице ASCII соответствует позиции 75, по большому счёту, можно было обойтись и без ключевого слова `unsigned`, но когда мы говорим именно о символах, а не просто о минимальных по занимаемому размеру целых числах, принято выделять их:

```
$ ./program
75 stands for: K
$
```

Числа с плавающей точкой (дробные) представлены двумя типами: четырёхбайтный `float` и восьмибайтный `double` (также называемый long float). Хранятся в памяти в неявном виде, а разделённые на мантиссу экспоненту и знак, что делает их одними из самых сложных в работе[2].

> Важно, что компилятор, при работе с текстом программы считает все литералы в коде числами типа `double`, а значит код вида `float var = 0.123;` будет отмечен компилятором как неверный, поскольку компилятор не в состоянии положить восемь байт информации в четырёхбайтную переменную. То есть, если мы хотим инициализировать переменную типа `float`, то нам нужно специальным образом пометить литерал: `float var = 0.123f;`. Символ `f` в конце явно указывает на то, что литерал имеет тип `float`.

При работе с числами с плавающей точкой нужно обращать особенное внимание на тип переменной, поскольку сравнение внешне одинаковых чисел разных типов с почти стопроцентной вероятностью даст ложный результат, в отличие от сравнения простых целых чисел. Об операциях и операторах сравнения мы поговорим позже, сейчас просто приведём наглядный пример того, как это работает.

[2] Здесь имеется ввиду внутренняя работа самого компьютера, а не работа с такими типами с точки зрения программиста. Именно из-за сложности, многие старые процессорные архитектуры не имели возможности работать с переменными такого типа

```
    float real = 5,345f; // 4 bytes
    double realdouble = 5,345; // 8 bytes
    printf("float and double: %d\n", real == realdouble);

    int a = 10;
    int b = 10;
    printf("integers: %d\n", a == b);

```

Запустим код, выводящий результаты сравнений и убедимся в том, что прямое сравнение дробных чисел допускать нежелательно. Обычно, если есть необходимость в сравнении дробных чисел применяют сравнение с некоторой допустимой точностью, например, до третьего или пятого знака после запятой. О таких сравнениях мы поговорим позднее.

```
$ ./program
float and double: 0
integers: 1
$
```

Иногда бывает важным отметить, что рассмотрение языка С для решения задач на уровне персональных компьютеров может отличаться от рассмотрения языка С для решения прикладных задач аппаратуры (микроконтроллеров и микропроцессорных операционных систем). Так может оказаться важным, что тип данных `int` не всегда является тридцатидвухразрядным, а его размер аппаратно-зависимый. Для разрешения подобных неточностей в более новых стандартах языка вводятся и принимаются гарантированно фиксированные по размеру переменные

Тип данных - указатель. Как было сказано - переменная это именованный контейнер. У каждого такого контейнера есть свой собственный адрес в оперативной памяти. Язык С позволяет узнать этот адрес и работать с ним. Оператор взятия адреса это знак амперсанд (&), написанный перед именем переменной. То есть у любой переменной всегда есть значение и адрес где это значение хранится (немного подробнее на стр. 59). Для вывода в консоль адреса используется специальный заполнитель - `%p`.

```
    printf("Variable a has value: %d \n", a);
    printf("Variable a stored at: %p \n", &a);

```

При неоднократном запуске кода можно обратить внимание, что первые цифры в

адресе всегда остаются неизменными, а последние меняются редко, это связано с тем, что в современных операционных системах пользователю для его работы чаще всего выделяется некоторое адресное пространство, которое потом просто переиспользуется и перезаписывается. При запуске точно такого же кода на Вашем компьютере, Вы увидите, что адрес хранения переменной наверняка будет отличаться, это нормально.

```
$ ./program
Variable a has value: 10
Variable a stored at: 0x7ffe6aa136cf
$
```

4.2 Базовая арифметика

Раз уж в предыдущем разделе мы коснулись арифметических выражений, поговорим немного об арифметике.

Простые арифметические операции. В языке C поддерживаются все базовые арифметические операции, такие как сложение, вычитание, умножение, деление. Операции бинарной арифметики (булевой алгебры), такие как `И`, `ИЛИ`, `НЕ`, `ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ`, `СДВИГИ`. А также все вышеперечисленные операции с последующим присваиванием в первую переменную. Для начала, инициализируем переменную типа `int` значением, например, `70`, и выведем ее в консоль. Мы можем производить с этой переменной все привычные базовые арифметические манипуляции, ровно также, как мы можем производить эти манипуляции с литералом, который ей присваивается:

```
1     int variable = 70;
2     printf("The variable = %d\n", variable);
3     printf("The variable = %d\n", variable + 10);
4     variable = variable + 50;
5     printf("The variable = %d\n", variable);
6     variable = 123 + 50 * 12;
7     printf("The variable = %d\n", variable);
8
```

То есть, нам доступны операции сложения, умножения, вычитания и деления. Как видно в результате работы программы, есть прямая зависимость между действительным значением переменной и порядком присваивания в неё значения, так в третьем выводе значение равно 120, то есть $70 + 50$, а значит во втором выводе присваивания нового значения $70 + 10$ в переменную `variable` не произошло.

```
$ ./program
The variable = 70
The variable = 80
The variable = 120
The variable = 723
$
```

Оператор деления заслуживает особенного внимания, поскольку у него есть два режима работы, отличающие этот оператор от привычной нам арифметики: если мы производим операции с целыми числами такими как `int`, `short` или `char` оператор деления всегда будет возвращать только целые числа, **отбросив дробную часть**. Это происходит из-за оптимизаций компилятора, то есть если операнды - это целые числа, то и результатом по мнению компьютера может быть только целое число, а из-за строгости типизации мы не можем положить в целочисленную переменную значение с плавающей точкой.

Таким образом, отслеживание точности вычислений полностью возлагается на плечи программиста. Важно, что компилятор нам в этом помогает, хоть и не делает всю работу за нас. Компилятор, при преобразовании операций автоматически приводит типы операндов к наиболее подходящему и широкому. То есть, если мы, например, складываем два числа `int` и `char`, то `char` будет автоматически расширен до `int`, потому что максимальное значение `char` точно поместится в переменную типа `int`, а максимальное значение `int` точно никак не сможет поместиться в переменную с типом `char`. Точно также если умножать `int` и `float`, то `int` будет преобразован во `float` по той же причине - `int` совсем никак не умеет работать с плавающей точкой, а `float` вполне может содержать число без дробной части. Из-за этого языки C/C++ считаются слабо типизированными.

```
1      variable = 10;
2      variable = variable / 3;
3      printf("The variable = %d\n", variable);
4
5      float var = 10;
6      var = var / 3;
7      printf("The var = %f\n", var);
8
```

В примере выше, обратите внимание, что переменная `variable` не была инициализирована, а ей просто было присвоено значение. Это сделано потому, что данный участок кода является продолжением кода примеров простой арифметики из предыду-

щего параграфа. При использовании оператора деления с целочисленными операндами теряется точность вычислений, что недопустимо.

> Чтобы оператор деления отработал в не целочисленном режиме, нужно, чтобы хотя бы один операнд был не целочисленным.

Чаще всего целочисленные переменные используют в качестве счётчиков, индексов и других вспомогательных переменных, поэтому математические операции с ними весьма распространены.

```
$ ./program
The variable = 3
The var = 3.333333
$
```

Деление по модулю. Также особенного внимания заслуживает оператор получения остатка от деления, иногда называемый оператором взятия по модулю. Записывается как символ `%` и возвращает остаток от целочисленного деления первого числа на второе:

```
1     int remain = variable % 5;
2     printf("Division remainder of %d by %d: %d\n", variable, 5, remain);
3     variable = variable + 50;
4     printf("The variable = %d\n", variable);
5     variable += 50;
6     printf("The variable = %d\n", variable);
7
```

Любые арифметические операции можно выполнить с последующим присваиванием в первую переменную. То есть это означает, что запись вида `variable = variable + 50;` можно сократить до `variable += 50;` и запустив следующий код мы можем убедиться, что начальное значение переменной увеличилось сначала на 50, а затем ещё на 50.

```
$ ./program
Division remainder of 3 by 5: 3
The variable = 53
The variable = 103
$
```

Инкремент и декремент. Так, бегло рассмотрев арифметику в языке C нельзя не упомянуть об операторах увеличения и уменьшения значения переменной на единицу с последующим присваиванием. Они называются операторами инкремента (++) и декремента (−−). Это унарный оператор, поэтому записывается со своим операндом строго без пробелов: `variable++;` и редко используется как самостоятельный оператор на отдельной строке. У операторов инкремента и декремента есть два вида записи: префиксный и постфиксный. Их отличает время применения текущего значения и его изменения. При постфиксной записи, сначала происходит применение текущего результата, а затем его изменение, а при префиксной записи - сначала изменение, а затем применение. Например:

```
    variable = 50;
    printf("1. Postfix increment: %d\n", variable++);
    printf("1. Next line of code: %d\n", variable);
    variable = 50;
    printf("2. Prefix increment: %d\n", ++variable);
    printf("2. Next line of code: %d\n", variable);

```

В результате выполнения этого кода мы можем видеть на экране следующий результат:

```
$ ./program
1. Postfix increment: 50
1. Next line of code: 51
2. Prefix increment: 51
2. Next line of code: 51
$
```

4.3 Булева алгебра и двоичные вычисления

Двоичная система счисления представляет особенный интерес для области информационных технологий, поскольку вся электроника работает по принципу «есть напряжение или нет напряжения», единица или ноль. Все числа из любых систем счисления в результате преобразуются в двоичную и представляются в виде набора единиц и нулей. Так для записи десятичного числа `116` используется двоичная запись `1110100`. Преобразование из системы счисления с бОльшим основанием в систему счисления с меньшим основанием производится последовательным делением исходного числа на основание системы счисления и записи остатков такого деления в младшие разряды.

Например:

$$\frac{116}{2} = \frac{58(0)}{2} = \frac{29(0)}{2} = \frac{14(1)}{2} = \frac{7(0)}{2} = \frac{3(1)}{2} = \frac{1(1)}{2} = 1 < 2$$

В этом примере полученные остатки от деления записаны в скобках и можно обратить внимание на то, что они полностью повторяют запись числа `116` показанную ранее в зеркальном отражении. Обратное преобразование - это последовательное умножение разрядов числа на величину каждого разряда с их аккумулированием к общему результату:

$$1110100 = 0 * 2^0 + 0 * 2^1 + 1 * 2^2 + 0 * 2^3 + 1 * 2^4 + 1 * 2^5 + 1 * 2^6 =$$
$$0 * 1 + 0 * 2 + 1 * 4 + 0 * 8 + 1 * 16 + 1 * 32 + 1 * 64 =$$
$$4 + 16 + 32 + 64 = 116$$

Поскольку двоичная система счисления является основной для компьютерной техники, помнить, например, значения степеней двойки - обычно, хорошее подспорье в работе.

Булева алгебра это один из базовых, но вместе с тем один из самых мощных инструментов в программировании. Двоичные вычисления выполняются быстрее десятичных, поскольку являются естественными для цифровой техники. В бинарной алгебре используются операторы `И (&)`, `ИЛИ (|)`, `НЕ (~)`, `ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (^)` и операции `СДВИГА` влево ($<<$) и вправо($>>$). Работают эти операторы относительно разрядов двоичного представления чисел, где истина – это единица, а ложь - это ноль.

> Разница между логическими и арифметическими бинарными операторами в представлении операндов: логические оперируют числовыми литералами и переменными целиком, а арифметические числами поразрядно. Работу логических операторов мы рассмотрим в следующем разделе.

Условия истинности двоичных арифметических операторов следующие:

- оператор `И` возвращает единицу только когда оба операнда единицы;

операнд	операнд	результат
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- оператор `ИЛИ` возвращает единицу когда хотя бы один из операндов единица;

операнд	операнд	результат
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

- оператор `НЕ` возвращает единицу когда операнд равен нулю;

операнд	результат
0	1
1	0

- оператор `ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ` возвращает единицу когда операнды различаются.

операнд	операнд	результат
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

На основе этих знаний мы можем для примера написать программу, меняющую местами значения переменных без использования третьей, вспомогательной и быть уверенными, что переполнения переменных не произойдёт, как это могло бы произойти, например, при использовании сложения и обратного вычитания. Объявим две переменных `a` и `b`, присвоим им значения и выведем их в консоль. Также подготовим вывод измененных значений `a` и `b` в консоль:

```
    char a = 11;
    char b = 15;
    printf("a = %d, b = %d\n", a, b);
    // here will be the swapping algorithm
    printf("a = %d, b = %d\n", a, b);

```

Далее, напишем некую конструкцию, которая при детальном изучении не представляет из себя никакой магии. В переменную `a` нужно будет записать результат вычисления `a ^ b`, в переменную `b` нужно будет записать результат вычисления `b ^ a` и наконец в переменную `a` нужно будет записать результат вычисления `a ^ b`, в коде ниже будет приведена сразу сокращённая запись:

```
    a ^= b;
    b ^= a;
    a ^= b;

```

Нужно сразу оговориться, что этот алгоритм может некорректно работать с одинаковыми и отрицательными числами, это будет зависеть от компилятора, поэтому, если включать этот алгоритм в состав более сложных, лучше осуществлять дополнительные проверки. Вывод этой конкретной программы будет следующим:

```
$ ./program
a = 11, b = 15
a = 15, b = 11
$
```

Дополнительно, для написания этого документа был проведён ряд тестов:

```
Test project ~/Documents/c-basic/build
1/7 Test #1: Swap.TwoPosNumbers .....   Passed  0.00 sec
2/7 Test #2: Swap.SamePosNumbers ....   Passed  0.00 sec
3/7 Test #3: Swap.OneNegNumber ......   Passed  0.00 sec
4/7 Test #4: Swap.TwoNegNumbers .....   Passed  0.00 sec
5/7 Test #5: Swap.SameNegNumbers ....   Passed  0.00 sec
6/7 Test #6: Swap.BareOverflow ......   Passed  0.00 sec
7/7 Test #7: Swap.OverflowNumbers ...***Failed  0.00 sec

86% tests passed, 1 tests failed out of 7
Total Test time (real) =   0.04 sec
```

Ожидаемо, не прошёл тест, в котором присутствовало переполнение переменной, этот случай также был отмечен предупреждением компилятора о том, что программист пытается присвоить переменной значение, большее, чем переменная способна вместить.

> Здесь был преднамеренно использован тест с провальным результатом, для более явной демонстрации происходящего внутри алгоритма, и потому что нам не нужна дальнейшая компиляция продакшн кода. Обычно, тест-кейсы с ожидаемым провалом пишутся с инверсией проверки, то есть, если мы ожидаем, что некоторые значения не будут равны эталонным, необходимо проверять значения на неравенство, таким образом все тест-кейсы пройдут успешно.

Рассмотрим происходящее для приведённого примера кода пошагово: оператор ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ выполняется следующим образом: результат будет равен 1 если операнды (в данном случае, разряды двоичного представления числа) различаются и 0 если они совпадают. Изначально имеем две переменных, a и b - число 11 типа char (в двоичном представлении это 00001011), и число 15 (это 00001111). В коде ниже можно наглядно рассмотреть работу оператора ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ:

```
// a = 11   (00001011)
// b = 15   (00001111)
a = a ^ b; //00000100
```

После выполнения первого оператора в переменную a будет положено промежуточное число 00000100 – это цифра 4, а в переменной b останется число 15 (00001111). Ко второму действию мы приходим с начальными значениями: a = 4 (00000100), b = 15 (00001111), производим операцию ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ с последующим присваиванием в переменную b и получаем 00001011 – т.е. b = 11 (00001011).

```
// b = 15   (00001111)
// a = 4    (00000100)
b = b ^ a; //00001011
```

И после выполнения третьего оператора ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ в переменную a будет положено значение 00001111 – это цифра 15.

```
// a = 4    (00000100)
// b = 11   (00001011)
a = a ^ b; //00001111
```

Операции сдвига бывают логические, арифметические и циклические. В языке C реализован логический сдвиг, то есть недостающие разряды при сдвиге заполняются нулями, а выходящие за пределы хранения переменной теряются без возможности восстановления. Итак, допустим, что нам нужно переменную a сдвинуть влево на 3 бита, на самом деле это означает что мы переменную a умножим на 2^3. В примере ниже, переменную b мы сдвинем вправо на 2 бита, это означает, что мы переменную b разделим на 2^2, при этом важно упомянуть, что будет произведено целочисленное деление.

Сдвиг влево числа k на n - это *умножение* $k * 2^n$. **Сдвиг вправо** числа k на n - это *целочисленное деление* $\frac{k}{2^n}$.

Это тоже самое что записать $a*8$ и $b/4$. Просто на маломощных компьютерах выполнится это гораздо быстрее. Бинарная алгебра это большая и интересная тема, на которую написано немало статей и даже книг, но подробное её изучение выходит далеко за рамки знакомства с синтаксическими основами языка. Также важно помнить, что бинарная алгебра не работает с дробными числами по причине их сложного (4.1) хранения.

```
1      a = 15; //00001111
2      b = 11; //00001011
3      printf("a = %d", a);
4      a = a << 3; // 15 * 8
5      printf("a = %d", a); //a = 120; //01111000
6      printf("b = %d", b);
7      b = b >> 2; // 11 / 4
8      printf("b = %d", b); //b = 2; //00000010
9
```

Применять бинарную алгебру можно и в больших проектах, работающих со сложными высокоуровневыми абстракциями. Помимо этого важно помнить, что поддержка бинарных операций есть в подавляющем числе языков программирования. Используя бинарную алгебру можно создавать оптимальные протоколы передачи данных и/или алгоритмы хранения и обработки.

```
$ ./program
a = 15
a = 120
b = 11
b = 2
$
```

Тема битовых операций постепенно теряет свою актуальность, в связи с развитием технологий, скоростей, объёмов. Скорее всего, битовые операции в ближайшем будущем перейдут в разряд узкоспециальных знаний и будут применяться только при программировании микроконтроллеров, несмотря на то, что работа с двоичным представлением чисел открывает перед программистом широкий простор к оптимизации и ускорению собственного кода.

5 Условия, блоки кода, видимость

5.1 Условный оператор

`if()` пожалуй, самый часто используемый в любом языке программирования, в том числе и в языке C оператор. Оператор `if()` позволяет программе принять решение о выполнении или невыполнении того или иного действия в зависимости от текущего состояния. В случае, если условие в круглых скобках выполнится, выполнится и последующий код, который чаще всего пишется в фигурных скобках. Если условие в круглых скобках не выполнится, то все операторы внутри идущих следом фигурных скобок будут проигнорированы.

Например, зададим пользователю вопрос, хочет ли он, чтобы его поприветствовали, для этого опишем переменную `char answer`, которая будет хранить ответ пользователя в виде символа и спросим у пользователя в терминале, хочет ли он, чтобы мы его поприветствовали, выведем на экран строку с приглашением. Далее при помощи уже знакомой нам функции `scanf();` считаем ответ пользователя в переменную, и, в зависимости от пользовательского ввода, программа либо поприветствует пользователя, либо нет, это решение будет принято с помощью оператора `if()`.

```
1     char answer;
2     printf("do you want me to salute you (y/n)? ");
3
4     scanf ("%s", &answer);
5     if (answer == 'y') {
6         printf("Hello, user");
7     }
8
```

`else` Зачастую складываются ситуации, когда нужно выполнить разные наборы действий, в зависимости от результата проверки условия. Для таких случаев используется дополнение к оператору `if()` - оператор `else`, в котором описывается последовательность действий выполняемая в случае если условие в круглых скобках дало ложный результат. Код немного изменится, не будем приводить повторяющиеся части, взаимодействия с пользователем, сконцентрируемся на условном операторе:

Как вы видите, в зависимости от того что ввел пользователь мы реализуем ту или иную ветку оператора `if-else`. Конструкция `if-else` является единым оператором выбора, то есть выполнив код в фигурных скобках после `if` программа не станет выполнять код в `else`, и наоборот.

```
    if (answer == 'y') {
        printf("Hello, user");
    } else {
        printf("I didn't want to salute you anyway");
    }

```

`else if()` Множественный выбор при помощи оператора `if` можно осуществить используя конструкцию `if-else if-else`. Данное усложнение также будет являться единым оператором выбора. Добавим в нашу конструкцию еще одно условие и опишем поведение для ответа «да» и ответа «нет». В этом примере оператором `else` будет непонимание программы того что ввел пользователь. Выведем в консоль надпись «Я не могу понять Ваш ввод».

```
    if (answer == 'y') {
        printf("Hello, user");
    } else if (answer == 'n') {
        printf("I didn't want to salute you anyway");
    } else {
        printf("I can't understand your input");
    }

```

Операторов `else if` в одном операторе выбора может быть сколько угодно, в отличие от оператора `if` и оператора `else` которых не может быть больше одного.

```
$ ./program
do you want me to salute you (y/n)? y
Hello, user
$ ./program
do you want me to salute you (y/n)? n
I didn't want to salute you anyway
$ ./program
do you want me to salute you (y/n)? x
I can't understand your input
$
```

Тернарный оператор. Для короткой или внутристрочной записи условного оператора, а также для присваивания переменных по условию можно использовать **тернарный оператор**, также называемый оператором условного перехода и записываемый с помощью следующего синтаксиса: `(условие) ? истина : ложь`. Например, создадим

три целочисленные переменные a, b, c и зададим двум из них какие-нибудь начальные значения, допустим a = 10 и b = 15. Поставим себе задачу: присвоить переменной c наименьшее из значений a или b. Если мы будем использовать только что изученный нами оператор if-else у нас должен получиться такой код:

```
    int a = 10;
    int b = 15;
    int c;
    if (a > b) {
        c = b;
    } else {
        c = a;
    }

```

Запись условного оператора можно значительно сократить, поскольку в теле оператора происходит выбор: какое значение присвоить в c по условию в круглых скобках. Условие оставляем, а a и b переносим в секции истины и лжи, соответственно. Получим запись вида:

```
    int a = 10;
    int b = 15;
    int c = (a > b) ? b : a;

```

которая будет обозначать, что в случае если a > b, в переменную c запишется значение b, и наоборот если b > a, то в переменную c запишется значение a. Также тернарный оператор можно использовать для удобного форматированного вывода, например опишем функцию printf(); которая будет печатать нам строку, и в зависимости от условия, это будет "true" либо "false":

```
    printf("%s", (1 > 0) ? "true" : "false");
```

Проверим как это работает, и в результате видим true, потому что единица действительно больше нуля.

```
$ ./program
true
$
```

Вложенные условия и сокращения Внутри фигурных скобок конструкций if() находится код программы, поэтому там могут находиться и другие условные операторы.

Условия, расположенные таким образом называются вложенными. Никаких ограничений на использование вложенных условий в языке C нет. В примере ниже показано, что условия всегда выполняются (единица в круглых скобках будет означать, что условие всегда истинно), а комментариями с многоточием показано, где может располагаться код программы.

```
    if (1) {
        // operators
        if (1) {
            // operators
        }
        // operators
    }

```

Также важно отметить, что если после условных операторов следует только один оператор языка, как в примере ниже, то использование фигурных скобок не обязательно, хотя и считается хорошим тоном писать их всегда:

```
    // one operator condirion
    if (1) {
        // single operator
    }

    // also one operator condition
    if (1)
        // single operator

    // another one operator condition
    if (1)
        // single operator
    else
        // single operator

```

При использовании такой записи можно легко допустить ошибку: забыть о необходимости объединения кода фигурными скобками, и предполагать, что несколько операторов могут выполниться по условию без фигурных скобок.

Часто это заблуждение приводит к трудноуловимым ошибкам в коде, когда программа компилируется, запускается, но работает не так, как следует.

5.2 Операции сравнения

Арифметическое сравнение это знакомые и привычные нам со школы операторы «больше» (>), «меньше» (<), «больше или равно» (>=), «меньше или равно» (<=), а также в языке C присутствуют в виде отдельных операторов «проверка на равенство», которая записывается в виде двух знаков равенства (==), и «проверка на неравенство», которая записывается в виде восклицательного знака и символа равенства (!=). Возвращают истину, когда выполняются соответствующие названиям условия и ложь, когда условия не выполняются, что очевидно. Единственное исключение, которое было оговорено ранее (4.1), сравнение разнотипных нецелочисленных значений должно осуществляться через сравнение допустимой дельты этих значений, например:

```
    float f = 0.5f;
    double d = 0.5;
    fouble diff = (f > d) ? f - d : d - f;
    if (diff < 0.00001) {
        // useful code here
    }

```

Логические операторы Их три: это `И (&&)`, `ИЛИ (||)`, `НЕ (!)`. В отличие от арифметических двоичных операторов - логические возвращают истину или ложь т.е. в случае языка C - `1` либо `0` и работают с операндами слева и справа целиком, а не поразрядно. В этом легко убедиться, попытавшись вывести на экран результат сравнения с заведомо неверным форматированием и получив ошибку, говорящую о том, что компилятор ожидал от нас число, а мы хотим его отформатировать в строку.

```
    printf("%s\n", 1 == 1);
```

Некоторые компиляторы выдают ошибку на этапе компиляции, некоторые компилируют такой код, но программа не сможет выполниться и выдаст ошибку **Segmentation fault**, то есть ошибку доступа к памяти (попытка обратиться к недоступной памяти или попытка обратиться к памяти неподобающим образом). В этой конкретной ситуации, мы попытаемся интерпретировать как строку часть памяти, которая находится по адресу 1, что находится далеко за пределами доступа программы. Это поведение (ошибка компиляции или ошибка времени выполнения) зависит от большого количества факторов, таких как тип операционной системы, тип и версия компилятора, версия используемого стандарта языка.

Отдельного внимания заслуживает применение оператора поразрядного (арифметического) `ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ` в качестве логического. В случае такого применения

оператор ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ, фактически, дублирует сравнение на неравенство, это легко объяснить, проведя анализ происходящего с числами при таком сравнении:

```
    int a = 11; //00001011
    int b = 11; //00001011
                // ^ 00000000
    if (a ^ b) {
        printf("numbers are not equal\n");
    }

```

Данный код внутри фигурных скобок оператора `if()` никогда не выполнится, поскольку в С оператор сравнения работает с числами, интерпретируя ноль как ложь, а любое ненулевое значение как истину, мы наблюдаем, что побитовое ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ - это тоже самое, что проверка на неравенство.

- оператор И `(&&)` возвращает истину только когда оба операнда истинны;

операнд	операнд	результат
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- оператор ИЛИ `(||)` возвращает истину когда хотя бы один из операндов истинный;

операнд	операнд	результат
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

- оператор НЕ `(!)` возвращает истину когда операнд ложный;

операнд	результат
0	1
1	0

Используя логические операторы в программе мы можем написать логику практически любой сложности. В языке С нет ограничений на использование сложных условий. Сложные условия это такие, где в круглых скобках выполняется более одного сравнения. Сравнения производятся в порядке заранее оговоренного приоритета. В списке ниже указаны операторы в порядке уменьшения их приоритета:

1. !
2. <, <=, >, >=
3. ==, ! =
4. &&
5. ||

Приведём короткий пример: дана некоторая целочисленная переменная и нужно выяснить, не выходит ли эта переменная за рамки заданных значений, например от нуля до десяти. Условие можно будет скомбинировать так: `x >= 0 && x <= 10`. В случае его истинности - выдадим сообщение о том, что `x` подходит.

```
    int x = 7;
    if ((x >= 0) && (x <= 10)) {
        printf("X Fits!\n");
    }

```

В данной записи мы видим, что сначала `x` сравнивается с нулём, затем с десятью, и в конце результаты будут сравнены между собой.

```
$ ./program
X Fits!
$
```

Самый не приоритетный оператор тернарный, внимательный читатель мог заметить, что он даже не вошёл в список выше, это сделано, поскольку использование тернарного оператора внутри условий нежелательно. Тернарный оператор внутри условий резко снижает читаемость кода и усложняет его интерпретацию. Если Вы сомневаетесь в приоритете сравнений или Вам необходимо описать какое-то очень сложное условие, всегда можно воспользоваться простыми математическими круглыми скобками, задав приоритет операций явно. В таком случае в первую очередь будут выполнены операции в скобках.

5.3 Блоки кода и область видимости

Говоря об операторах языка C и управляющих конструкциях нельзя не сказать о «блоках кода» и «областях видимости». Как видно, условные операторы содержат записи в фигурных скобках. В такие же скобки заключён код функции `main`. Эти скобки

называются «операторными», а то что в них содержится, называется «блоком кода» или «телом» оператора или функции. Все переменные, которые инициализируются внутри блока кода, существуют и «видны» только внутри кодового блока. Поэтому пространство между операторными скобками также называют «областью видимости».

```
    int x = 7;
    if ((x >= 0) && (x <= 10)) {
        int var = 0;
        printf("X Fits!\n");
    }
    printf("%d", var);

```

На этом примере можно увидеть, что мы не можем напечатать значение переменной `var`, поскольку она была создана внутри блока кода оператора `if()` и перестала существовать для нашей программы как только мы вышли за его пределы. Такой код даже не скомпилируется:

```
$ gcc -o program main.c
error: 'var' undeclared (first use in this function);
 did you mean 'char'?
printf("%d", var);
             ^~~
             char
$
```

6 Циклы

Теперь, когда мы узнали, что можно делать в программе с использованием условий, пришло время познакомиться с таким базовым понятием программирования, как цикл.

> Цикл - это одно или несколько действий повторяющихся до тех пор пока не наступит условие, прекращающее эти действия.

С помощью циклов в программировании выполняются все рутинные задачи, такие как поиск значений в больших наборах данных, создание разного рода прогрессий, построение графиков, сортировки, ожидание ответов на запросы, чтение потоков данных и многие другие.

6.1 Операторы циклов

6.1.1 `while()`

Базовый цикл в языке C записывается при помощи ключевого слова `while()` после которого в круглых скобках пишется условие. При истинности данного условия будет выполняться тело цикла, которое в свою очередь пишется в фигурных скобках. Общий внешний вид очень похож на условный оператор, с той лишь разницей, что по окончании выполнения операторов внутри фигурных скобок мы переходим не на следующую строку, а обратно в проверку условия.

Для примера, выведем на экран все числа в заданном промежутке, границы которого мы обозначим как `a` и `b`. Для этого нам необходимо их инициализировать, то есть объявить и задать начальные значения, и пока `a` меньше `b` заходить в тело цикла где мы будем выводить на экран и инкрементировать меньшее число, пока оно не станет равным второму. Как только числа сравняются условие входа в тело цикла перестанет быть истинным, и мы не зайдём в него, оказавшись на следующей после тела цикла строке.

```
1     int a = 10;
2     int b = 20;
3     while (a < b) {
4         printf("%d ", a++);
5     }
6
```

Запустим программу и убедимся что все работает:

```
$ ./program
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
$
```

В данном коде мы использовали оператор инкремента в постфиксной записи, которая означает, что значение переменной `a` сначала будет передано функции вывода на экран, а уже потом увеличено на единицу.

> Один проход тела цикла и возврат в управляющую конструкцию называется **итерацией**, этот термин можно очень часто услышать в беседах программистов, а зачастую и не только в беседах о программировании.

Также допустимо использовать префиксную запись оператора инкремента, при которой, как не сложно догадаться, значение сначала будет увеличено, а уже потом передано функции вывода на экран.

```
1      int a = 10;
2      int b = 20;
3      while (a < b) {
4          printf("%d ", ++a);
5      }
6
```

Запустим снова, чтобы увидеть разницу: после запуска первого варианта мы увидели в терминале значения от 10 до 19, а после запуска второго варианта значения от 11 до 20.

```
$ ./program
11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
$
```

Давайте напишем ещё один пример, в котором подсчитаем сколько чётных чисел в промежутке от `a` до `b`. Для этого нам понадобится циклически пройтись по всем числам от `a` до `b` и в каждой итерации цикла, то есть для каждого числа, сделать проверку, является ли число чётным. Если является, увеличить счётчик чётных чисел для заданного промежутка. Обратите внимание, что приращение значения переменной `a` происходит прямо в проверке условия. Обычно такой код считается трудночитаемым, поскольку сложно сразу обратить внимание на то, что в пятой строке происходит не только сравнение, но и пост-инкремент переменной `a`.

```
    int a = 10;
    int b = 20;
    int evens = 0;
    while (a < b) {
        if (a++ % 2 == 0)
            evens++;
    }
    printf("There are %d even numbers in sequence", evens);

```

После того, как перестанет выполняться условие в скобках, и наш цикл будет завершён, выведем в консоль получившееся количество чётных чисел. Запустим нашу программу и убедимся в правильности ее работы.

```
$ ./program
There are 5 even numbers in sequence
$
```

Программа выдала результат: пять чётных чисел, давайте пересчитаем вручную: 10, 12, 14, 16, 18, значение 20 не войдёт в результат работы программы, поскольку на последней итерации, когда `a = 20` условие в круглых скобках окажется ложным: двадцать не меньше двадцати. А раз условие не выполнено мы не попадаем в тело цикла.

Цикл `while()` используется когда мы не можем достоверно сказать сколько итераций нам понадобится выполнить. На этом примере мы видим что тело цикла может быть любой сложности, оно может содержать как условные операторы так и другие циклы.

6.1.2 `do {} while();`

Простой цикл `while()`, по очевидным причинам, попадает в категорию циклов с предусловием. Сначала программа проверяет условие, затем, по результатам этой проверки, либо выполняет либо не выполняет тело цикла. А раз есть циклы с предусловием, то логично предположить наличие циклов с постусловием. Как ни удивительно, в языке С есть и такой. Это разновидность цикла `while()`, который записывается как ключевое слово `do {тело цикла} while (условие);`, в этой конструкции сначала гарантированно один раз выполнится тело цикла, и только потом будет принято решение, нужно ли выполнять его снова. Такие циклы широко применяются для проверки пользовательского ввода до получения приемлемого результата и для ожидания ответов на запросы, что логично, поскольку глупо было бы ожидать ответ, не послав запрос.

Например, мы пишем калькулятор, и знаем, что в арифметике числа нельзя делить на ноль. Предположим, что наш пользователь этого не знает. Что ж, будем предлагать пользователю ввести делитель, пока он не введёт что-то отличное от нуля. Если пользовательский ввод равен нулю, значит нам нужно спросить его снова. Это и будет условием для очередной итерации цикла. Когда пользователь введёт удовлетворяющее нашему условию число произведём необходимые подсчёты и выведем их результаты в консоль.

```
    int input;
    do {
        printf("Enter a divider for 100, ");
        printf("remember, you can't divide by zero: ");
        scanf("%d", &input);
    } while (input == 0);

    printf("100 / %d = %d", input, 100 / input);

```

Запустим программу. Каждый раз когда мы вводим ноль, программа будет повторно задавать нам вопрос.

```
$ ./program
Enter a divider for 100, remember, you can't divide by zero: 0
Enter a divider for 100, remember, you can't divide by zero: 0
Enter a divider for 100, remember, you can't divide by zero: 5
100 / 5 = 20
$
```

Когда введем любое другое число получим результат нашего деления.

6.1.3 `for(;;)`

Зачастую, складываются ситуации, когда мы точно знаем, сколько итераций цикла нам понадобится, например, когда мы последовательно проверяем содержимое созданного нами числового ряда, или заполняем значениями таблицы, границы которых заранее известны. В конце концов, для подсчёта среднего арифметического некоторого конечного числового ряда. В этих ситуациях принято использовать. Это цикл с предусловием, где заранее отведено место для инициализации переменной-счётчика, условия захода в следующую итерацию цикла и изменения переменной счетчика. В более поздних версиях C (C99) появилась возможность объявлять переменную счетчик прямо в управляющей конструкции.

Для применения более позднего стандарта в проекте, необходимо установить специальный ключ компиляции `-std=c99`, то есть полная команда компиляции исходного кода для транслятора GCC будет выглядеть так:

```
gcc program.c -std=c99 -o program
```

В классическом C необходимо объявить переменную счетчик заранее, а в управляющей конструкции можно только задать ей начальное значение. Условие захода в следующую итерацию цикла это логическое выражение, которое может принимать два значения: истина и ложь. Если условие истинно - идём на следующую итерацию (исполняем тело цикла), если ложно – выходим из цикла и перемещаемся на следующий после цикла оператор.

```
    // classic style
    int i;
    for (i = 0; /*condition*/; /*increment*/) {
        // body
    }

    // C99 and later
    for(int i = 0; /*condition*/; /*increment*/) {
        // body
    }

    // Example:
    int i;
    for (i = 0; i < 5; i++) {
        printf("%d ", i);
    }

```

Цикл из примера выше выведет на экран числа от нуля до четырёх. На каждой итерации мы будем инкрементировать значение `i`, соответственно, пока логическое условие `i < 5` верно, мы будем заходить в тело цикла, а как только `i` станет равным пяти, логическое условие вернет ложь (`0`) и мы из него выйдем.

```
$ ./program
0 1 2 3 4
$
```

6.2 Управление циклами

Операторы, которые осуществляют управление циклами называют операторами безусловного перехода, поскольку они просто перемещают выполнение программы на дру-

гую строку, невзирая ни на что. Программист должен сам описать логику такого перемещения, используя условные операторы.

Оператор `continue;` нужен для того, чтобы программа проигнорировала оставшиеся действия на текущей итерации цикла, часто используется для отбрасывания неподходящих значений при переборе больших объёмов данных. Оператор `continue` просто напросто передаёт управление логической конструкции цикла.

Оператор `break;` используется для того, чтобы выйти за пределы цикла, мы сразу попадаем к следующему после цикла оператору, без передачи управления логической конструкции.

6.3 Практические задачи

Возведение в степень Решим немного более сложную, чем выведение в консоль числовых рядов задачу возведения числа в степень. Язык С не предоставляет оператора возведения в степень по умолчанию, как это делают некоторые другие языки высокого уровня, такие как Python, поэтому для этой математической операции нам нужно подключать специальную математическую библиотеку. Но иногда это может оказаться излишним, ведь не так сложно написать собственную функцию, которая бы делала это.

> Как известно, возведение в степень - это последовательное умножение основания на само себя указанное количество раз.

А раз заранее известно, сколько раз мы будем умножать основание само на себя, это работа для цикла `for(;;)`. Объявим переменную-итератор `i`, переменную-основание, переменную-показатель и переменную, в которую будем сохранять промежуточные и конечный результаты.

```
1     int i;
2     int base;
3     int significative;
4     int result = 1;
5
```

Принцип возведения числа в степень следующий: результатом будет совокупность результатов предыдущих итераций умноженных на основание. А значит и алгоритм будет повторяться столько раз, сколько указано в показателе, на каждом повторении

умножая промежуточный результат на основание, сохраняя произведение обратно в переменную с промежуточным результатом.

```
    for (i = 0; i < significative; i++) {
        result = result * base;
    }

```

Запись вида `result = result * base;` можно сократить до `result *= base;`, и выведем результаты работы цикла в консоль.

```
    for (i = 0; i < significative; i++) {
        result *= base;
    }
    printf("%d powered by %d is %d \n", base, significative, result);

```

Конечно, мы можем спросить у пользователя какое число, и в какую степень он хочет возвести, для этого применим уже привычные нам конструкции. Так, весь код программы будет иметь следующий вид:

```
#include<stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
    int i;
    int base;
    int significative;
    int result = 1;
    printf("Enter base: ");
    scanf("%d", &base);
    printf("Enter significative: ");
    scanf("%d", &significative);
    for (i = 0; i < significative; i++) {
        result *= base;
    }
    printf("%d powered by %d is %d \n", base, significative, result);
}
```

Запустим нашу программу, введем для базы значение два, для показателя десять. Убедимся, что наша программа работает корректно, $2^{10} = 1024$. Естественно, что существуют более оптимальные алгоритмы возведения в степень, например, возведение в степень с использованием свойства чётности степени, $2^{10} = 4^5$, то есть при чётном показателе можно возвести основание в квадрат, а показатель поделить на два, тем самым сократив количество итераций простого цикла, описанного выше, вдвое.

```
$ ./program
Enter base: 2
Enter significative: 10
2 powered by 10 is 1024
$
```

Простое число Решим ещё одну несложную задачу. Напишем программу, которая будет определять, является ли введённое пользователем число простым. Мы напишем не самый быстрый и оптимальный алгоритм, но постараемся использовать все доступные нам конструкции. То есть, эта задача призвана продемонстрировать возможности языка, а не улучшить или заменить существующие, более оптимальные алгоритмы проверки.

> Что такое простое число? Это такое число, которое имеет ровно два делителя с целочисленным результатом - единицу и само себя.

Наша программа будет запрашивать у пользователя число и определять, простое оно или нет. Для этого заведём переменную, и привычными нам функциями, попросим пользователя ввести число, которое положим в неё. Для подсчетов нам понадобятся дополнительные переменные, например, переменная которая будет хранить количество делителей, назовем ее `dividers` и переменная итератор `i` значение которой будет увеличиваться от единицы до введенного пользователем числа.

```
1     int number;
2     int dividers = 0, i = 1;
3     printf("Enter number: ");
4     scanf("%d", &number);
5
```

Поскольку мы не знаем, сколько итераций понадобится, напишем цикл `while`, и пройдемся от единицы, которую мы записали в переменную `i` до введённого пользователем числа. После того как мы переберем все возможные варианты от единицы до введённого пользователем числа выведем в консоль получившийся результат. Напишем введённое число, а дальше предоставим программе выбор ставить ли частицу «не» при помощи заполнителя `%s` и тернарного оператора. В случае истинности условия `dividers == 2` тернарный оператор вернет пустую строку, в случае ложности, вернет частицу «не». Обратите внимание на то, как оператор вывода на экран написан в несколько срок. Такие разделения на несколько строк можно часто увидеть, если оператор длинный и может, например, выйти за пределы экрана.

```
    while (i <= number) {
        // here will be the check algorithm
    }
    printf("Number %d is%s prime",
            number,
            (dividers == 2) ? "" : " not"
          );

```

Итак, что будет происходить на каждой итерации цикла? Мы будем проверять делится ли введённое пользователем число на текущее значение счётной переменной. Если остаток от деления исходного числа на текущий делитель равен нулю, то мы увеличим счетчик количества целочисленных делителей для данного числа.

> Снова обратите внимание, что переменная-итератор, последовательно перебирающая делители, увеличивается прямо в круглых скобках оператора `if`. Таким образом автор хочет подчеркнуть, что в коде, который пишут живые люди, такие конструкции встречаются чаще, чем хотелось бы. Часто даже можно встретить инкремент счётчика прямо в проверке условия захода в тело цикла и это ещё сильнее влияет как на читаемость кода, так и на его понятность.

Тело цикла для нашей задачи примет следующий вид:

```
    if (number % i++ == 0) {
        dividers++;
    } else {
        continue;
    }
    if (dividers == 3)
        break;
```

Если количество целочисленных делителей не изменилось, то мы прекратим текущую итерацию цикла при помощи ключевого слова `continue`. Как мы знаем, оператор `continue` передаст управление в логическую конструкцию цикла, заставив программу проигнорировать все дальнейшие инструкции в рамках текущей итерации. Если количество целочисленных делителей достигнет трёх, что будет означать нецелесообразность дальнейших вычислений, мы разорвем цикл при помощи ключевого слова `break`. Напомним, что операторы `break;` и `continue;` являются операторами безусловного перехода, а значит достигнув их программа передаст управление соответствующей строке безусловно и без предупреждений. И полный получившийся код приложения будет такой:

```c
#include<stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
    int number;
    int dividers = 0, i = 1;
    printf("Enter number: ");
    scanf("%d", &number);
    while (i <= number) {
        if (number % i++ == 0) {
            dividers++;
        } else {
            continue;
        }
        if (dividers == 3)
            break;
    }
    printf("Number %d is%s prime",
            number,
            (dividers == 2) ? "" : " not"
          );
}
```

Естественно, повторимся, этот код можно оптимизировать по множеству направлений, как минимум, сократив как количество проверок, так и границы проверок (нет смысла проверять числа больше, чем $\sqrt{number}$). Дополнительно можно не проверять чётные числа, например.

```
$ ./program
Enter number: 2
Number 2 is not prime
$ ./program
Enter number: 7
Number 7 is prime
$ ./program
Enter number: 457
Number 457 is prime
$ ./program
Enter number: 1457
Number 1457 is not prime
$
```

6.4 Множественный выбор `switch(){}`

Пришло время поговорить об операторе множественного выбора `switch(){}`. Тем более, что теперь мы обладаем всеми необходимыми для этого знаниями. Оператор

множественного выбора используется когда мы хотим описать действия для какого-то ограниченного количества условий. В отличие от оператора `if()`, который может использоваться также и для проверки диапазонов значений.

> Это не совсем точно, потому что `switch(){}` в языке C тоже может использоваться для проверки диапазонов значений, но это довольно редко применяется, а в C++ и других языках может вовсе не работать. Не стоит пугаться, увидев `case 5 ... 50:` это как раз проверка диапазона целочисленных значений от 5 до 50 включительно.

Удобство применения того или иного оператора, естественно, зависит от задачи. Довольно важным ограничением оператора `switch()` в языке C является то, что он умеет работать только с целыми числами. Для примера, напишем свой собственный маленький калькулятор. Сразу предположим, что калькулятором будет пользоваться внимательный человек, который понимает, что арифметические действия можно совершать только с числами, и умножать строки или символы - не получится.

Заведем в нашей программе переменные типа `float`, которые будут хранить операнды – числа над которыми будут производиться действия. И переменную типа `char` для хранения операции. Спросим у пользователя, какие числа он хочет посчитать, для этого используем уже привычную нам связку `printf();`/`scanf();`. Далее, таким же образом предложим пользователю ввести действие, действие мы закодируем в виде чисел:

- 1 – сложение;
- 2 – вычитание;
- 3 – умножение
- 4 – деление.

Здесь вступает в силу тот факт, что на ноль делить нельзя, поэтому нам нужно не дать пользователю ввести в качестве второго операнда `"0"`, если в качестве оператора он выбрал деление. Конечно, это можно оставить на усмотрение пользователя, но мы, как сознательные программисты, не дадим пользователю в арифметическом порыве сломать нашу программу. Совершенно очевидно, что просто скопировать ввод будет неправильным действием. Для того чтобы не дать пользователю сделать неправильный ввод введем в прорамму условие: если пользователь выбрал деление, используя цикл `do {} while();` будем просить его ввести второй операнд отличный от нуля, а если выбран-

ный оператор не является делением, то просто попросим пользователя ввести второе число, без проверок и повторений.

```
    if (operator == 4) {
        do {
            printf("/nEnter second operand: ");
            scanf("%f", &second);
        } while (second == 0);
      } else {
          printf("/nEnter second operand: ");
          scanf("%f", &second);
      }

```

Если мы воспользуемся нашими знаниями на текущий момент, то мы напишем примерно следующее: если оператор равен единице, то делать это, в противном случае, если оператор равен двум, то делать вот это, и так далее, описывали бы все возможные действия условными операторами. Получился бы весьма громоздкий код.

```
    if (operator == 1) {
        //...
    } else if (operator == 2) {
        //...
    }
    //...

```

Но хорошая новость в том, что существует гораздо более удобный оператор `switch(){}`. Воспользуемся им относительно переменной `operator`. Разделим действия оператора `switch(){}` на несколько так называемых *кейсов*.

```
    switch (operator) {
      case 1:
      result = first + second;
      case 2:
      result = first - second;
      case 3:
      result = first * second;
      case 4:
      result = first / second;
      default:
      printf("Unknown operator\n");
    }

```

Оператор `switch(){}` последовательно проверит входящую переменную на со-

ответствие описанным в кейсах значениях. В случае, если значение совпадёт, будет выполнен блок кода до оператора `break;`, если же значение переменной не совпадёт ни с одним из описанный в кейсах, выполнится блок по умолчанию `default`.

> Важно помнить, что в случае отсутствия внутри `case` оператора `break;`, программа будет выполнять последующие кейсы, пока не найдёт `break;` или пока не закончится конструкция `switch(){}`, то есть пока не встретится её закрывающая фигурная скобка.

В кейсах мы опишем присваивание результата в переменную `result`, а после выхода из `switch(){}` - вывод результата в консоль. Кейсом по умолчанию будет вывод пользователю сообщения о невозможности распознать оператор. Так получается, что даже если мы ввели неизвестный оператор, программа попытается вывести в консоль результат, что неприемлемо. Поэтому кейс по умолчанию должен содержать также и оператор `return 1;` вынуждающий программу экстренно завершиться с кодом ошибки `1`. Запустив описанный нами калькулятор, убедимся что все работает. Сымитируем нерадивого пользователя и несколько раз попробуем ввести при использовании четвёртого оператора цифру ноль, программа естественно не даст нам этого сделать.

```
$ ./program
Enter first operand: 10
Enter 1 for (+), 2 for (-), 3 for (*), 4 for (/): 4
Enter second operand: 0
Enter second operand: 0
Enter second operand: 0
Enter second operand: 3
Result is: 3.333333
$ ./program
Enter first operand: 10
Enter 1 for (+), 2 for (-), 3 for (*), 4 for (/): 5
Unknown operator
$
```

Также приведём полный листинг получившейся программы, пока он ещё помещается на одну страницу. Далее некоторые примеры будет невозможно привести полностью, поэтому собирать их в единый работающий код читатель будет вынужден самостоятельно.

```c
#include <stdio.h>

int main (int argc, char *argv[]) {
    float first;
    float second;
    float result;
    int operator;

    printf("Enter first operand: ");
    scanf("%f", &first);
    printf("/nEnter 1 for (+), 2 for (-), 3 for (*), 4 for (/): ");
    scanf("%d", &operator);
    if (operator == 4) {
        do {
            printf("/nEnter second operand: ");
            scanf("%f", &second);
        } while (second == 0);
    } else {
        printf("/nEnter second operand: ");
        scanf("%f", &second);
    }
    switch (operator) {
    case 1:
        result = first + second;
        break;
    case 2:
        result = first - second;
        break;
    case 3:
        result = first * second;
        break;
    case 4:
        result = first / second;
        break;
    default:
        printf("Unknown operator\n");
        return 1;
    }

    printf("Result is: %f \n", result);
    return 0;
}
```

7 Функции

7.1 Понятие функции, параметры и аргументы

Функция - это такая обособленная часть кода, которую можно выполнять любое количество раз. У функций обязательно в таком порядке должны быть описаны: тип возвращаемого значения, название, параметры и так называемое тело, то есть, собственно, исполняемый код. Рассмотрим более детально функцию `int main (int argc, char *argv[])`: указанный тип `int` - это *тип возвращаемого значения*, то есть на том месте, откуда будет вызвана эта функция, в результате её работы по факту выполнения оператора `return;`, появится некое целое число. Возвращаемые значения могут быть любых типов. В случае же когда функция не должна возвращать результат своей работы, или никакого возвращаемого результата не предполагается, указывается ключевое слово `void` (англ. - пустота). То есть на месте вызова функции, в результате её выполнения, не появится никакого значения (обычно, таким значением бывает rvalue). Оператор `return;` обязателен для не-void функций, а в `void` функциях может присутствовать или нет, но никогда не содержит возвращаемого значения. Написанное с маленькой буквы слово `main` - это *название функции*. Функция именно с таким названием, написанным с маленькой буквы, всегда является точкой входа в программу (2.2). Операционная система ищет именно эту функцию, когда получает команду на выполнение программы.

> Названия функций в рамках одной программы не должны повторяться и не должны начинаться с цифр или спецсимволов, также, как и названия переменных (см стр. 6) никаких других ограничений на название функций не накладывается.

Конструкция в круглых скобках `(int argc, char *argv[])` - это *параметры функции*. Параметры функции - это такие переменные, которые создаются при вызове функции и существуют только внутри неё. С их помощью можно передать в функцию какие-то аргументы и исходные данные для работы. Параметры пишутся в круглых скобках сразу после названия функции. В случае если функция не принимает параметров необходимо поставить после названия пустые круглые скобки (`()`). Весь код, содержащийся в фигурных скобках после параметров функции называется *телом функции*. Это те операторы и команды, которые будут последовательно выполнены при вызове функции. В теле функции мы можем **вызывать** другие функции, но **никогда не можем объявлять, описывать или создавать в теле функции другие функции**. Никаких других ограни-

чений на написание тела функции язык не накладывает. Таким образом, общий вид функции следующий:

```
ТипВозвращаемогоЗначения Имя (СписокАргументов)
{
    ТелоФункции
    return ВозвращаемоеЗначение;
}
```

Далее приведём небольшой пример, который призван продемонстрировать, как выглядит простейшее *объявление* и *описание* функций (function declaration and definition), а также их вызов из функции `int main (int argc, char *argv[])`.

```
1    void somefunction() {  // <-- this is a function
2      printf("some function\n");
3      // some useful things
4    }
5
6    int anotherFunction() {
7      printf("another function\n");
8      // more useful things happened
9      return 10;
10   }
11
12   int main (int argc, const char* argv[]) {
13     printf("main function\n");
14     // more useful things
15     somefunction();    // <-- this is invocation
16     int x = anotherFunction();
17     printf("x = %d\n", 10);
18     return 0;
19   }
20
```

Так, на шестнадцатой строке кода выше мы видим, что **вернувшееся** из функции, объявленной на шестой строке целое число `10` будет присвоено переменной `x` и выведено в терминал семнадцатой строкой.

```
$ ./program
main function
some function
another function
x = 10
$
```

Функции принято разделять на проверяющие, считающие и выводящие, и каждая из

вышеописанных функций не должна нести дополнительной нагрузки. То есть, функция не должна знать откуда в программе появились её параметры, и где будет использован результат её работы. То есть сам язык таких ограничений не накладывает, но такой подход к написанию функций делает их значительно более гибкими и даёт им возможность быть переиспользованными. Без применения такого подхода было бы невозможно писать абстрактные библиотеки и фреймворки.

> **Параметры функции** - это те переменные, которые указываются в круглых скобках при определении или описании функции. Параметры функции существуют как локальные переменные в кодовом блоке тела функции. **Аргументы функции** - это те значения переменных или литералов, которые указываются в круглых скобках при вызове функции.

Для примера опишем функцию, суммирующую два числа. Для простоты, в качестве аргументов она будет принимать целые числа и возвращать целочисленный результат. Обратите внимание, что функция не «знает» откуда взялись эти числа, мы можем их прочитать из консоли, можем задать в виде констант или получить в результате работы какой-то другой функции. Внутри функции `int main (int argc, char *argv[])` программа вызывает нашу функцию `sum(int x, int y)` суммирующую два числа и передаём в качестве аргументов эти числа.

```
1     int sum(int x, int y) {
2       int result = x + y;
3       return result;
4     }
5
6     int main (int argc, const char* argv[]) {
7       int a;
8       scanf("%d", &a);
9       int x = sum(50, a);
10      printf("x = %d\n", 10);
11      return 0;
12    }
13
```

Обратите внимание, что в качестве аргументов мы можем передавать константные значения, а также переменные. Значения переменных мы можем получить например из консоли, либо в результате выполнения какой-нибудь другой функции.

Как уже было сказано, параметры - это переменные, которые хранят в себе некоторые начальные значения вызова функции. Параметризация позволяет использовать одни и те же функции с разными исходными данными. Приглядимся повнимательнее

```
$ ./program
x = 110
$
```

к хорошо знакомой нам функции `printf();`. Строка, которую мы пишем в круглых скобках в двойных кавычках - это аргумент функции. То есть мы знаем, что функция умеет выводить на экран строки, как именно - нам нет дела, а какие именно строки - мы указываем в качестве аргумента. Функция `printf();` примечательна еще и тем, что она может принимать в себя нефиксированное количество аргументов. Описание работы таких функций, а также их написание выходит далеко за пределы основ языка, нам важно помнить что мы можем это использовать. В аргументе функции `printf()` мы можем написать заполнитель соответствующего типа и, например, вызвать нашу функцию `sum()`.

7.2 Оформление функций. Понятие рефакторинга

Теперь мы без проблем можем оформить уже существующие у нас программы в виде функций. Например, оформим в виде функции программу проверки простоты числа. Для этого опишем функцию которая возвращает целое число, назовем ее `isPrime()`, в качестве параметра она будет принимать целое число, назовем его `number`. Найдем в предыдущих разделах (стр. 45) программу определения простоты числа и скопируем в тело функции. Внесем небольшие правки, уберем вывод так как это будет, можно сказать, классическая проверяющая функция, вывод оставим для функции `int main (int argc, char *argv[])`, пусть о наличии у нас терминала «знает» только она.

> Такой процесс, перенос участков кода между функциями, выделение участков кода в функции, синтаксические, стилистические и другие улучшения, называетя **рефакторингом**. Обычно, рефакторингом занимаются сами разработчики в свободное от основной деятельности времени, в периоды код ревью или по необходимости улучшить читаемость/повторяемость собственного кода.

Следовательно, допишем условия: если делителей два, то число простое, возвращаем `ИСТИНУ`, то есть любое ненулевое значение, в нашем примере - единицу. Если же делителей больше – число не простое, возвращаем `ЛОЖЬ`, в нашем случае, это ноль. Такой вывод можно записать и другим способом, `return (dividers == 2)` – это выражение в случае истины вернет единицу в случае лжи ноль. Или можно воспользоваться тернарным оператором, то есть, написать `return (dividers == 2) ? 1 : 0`:

если условие в скобках истинно вернется единица, ложно – ноль. Также важно, что выйти из функции мы можем на любом этапе ее выполнения, например если делителей уже три, то нам нужно не завершать цикл, а вернуть ЛОЖЬ из функции.

```

int isPrime(int number){
    int dividers = 0, i = 1;


    while(i <= number){
        if(number % i++ ==0)
            dividers++;
        else
            continue;

        if (dividers == 3)
            return 0;
    }
    return (dividers == 2)
}
```

```
int main(int argc, char *argv[]) {
    int number;
    int dividers = 0, i = 1;
    printf("Enter number: ");
    scanf("%d", &number);
    while (i <= number) {
        if (number++ % i == 0) {
            dividers++;
        } else {
            continue;
        }
        if (dividers == 3)
            break;
    }
    printf("Number %d is%s prime",
        number,
        (dividers == 2) ? "" : " not"
          );
}
```

Немного подправив вывод, внесем в него вызов функции `isPrime()` и объявим переменную `int num`, которую будем передавать в качестве аргумента в функцию `isPrime()`. Запустим нашу программу и убедимся что все работает – число 71 действительно является простым.

```
    int main (int argc, const char* argv[]) {
        int num = 71;
        printf("Entered number %d is%s prime \n",
                number,
                isPrime(num) ? "" : " not"
              );
        return 0;
    }


```

Теперь мы можем написать программы любой сложности, содержащие функции `isPrime()` или `sum()`. О том, что мы работаем с консолью, в нашем случае должна знать только функция `int main (int argc, char *argv[])`, поэтому ввод

значений и вывод на экран мы оставим в ней, а подсчёты, проверки или другие важные действия и алгоритмы положим в функции. Именно это абстрагирование является сильной стороной использования функций, так, например, у нас нет необходимости каждый раз вставлять в программу код взаимодействия с консолью при выводе каждой строки, а можно ограничиться вызовом функции `printf();`.

7.3 Прототип функции, заголовочные файлы

Зачастую возникают ситуации, когда функция не описана до точки входа в программу, или вовсе лежит в другом файле, возможно, даже написанном не нами. В этом случае мы должны сообщить компилятору, что такую функцию придётся дополнительно поискать. Для этого необходимо указать всю информацию о функции, кроме её тела. Такое объявление называется **прототип или определение функции** (англ. function definition).

> С определением функции тесно связано понятие *сигнатуры* функции. Сигнатура функции для разных языков программирования представляется немного разным составом сведений, так, например, в языке C сигнатура - это тип возвращаемого значения, название функции и порядок типов параметров, например, для функции суммирования чисел, описанной выше, это будет `int sum(int, int)`.

Опишем прототип функции `isPrime()`, описав сигнатуру этой функции. Обратите внимание, что допустимо в определении функции также писать названия параметров, а не только их типы, но это необязательно.

```
1    int isPrime(int number);
```

Из таких определений часто составляют так называемые *заголовочные файлы*. Заголовочные файлы это мощный инструмент модульной разработки. Мы уже неоднократно видели подключение заголовочного файла `stdio.h`, Обнаружив данный файл на диске компьютера, мы увидим, что в нём содержатся другие подключения библиотек, директивы препроцессора (о которых более подробно мы будем говорить в следующих разделах) и прототипы функций (например, так часто используемой нами `printf()`). Заголовочным этот файл называется, потому что его обычно пишут в коде программы в самом верху, и, фактически, компилятор просто вставляет его содержимое в текст программы. Расширение файла (`.h`) является сокращением от английского слова header, заголовок. Обратите внимание, что подключая заголовочный файл `stdio.h` мы получаем вообще всю функциональность стандартного ввода-вывода, то есть, например,

работу с файлами, которую можем и не использовать. В стандарте C++20 было принято решение о переходе для поддержки повторяемости кода от заголовочных файлов к целостным модулям, импортируемым отдельно. Это позволяет интегрировать в программу только нужный функционал, игнорируя всю остальную библиотеку.

8 Указатели

Вот и пришла пора поговорить о серьёзном низкоуровневом программировании. О том, от чего стараются оградить программистов языки высокого уровня и современные фреймворки. Об указателях, что такое указатели и как они соотносятся с остальными переменными, что такое передача аргумента по значению и по указателю.. Этого разговора боятся все начинающие программисты и не без причин: работа с указателями на память может не только навредить программе, но и, например, оказать влияние на операционную систему (автор знает, что этот тезис не всегда справедлив, также, как тезис со стр. 9, но мы снова идём на такое упрощение ради того, чтобы было понятно, насколько это мощный инструмент). Также сразу отметим, что указателям достался свой собственный раздел в этом документе, хотя формально это просто ещё один тип данных.

Как мы, наверняка, помним, все переменные и константы, используемые в программе, хранятся в оперативной памяти. Оперативная память разделена на несколько участков, но не это для нас сейчас важно. Важно то, что у каждой переменной и константы в памяти есть свой собственный адрес. Адреса принято показывать на экране в виде шестнадцатиричных чисел. Этот адрес выдаётся нашей программе операционной системой, а язык C позволяет использовать его на усмотрение программиста. Иными словами в языке C есть возможность получить доступ к переменной не только по имени, но и по адресу. Получение доступа к значению переменной по адресу называется **разыменованием**. Давайте выведем в консоль всю имеющуюся информацию о переменной `a`. Мы знаем, что это целочисленная переменная значением 50, которая хранится по какому-то адресу.

```
1     int a = 50;
2     printf("value of 'a' is %d \n", a);
3     printf("address of 'a' is %p \n", &a);
4
```

Адрес переменной может храниться в специальной переменной, которая называется указатель. Для объявления указателя пишут тип переменной, адрес которой будет храниться в указателе, знак звёздочки и имя указателя. Такому указателю можно присвоить значение адреса существующей переменной, также как мы делали это раньше с другими типами данных. Для наглядности снова выведем всю имеющуюся у нас на данный момент информацию на экран. Напомню, для вывода адреса используется заполнитель `%p`. Выведем в консоль десятичное значение переменной `pointer` и адрес

переменной `pointer`. Увидим, что значение переменной `pointer` является как будто бы совершенно случайным числом, но ниже мы представим это значение не в виде обычного целого числа в десятичной системе счисления, а в виде адреса (заполнитель `%p`) то всё встанет на свои места.

```
    int * pointer;
    pointer = &a;

    printf("value of 'pointer' is %d \n", pointer);
    printf("address of 'pointer' is %p \n", &pointer);
    printf("value of 'pointer' is %p \n", pointer);


```

Так, объединённый вывод двух предыдущих листингов будет примерно такой, и можно явно увидеть, что адрес `a` - это значение переменной `pointer`:

```
value of 'a' is 50
address of 'a' is 000000000061FE1C
value of 'pointer' is 6422044
address of 'pointer' is 000000000061FE10
value of 'pointer' is 000000000061FE1C
```

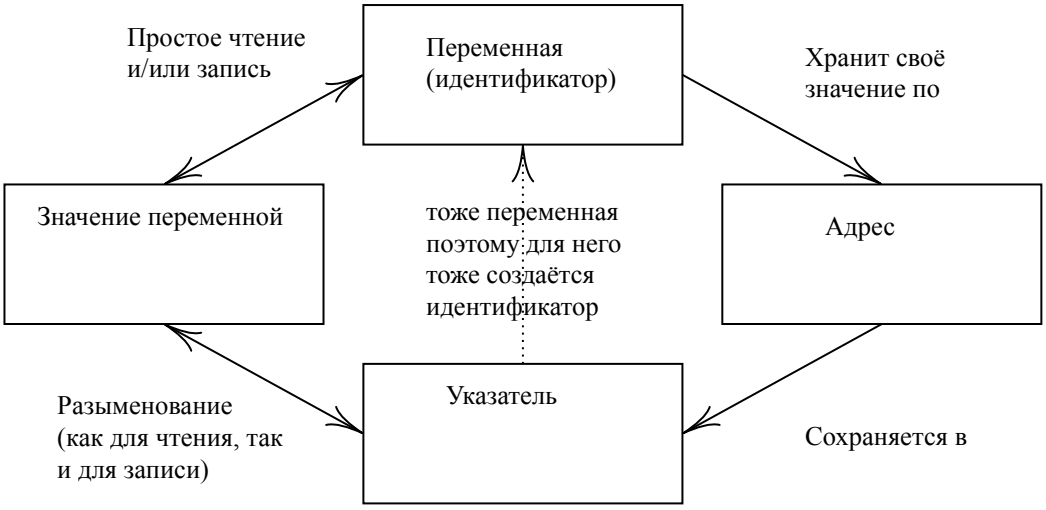
В общем-то, пока что ничего необычного, все эти операции мы выполняли на предыдущих уроках. Но поскольку `pointer` это немного необычная переменная, а указатель, то мы можем получить не только её значение, но и *значение переменной, на которую она указывает*, именно этот процесс называется разыменованием указателя. Давайте запишем, вывести в консоль «переменная pointer указывает на такое-то значение» и разыменуем `pointer`. То есть получим доступ к значению переменной, на которую ссылается указатель `pointer`.

```
    printf("variable 'pointer' points at: %d", *pointer);
```

Таким образом, получается, что в указателе хранится ссылка на значение некоторой переменной, и мы можем это значение изменить. Давайте изменим значение переменной `a`, не на прямую, а с использованием указателя. Как видим, значение переменной изменилось.

```
  *pointer = 70;
  printf("value of a is %d \n", a);
```

То есть указатель - это простейший **ссылочный тип данных**. Без указателей невозможно себе представить создание классов, и всеми любимого объектно-ориентированного



2: Отношения указателей, адресов, идентификаторов и значений

программирования, даже массивов или строк. Теперь, когда мы знаем об указателях, и умеем получать значения переменных, на которые они указывают, а также изменять их, перед нами открываются невообразимые ранее перспективы. Мы можем писать функции не создавая в них копии переменных, а передавать в них указатели на уже существующие переменные, тем самым экономя память, и ускоряя выполнение программы. Например, не составит труда написать *программу*, которая бы меняла местами значения двух переменных. Но написать *функцию*, которая бы проделывала тоже самое невозможно без применения указателей. Почему? Очень просто - в параметре функции создаются свои собственные переменные, значения которых задаются копированием аргументов вызова, и меняются местами именно эти, скопированные значения в локальных переменных. И даже если мы вернём одно из этих значений – как быть со вторым? А получить доступ к значению второй переменной мы не можем, поскольку, помним, она находится в области видимости функции и недоступна извне. Такая передача аргументов называется *передачей по значению* (мы берём значение некоторой переменной и копируем внутрь функции, иногда такую передачу значений ещё называют *передачей копированием*). Т.е. мы берем значения некоторых переменных в функции `int main (int argc, char *argv[])` и передаем их в функцию, где создаём новые переменные с этими, переданными, значениями.

Как решить эту проблему? Передавать не значения переменных, а их адрес, тем самым сообщив функции, что нужно не создавать новые копии переменных, а сделать

что-то с уже существующими, и, естественно указать адрес, с какими именно. Передача в качестве аргумента адреса, и создание в теле функции нового указателя называется *передачей по указателю*.

> Для языка C также справедливо выражение «передача по ссылке», поскольку в языке C нет отдельной операции передачи по ссылке. Так, например, в языке C++ передача по ссылке и передача по указателю - это разные операции.

То есть функция будет ссылаться на переменные, на которые мы укажем и оперировать их значениями. Давайте немного модифицируем нашу программу обмена значениями внутри двух переменных (4.3): опишем её в виде функции, принимающей в качестве параметров два указателя на целые числа типа `char`, и передадим адреса созданных в `int main (int argc, char *argv[])` переменных. Внутри функции, при её вызове, у нас будут создаваться не переменные, а указатели на переменные, то есть мы будем ссылаться на те самые переменные, созданные вне функции, и будем менять именно их (тех переменных) значения. Таким образом, нам не нужно ничего возвращать, потому что в функции ничего не создавалось, и типом возвращаемого значения функции должен быть `void`.

```c
#include <stdio.h>

void swap(char* a, char* b) {
    *a ^= *b;
    *b ^= *a;
    *a ^= *b;
}

int main(int argc, char* argv[]) {
    char a = 11;
    char b = 15;
    printf("a = %d, b = %d", a, b);
    swap(&a, &b);
    printf("a = %d, b = %d", a, b);
    return 0;
}
```

```c
#include <stdio.h>



int main(int argc, char* argv[]) {
    char a = 11;
    char b = 15;
    printf("a = %d, b = %d", a, b);
    *a ^= *b;
    *b ^= *a;
    *a ^= *b;
    printf("a = %d, b = %d", a, b);
    return 0;
}
```

Применение такого подхода открывает перед нами широкие возможности. Важно, на схеме со стр. 59, что указатель - это тоже переменная, поэтому мы можем создавать указатели на указатели, и так далее, указатели любой сложности, тем самым увеличивая уровень абстракции программы.

9 Массивы

В этом разделе нас с вами ждут массивы. Много массивов. И ещё пара слов о директивах компилятору, иногда также называемых директивами препроцессора. С них и начнём.

9.1 Директива `#define`

Помимо уже хорошо знакомой вам директивы `#include`, частично описанной в разделе 2.2, естественно, существуют и другие. Некоторые из них ограничивают импорт описанных в заголовочном файле функций, некоторые «**описывают**» какие-то константы и даже действия. Вот, директиву **описать** мы и рассмотрим подробнее. Она не зря называется директивой препроцессора, поскольку даёт указание не процессору во время выполнения программы выделить память, присвоить значения, а непосредственно компилятору: заменить в тексте программы одни слова на другие. Таким образом можно задавать константы проекта, и даже делать сокращённые записи целых действий. Например, написав `#define ARRAY_LENGTH 50` мы предпишем компилятору, перед запуском трансляции нашего кода заменить все слова `ARRAY_LENGTH` на цифру 50. В такой записи, слово `ARRAY_LENGTH` будет называться *макроконстантой*.

> Обратите внимание, что директива пишется немного не так, как обычный оператор языка, хоть и может находиться в любом месте кода. В конце директивы не ставится точка с запятой. Это важно именно потому что директивы работают с текстом программы, то есть если точка с запятой всё же будет поставлена, текст программы будет всегда содержать вместо макроконстанты число и точку с запятой, что может в корне изменить смысл программы.

Весьма удобно, но этим можно не ограничиваться, мы можем попросить компилятор заменить вызовы функций и операторы на короткие, удобные нам слова. Важно помнить, что директивы препроцессора работают с текстом программы, поэтому не осуществляют никаких дополнительных проверок. Это сложный и мощный инструмент, который чаще всего используется для решения нетривиальных задач, например, выбор кода, который попадёт в компиляцию в зависимости от операционной системы. Иногда в программах можно встретить описание недостающего, но такого привычного булева типа при помощи директив препроцессора:

```
1    #define bool int
2    #define true 1
3    #define false 0
```

Но нам пока что достаточно умения создать глобальную именованную константу. Код ниже демонстрирует, что директивы не обязательно группировать именно в начале файла, а можно использовать там, где это удобно и уместно, так мы можем объявить константу с длиной массива в начале файла, а можем прямо внутри функции `int main (int argc, char *argv[])`.

```
1    int main(int argc, char* argv[]) {
2        #define ARRAY_LENGTH 50
3        int a = ARRAY_LENGTH;
4        printf("a = %d", a);
5        return 0;
6    }
```

Результатом работы этой функции будет ожидаемое:

```
$ ./program
a = 50
```

9.2 Массивы

Вступление про директивы препроцессора напрямую не связано с темой массивов, но директива `#define` для объявления размера массива применяется чрезвычайно часто. Рассмотрим природу этого явления чуть позже.

Массив – это множество данных одного типа, расположенных в памяти подряд.

Язык C строго типизирован, поэтому невозможно создать массив из разных типов данных. На данном этапе мы рассматриваем только простые типы данных, поэтому и массивы будем рассматривать статические. Статическим массивом называют массив, количество элементов которого заранее известно и не изменяется за время работы программы. Альтернативой статическому массиву является динамический, таких массивов в языке C не существует, но всегда можно самостоятельно описать такую структуру данных, которая будет хранить значения, динамически расширяясь и сужаясь. Также для начала ограничим нашу беседу одномерными массивами, то есть такими, которые можно записать в виде значений через запятую. Статические одномерные массивы принято объявлять двумя способами:

- простое объявление с указанием размера;
- объявление, совмещённое с инициализацией

Для примера объявим массив, содержащий элементы типа `int`, дадим ему идентификатор или имя массива `arr` (сокращённо от англ array), укажем максимальное количество элементов которые может вместить в себя массив, например, пять. Как уже говорилось

```
    int arr[5];

    arr[0] = 10;
    arr[1] = 20;
    arr[2] = 30;

```

массив это множество данных или элементов. К каждому элементу массива можно обратиться по его номеру, который принято называть индексом. Индексация элементов начинается с нуля. Давайте заполним наш массив значениями типа `int`. Для этого последовательно обратимся к каждому элементу и присвоим значение. Обратите внимание, что язык С не гарантирует что инициализационное значение элементов массива будет равно нулю, если это не указано явно, поэтому выведя на экран содержимое массива, мы можем гарантировать значения только первых трёх элементов, которые мы указали в коде. Второй способ объявления, совмещённый с инициализацией массива используют, если массив сравнительно небольшой и его значения заранее известны, например:

```
int arr[6] = {1, 1, 2, 3, 5, 8};
```

При этом, если сразу заполняются все элементы, размерность можно не указывать. Итак, мы научились создавать и заполнять значениями массивы. Теперь общее правило объявления массивов в С: при объявлении массива нужно указать его имя, тип элементов, количество элементов, опционально - указать сами эти элементы. Количество элементов есть натуральное число, то есть целое положительное, ноль не может быть количеством элементов. Нельзя задавать переменное количество элементов массива. Так мы обязаны создавать массивы только с точно указанным числом элементов.

```
    int nArr[100];     // An array for 100 int's;
    float fArr[5];     // An array for 5 float's;
    char cArr[2];      // An array for 2 char's;
    int varElem;
    int nArr[varElem]; // Compile error! Number of elements must be constant;

```

Для языка С это позволено сделать объявлением константы времени исполнения `const int elements; int arr[elements]`, но, например, в С++ такая запись вызовет

ошибку компиляции, поэтому там необходимо строго указывать размер числовым литералом или объявив его директивой `#define`, что, фактически, одно и тоже.

> В более поздних стандартах C++ появилось ключевое слово `constexpr`, позволяющее объявлять константы времени компиляции и отказаться от объявления размеров массива только литералом

Теперь давайте научимся получать доступ к элементам массива. Нет ничего проще, тем более, что мы это уже делали объявляли массив и для примера его заполняли. Для доступа к конкретному элементу массива нужно указать имя массива и индекс элемента в квадратных скобках. Квадратные скобки - это тоже оператор языка, он называется оператором индексного доступа: При помощи массивов решают множество задач, та-

```
    int a = arr[0];
    printf("'lets see whats in 0-th element: %d", a);

```

ких как поиск, сортировка, составление таблиц соответствия, создание частотных диаграмм. На основе массивов создают более сложные структуры данных. Для короткого минимального примера, давайте напишем программу, которая будет печатать наш массив в консоль. Такая несложная программа даст нам следующий результат (Обратите

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
    int arr[5];
    int i;
    printf("Your array is: ");
    for (i = 0; i < 5; i++) {
        printf("%d ", arr[i]);
    }
    return 0;
}
```

внимание, что при такой инициализации, а точнее её отсутствии, значения внутри массива не гарантируются. В результате запуска программы на компьютере автора первые четыре индекса оказались равными нулю, а пятый принял странное отрицательное целочисленное значение):

```
$ ./program
Your array is 0 0 0 0 -497067408
```

Мы научились создавать, инициализировать массивы и обращаться к его элементам. Теперь решим задачу посложнее: напишем программу, которая проверит насколько статистически хорош описанный в стандартной библиотеке (языка C) генератор псевдослучайных чисел (функция `rand();`). Для такой статистической проверки нам понадобится сформировать так называемый *частотный массив*, массив, в котором будет содержаться информация о том, сколько раз то или иное число появилось во множестве значений, полученном при помощи генератора псевдослучайных чисел, частота вхождения значений. Сама генерация псевдослучайных чисел происходит при помощи функции `rand();` которая создаёт целое число типа `int`. Но, поскольку целое число в таком диапазоне нам не нужно, мы его сократим при помощи оператора получения остатка от деления. Обратите внимание на 14ю строку: для сгенерированного на

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <time.h>
4  #define ARRAY_LENGTH 10
5  #define NUMBERS_AMOUNT 1000000
6
7  int main( int argc, char *argv[]){
8      srand(time(NULL)); // initialize PRNG
9      int frequency[ARRAY_LENGTH] = {0};
10     int a;
11     int i;
12     for (i = 0; i < NUMBERS_AMOUNT; i++) {
13         a = rand() % ARRAY_LENGTH;
14         frequency[a]++;
15     }
16
17     for (i = 0; i < ARRAY_LENGTH; i++) {
18         printf("Number %d generated %6d (%5.2f%%) times\n",
19                 i,
20                 frequency[i],
21                 ((float)frequency[i] / NUMBERS_AMOUNT * 100));
22     }
23     return 0;
24   }
```

13й строке числа `0` увеличим значение в 0-й ячейке массива, для числа `1` - в 1-й, и т.д. Данная программа наглядно демонстрирует не только работу с массивами, но и то, что генератор псевдослучайных чисел в языке C генерирует статистически верную последовательность случайных чисел. Инициализация генератора псевдослучайных чисел на восьмой строке `srand(time(NULL));` происходит значением текущего времени системы, то есть мы гарантируем, что начальное значение генератора будет отличаться от запуска к запуску, а значит наше исследование будет чуть более достоверным.

Запуск программы (даже несколько запусков) показывает, что всех значений полу-

```
$ ./program
Number 0 generated  99955 (10.00%) times
Number 1 generated  99977 (10.00%) times
Number 2 generated 100156 (10.02%) times
Number 3 generated  99952 (10.00%) times
Number 4 generated 100212 (10.02%) times
Number 5 generated 100713 (10.07%) times
Number 6 generated  99418 ( 9.94%) times
Number 7 generated  99768 ( 9.98%) times
Number 8 generated  99918 ( 9.99%) times
Number 9 generated  99931 ( 9.99%) times
```

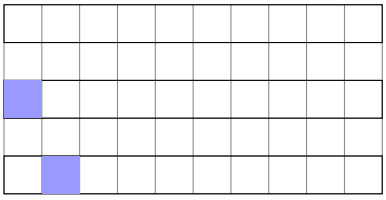
чилось около десяти процентов, что говорит о том, что последовательность псевдослучайных чисел статистически верна.

9.3 Идентификатор массива

Это будет непросто, но мы поговорим о том, что из себя представляет идентификатор массива, чем чреват выход за пределы массива, затронем тему арифметики указателей и научимся передавать указатели на массивы в функции. Как упоминалось ранее, массив - это ссылочный тип данных. То есть в идентификаторе хранится адрес, ссылка на первый байт первого элемента массива, дальнейший доступ к элементам осуществляется посредством *смещения относительно этого байта*. Таким образом запись вида `array[0]` говорит нам о том, что нужно взять адрес массива и сместить указатель на `0` элементов того типа, из которых состоит массив. Отсюда становится ясно, почему **индексирование массивов начинается с нуля**.

Давайте попробуем визуализировать положение вещей в массивах. На рисунке со стр. 66 можно увидеть создание массива на первой строке, далее доступ к двум его ячейкам для записи в них значений. Соответственно, когда мы берем элемент с нуле-

```
1       int arr[ARRAY_LENGTH];
2       arr[0] = 20;
3       arr[1] = 50;
4
```



3: Визуализация создания и индексации массива

вым смещением, то есть по нулевому индексу, это будет ячейка памяти, находящаяся

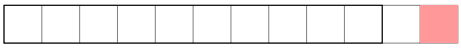
ровно по адресу массива. Все остальные ячейки мы просто игнорируем. Далее, берем следующий элемент массива. Для этого возьмем смещение в единицу, допустим, это будет число 50. Соответственно смещение будет на одну ячейку типа `int`. То есть мы игнорируем нулевой элемент и берем первый. Становится очевидно, что если мы в своём коде напишем такой индекс, который находится за пределами описанного массива - мы просто получим какое-то значение, которое никак не можем прогнозировать.

Относительно выхода за пределы массива надо сказать, что ни компилятор, ни тем более операционная система никаких проверок не делают, поэтому такие проверки (чаще всего самопроверки на этапе написания кода) полностью ложатся на плечи программиста. Язык С не предоставляет никаких сред виртуализации, никаких подсистем исключений, только выдача случайных данных, которые могут попасться нашей программе. Или запись в ячейки, которые совершенно не гарантированно останутся пустыми.

> В связи с тем, индекс массива - это значение смещения, относительно его начала, и, как следствие, индексы массива всегда отсчитываются с нуля, важно помнить, что при создании массива из, например, десяти элементов десятый индекс будет находиться за пределами массива.

Надо сказать, что всё-таки бóльшая часть значений за пределами массива будет равна нулю, но всё равно лишний раз экспериментировать не стоит. Как мы уже знаем, в

```
1       arr[11] = 60;
2
```



4: Выход за пределы массива

идентификаторе массива хранится ссылка на первый байт первого элемента массива, т.е. идентификатор является, по сути, указателем. Но существует несколько отличий: указатель - это переменная, к ней применимы, например, операции инкремента и декремента, чего конечно нельзя делать с идентификатором массива.

> Идентификатор массива **не является** lvalue, Но один элемент массива является lvalue. Так, записи вида `arr++;` или `arr = 5` будут являться ошибочными, поскольку в них происходит обращение не к конкретному элементу с целью его изменения, а к массиву целиком.

Обратившись к идентификатору массива мы можем получить доступ к элементам массива не только при помощи записи индекса в квадратных скобках, но и при помощи так называемой арифметики указателей. Мы знаем, что массив - это единая область памя-

ти, и значения в нём располагаются подряд по очереди, значит, отсчитав от указателя на первый индекс нужное количество байт - мы получим указатель на второй индекс. Давайте для примера подсчитаем среднее арифметическое всех чисел в массиве, с использованием арифметики указателей.

Будем запрашивать значения для расчётов у пользователя. Создадим вспомогательную переменную `float result;`, для хранения результата и в цикле будем запрашивать у пользователя числа. Количество введенных цифр должно соответствовать количеству элементов массива, поэтому условием выхода из цикла будет равенство счётчика и последнего индекса массива, то есть, длины массива минус единица.

> Обратите внимание, что в коде мы указали условием выхода из цикла **строгое неравенство**, то есть со значением `i` равным длине массива в тело цикла мы не попадём.

Помним, что индексация массива начинается с нуля, поэтому длина массива всегда на единицу больше последнего индекса. Выведем в консоль надпись «введите значение», при помощи функции `scanf();` считаем его и сразу привычным образом, оператором индексного доступа, положим в массив. Выведем в консоль получившийся массив

```
int arr[ARRAY_LENGTH];
int i = 0;
float result = 0;
while (i < ARRAY_LENGTH) {
    printf("Enter value %d: ", i);
    scanf("%d", arr[i]);
    i++;
}

```

при помощи цикла `for(;;)` и привычной нам функции `printf();`. Следом напишем ещё один цикл в котором подсчитаем среднее арифметическое. Для этого к результату будем прибавлять существующий результат и значение массива на которое указывает уже не такая привычная, как квадратные скобки конструкция `*(arr + i)`, которую сразу и разберём. Как вы видите, некоторые подсчеты программа выполняет за нас - мы прибавляем к указателю единицу, двойку, тройку и т.д, а программа понимает, что надо взять не следующий по счёту байт, а следующий указатель. Так как в данном примере мы используем массив в котором хранятся значения типа `int`, а как вы помните `int` в подавляющем большинстве случаев - это четыре байта, то при увеличении указателя на единицу, мы обратимся к области памяти находящейся на четыре байта дальше идентификатора, при увеличении на двойку на восемь байт и так далее. Подсчитать среднее

```
printf("Your array is: ");
for (i = 0; i < ARRAY_LENGTH; i++)
    printf("%d ", arr[i]);

printf("\nAnd the average is: ");
for (i = 0; i < ARRAY_LENGTH; i++)
    result += *(arr + i);
printf("%f\n", result / ARRAY_LENGTH);

```

арифметическое не составит труда, этот алгоритм нам знаком со средней школы. Далее при помощи функции `printf();` выведем в консоль среднее арифметическое. Запустим, повводим цифры и убедимся что все работает.

```
$ ./program
Enter value 0: 1
Enter value 1: 2
Enter value 2: 3
Enter value 3: 4
Enter value 4: 5
Enter value 5: 6
Enter value 6: 7
Enter value 7: 8
Enter value 8: 9
Enter value 9: 10
Your array is: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
And the average is: 5.500000
```

Внимательный читатель мог заметить, что мы применяем операцию *разыменования*. Что происходит, когда мы таким образом обращаемся к массиву? Операция разыменования получает доступ к значению, находящемуся по адресу. Адресс массива - это адрес его первого элемента, поэтому конструкция `*arr` вернёт значение нулевого элемента массива. А прибавление значений к этому указателю будет смещать его также, как это делает оператор квадратных скобок.

Как уже упоминалось, идентификатор массива - это не обычный указатель. Обычный указатель хранит в себе адрес какой-то другой переменной, и сам где-то хранится. Указатель на начало массива хранит в себе адрес массива, то есть адрес его нулевого элемента, и сам этот указатель находится в этом самом месте. На первый взгляд сложновато? Но пусть Вас это не сбивает с толку, на деле всё не так жутко. На деле это означает, что при передаче массива (читай идентификатора массива) в функцию в качестве

аргумента, мы не должны использовать оператор взятия адреса, поскольку идентификатор массива сам по себе является указателем на собственное начало. Это открывает для нас широкие возможности по написанию функций, работающих с массивами данных. В только что написанной нами программе оформим вывод массива на экран и поиск среднего арифметического в виде функции. Опишем функции `printArray()` и `average()` в которые передадим указатель на массив и его длину, т.к. в массиве не содержится сведений о его размере.

Поскольку мы передаём в функцию указатель, то все действия которые описаны в этой функции будут происходить с массивом который мы создали в основной части программы через этот указатель, который мы передали, никакого копирования значений или чего то подобного. Для корректной работы наших функций объявим в них счётчик и изменим названия переменных на названия параметров.

```
1  void printArray(int* array, int length) {
2      int i;
3      for (i = 0; i < length; i++)
4          printf("%d ", array[i]);
5  }
6
7  float average(int* array, int length) {
8      float result = 0;
9      int i;
10     for (i = 0; i < length; i++)
11         result += *(array + i);
12     return result / length;
13 }
14
```

Так, полный листинг этого примера на стр. 71.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void printArray(int* array, int length) {
    int i;
    for (i = 0; i < length; i++)
        printf("%d ", array[i]);
    printf("\n");
}

float average(int* array, int length) {
    float result = 0;
    int i;
    for (i = 0; i < length; i++)
        result += *(array + i);
    return result / length;
}

int main(int argc, const char** argv) {
    #define ARRAY_LENGTH 10
    int arr[ARRAY_LENGTH];
    int i = 0;
    float result = 0;
    while (i < ARRAY_LENGTH) {
        printf("Enter value %d:", i);
        scanf("%d", &arr[i]);
        i++;
    }
    printf("Our array is: ");
    printArray(arr, ARRAY_LENGTH);
    printf("And the average is: %f \n",
           average(arr, ARRAY_LENGTH));
    return 0;
}
```

9.4 Многомерные массивы

Массив в языке С может иметь сколько угодно измерений. Все массивы, с которыми мы имели дело до этого момента - одномерные, их легко визуализировать в виде простого перечисления элементов, возможно, как строки или как таблицы, состоящей из одной строки. Самые распространённые многомерные массивы - это двумерные и трёхмерные, которые легко себе представить в виде таблицы или куба соответственно. Итак, массив это структура, содержащая элементы. Двумерный массив - это массив из массивов, содержащих элементы. Трёхмерный - это массив из массивов, содержащих массивы, которые содержат элементы. И так далее. В массиве могут находиться любые типы данных, мы, для удобства, будем рассматривать работу массивов с числами.

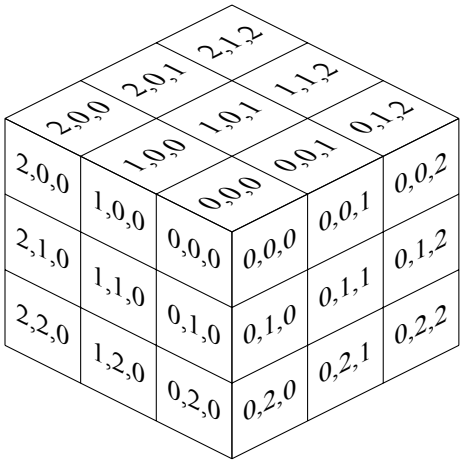
Попробуем визуализировать двумерный массив. Создадим двумерный массив в коде, например, 5x5 элементов. Массив 5x5 – это 5 столбцов и 5 строчек. Соответственно,

каждая строчка – это будет у нас младший индекс, а каждый столбец – старший индекс. Трехмерный массив может быть, например, 3x3x3 – его можно визулизировать как всем известный кубик Рубика то есть, это три стоящих друг за другом таблицы 3x3. Также опишем его в коде ниже. Получается, что мы к таблице (ширине и высоте) добавили третье **измерение**, поэтому и массив получается **многомерным**, в данном случае, **трёхмерным**. Массивы бóльших размерностей тоже можно встретить в программах, но значительно реже, только лишь потому, что их действительно немного сложнее представить себе.

```
int twoDimensional[5][5];
```

0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
4,0	4,1	4,2	4,3	4,4

```
int threeDimensional[3][3][3];
```



Как работать с многомерными массивами мы рассмотрим на примере двумерного массива. Поставим для себя задачу: сформировать таблицу Пифагора (раньше такие на тетрадях в клетку печатали на обратной стороне). Таблица подразумевает наличие двух измерений: строк и колонок. Для этого объявим константы rows и cols и присвоим им значения 10, `rows` – это количество строк, а `cols`, соответственно, столбцов. Создадим двумерный массив, `table[rows][cols]`. Таким образом, мы создали массив размером rows, в каждом элементе которого содержится ссылка на массив размером cols, т.е. массив массивов содержащих непосредственные значения.

Важно помнить, что описанное строение массива является понятийным, и физически в памяти элементы хранятся иначе, но на основе этого понятия можно изучить работу оператора разыменования указателей в чати работы с многомерными массивами, так для получения доступа к значению с индексом `cube[1][1][1]` нужно трижды разыменовать `cube`:
`*( *( *(cube + 1) + 1) + 1)`

Таблица Пифагора представляет собой таблицу, где строки и столбцы озаглавлены множителями, а в ячейках таблицы находится их произведение. Вот это самое произведение мы и будем сначала считать и записывать в массив, а затем выводить на экран. Заполнение многомерных массивов значениями ничем не отличается от заполнения одномерных массивов. Заполним нашу матрицу поэлементно: напишем двойной цикл который будет заполнять таблицу. Объявим переменные-итераторы. И с помощью внешнего цикла `for(;;)` пройдемся по всем строкам массива, а с помощью вложенного - по всем столбцам каждой строки массива, при этом будем записывать в каждый элемент (ячейку таблицы) результат умножения. Формула `(r + 1) * (c + 1)` позволяет исключить нули из нашей таблицы умножения. И ещё раз: внешний цикл при каж-

```
const int rows = 10, cols = 10;
int table[rows][cols];

int r, c;
for (r = 0; r < rows; r++) {
    for (c = 0; c < cols; c++)
      table[r][c] = (r + 1) * (c + 1);
}
```

дой итерации перемещает нас на одну строчку вниз. Вложенный, при каждой итерации, перемещает нас на одно значение вправо. Важно понять, что на одну итерацию внешнего цикла приходится `cols` итераций вложенного. Т.е. с помощью такой конструкции мы всегда поочередно переберём все элементы массива.

Сразу отметим, что помимо такого, поэлементного способа, также есть способ заполнять многомерные массивы посредством конструкции в фигурных скобках, этот подход часто используется когда мы заранее знаем все значения и их не очень много. Например, вот так объявляем и инициализируем двумерный массив размером 3x4:

```
int arr[3][4] = {
    {0, 1, 2, 3},
    {4, 5, 6, 7},
    {8, 9, 10, 11}
};
```

Как и в случае такой инициализации одномерного массива, указание размерности в квадратных скобках не обязательно. Обратите внимание, что при такой инициализации удобно писать каждую строку массива отдельной строкой в коде, соответвтующим образом расставляя фигурные скобки и запятые, такое оформление кода значительно улучшает его читаемость. Вернёмся к таблице Пифагора и напишем такой же (как и для заполнения) двойной цикл, который будет выводить на экран наши двумерные массивы в удобном для нас виде.

```
for (r = 0; r < rows; r++) {
    for (c = 0; c < cols; c++)
        printf("%3d ", table[r][c]);
    printf("\n");
}
```

Запустив нашу программу с формированием таблицы умножения увидим, что все отлично работает. Полный листинг программы приводить не целесообразно, поскольку это цикл с заполнением и цикл с выводом, полностью привед§нные выше. К тому же, такой код носит исключительно академический характер, и в случае действительной необходимости формирования таблицы Пифагора на экране промежуточное заполнение массива будет излишним, результат умножения целесообразнее сразу выводить на экран.

Как уже говорилось, все массивы могут содержать данные любых типов, в том числе и указатели. Именно это позволяет массиву хранить другие массивы, строки и прочие ссылочные типы данных. Используя массивы указателей, мы можем создать, например, массив строк.

```
char* stringArray[3] = {"Hello", "C", "World"};
int r;
for (r = 0; r < 3; r++)
    printf("%s ", stringArray[r]);
```

Это указатели на строки, а точнее, на строковые литералы. Такой тип данных (строковый литерал) является указателем. И мы можем создать из этих указателей массив. Используя массивы указателей, мы можем создать, например, двумерный массив, где каждый элемент не обязан быть того же размера, что и остальные (но обязан быть того же типа, как мы помним). Но строки и сложно составленные указатели - это темы, которые очень сильно выходят за рамки Основ языка, хотя, конечно, это не помешает нам немного подробнее разобраться со строками в следующем разделе.

10 Строки

Получив в предыдущих разделах представление об указателях и массивах, и вскользь несколько раз упомянув строки, пришла пора изучить их подробнее.

Итак, что же такое **строка**. В повседневной жизни строка *это набор или последовательность символов*. Так вот в языке С строка - это тоже последовательность символов. А последовательности значений, в том числе символьных, в языке С представлены, как вы, уже знаете, массивами и указателями. Никакого примитива `string` в языке С нет. Как бы нам этого не хотелось - его нет. Но есть и хорошая новость, примитива `string` не существует и в других языках (здесь имеются ввиду, конечно, си-подобные языки, то есть примерно треть вообще всех языков программирования, известных сегодня). Раз строка - это массив или указатель, это всегда ссылочный тип данных. Например, строку можно объявить двумя способами:

```
// строка
char str[50] =
    {'h','e','l','l','o',' ','w','o','r','l','d','\0'};

// литерал
    char* str = "Hello world";

```

Раз строка - это набор символов, давайте немного вспомним что такое сиволы и как с ними работать. Как вам уже известно, символьная переменная это переменная типа `char`. В отличие от строки это примитивный, числовой, тип данных, и к нему применимы все операции допустимые для примитивов, такие как присваивание, сложение, вычитание, умножение, деление, хотя не все имеют смысл, так автор, например с трудом может представить ситуацию в которой необходимо умножать или делить коды символов, кроме, пожалуй, криптографии. Обратим внимание на следующую запись: Здесь

```
    char c0 = 75;
    char c1 = 'K';

```

значением `c0` является `75`, что абсолютно эквивалентно значению переменной `c1`, равной символу `K`. То есть можно сказать, что преобразование чисел в символы и наоборот согласно таблицы, наподобие ASCII, частично приведённой на стр. 76, встроена в работу компилятора языка С. Однако для улучшения читаемости кода лучше использовать вариант `sym = 'K'`.

dec	hex	val	dec	hex	val	dec	hex	val	dec	hex	val
000	0x00	(nul)	032	0x20	□	064	0x40	@	096	0x60	‘
001	0x01	(soh)	033	0x21	!	065	0x41	A	097	0x61	a
002	0x02	(stx)	034	0x22	”	066	0x42	B	098	0x62	b
003	0x03	(etx)	035	0x23	#	067	0x43	C	099	0x63	c
004	0x04	(eot)	036	0x24	$	068	0x44	D	100	0x64	d
005	0x05	(enq)	037	0x25	%	069	0x45	E	101	0x65	e
006	0x06	(ack)	038	0x26	&	070	0x46	F	102	0x66	f
007	0x07	(bel)	039	0x27	'	071	0x47	G	103	0x67	g
008	0x08	(bs)	040	0x28	(	072	0x48	H	104	0x68	h
009	0x09	(tab)	041	0x29	)	073	0x49	I	105	0x69	i
010	0x0A	(lf)	042	0x2A	*	074	0x4A	J	106	0x6A	j
011	0x0B	(vt)	043	0x2B	+	075	0x4B	K	107	0x6B	k
012	0x0C	(np)	044	0x2C	’	076	0x4C	L	108	0x6C	l
013	0x0D	(cr)	045	0x2D	-	077	0x4D	M	109	0x6D	m
014	0x0E	(so)	046	0x2E	.	078	0x4E	N	110	0x6E	n
015	0x0F	(si)	047	0x2F	/	079	0x4F	O	111	0x6F	o
016	0x10	(dle)	048	0x30	0	080	0x50	P	112	0x70	p
017	0x11	(dc1)	049	0x31	1	081	0x51	Q	113	0x71	q
018	0x12	(dc2)	050	0x32	2	082	0x52	R	114	0x72	r
019	0x13	(dc3)	051	0x33	3	083	0x53	S	115	0x73	s
020	0x14	(dc4)	052	0x34	4	084	0x54	T	116	0x74	t
021	0x15	(nak)	053	0x35	5	085	0x55	U	117	0x75	u
022	0x16	(syn)	054	0x36	6	086	0x56	V	118	0x76	v
023	0x17	(etb)	055	0x37	7	087	0x57	W	119	0x77	w
024	0x18	(can)	056	0x38	8	088	0x58	X	120	0x78	x
025	0x19	(em)	057	0x39	9	089	0x59	Y	121	0x79	y
026	0x1A	(eof)	058	0x3A	:	090	0x5A	Z	122	0x7A	z
027	0x1B	(esc)	059	0x3B	;	091	0x5B	[	123	0x7B	{
028	0x1C	(fs)	060	0x3C	<	092	0x5C	\	124	0x7C	|
029	0x1D	(gs)	061	0x3D	=	093	0x5D	]	125	0x7D	}
030	0x1E	(rs)	062	0x3E	>	094	0x5E	^	126	0x7E	~
031	0x1F	(us)	063	0x3F	?	095	0x5F	_	127	0x7F	⌂

5: Фрагмент таблицы ASCII

Таких таблиц кодировок несколько, а может, даже и несколько десятков. Разные операционные системы и разные приложения используют разные кодировки, например, в русскоязычной версии ОС Windows по-умолчанию используется cp1251, в то время как в командной строке этой же ОС используется cp866. Файлы можно сохранить в Unicode или ANSI. UNIX-подобные ОС, такие как Linux и Mac OS X обычно используют UTF-8 или UTF-16, а более ранние операционные системы и интернет пространства в русскоязычном сегменте использовали KOI8-R.

Немного вспомнив, что такое символы, переходим к строкам. Строками мы пользуемся с самых первых страниц этого документа: написав в двойных кавычках «Привет, Мир», мы использовали строку, а если точнее, строковый литерал. Строки иногда называют типом данных, но в языке C строка это указатель на последовательно записанный набор символов, поэтому работать с ним можно, как с массивами. Строки в языке C можно описать двумя способами: как указатель и как массив из переменных типа char.

> Объявление строки как указателя на символы в языке C++ полностью заменили на указатель на константный набор символов, чтобы подчеркнуть неизменяемость литерала. То есть, если в языке C считается нормальной запись `char* s = "Hello";` то в C++ это можно записать **только** как `const char* s = "Hello";` при этом в обоих языках поведение такого указателя будет одинаковым.

Давайте создадим строку в виде массива из `char` назовем ее `string1` и запишем внутрь литерал `This is a string!` - это строка. Также создадим указатель, назовем его `string2` и запишем в него литерал `This is also a string!` – это тоже строка. Выведем наши строки в консоль и убедимся, что автор не ошибся и их действительно можно так объявлять.

```
char string1[256] = "This is a string!";
char* string2 = "This is also a string!";
printf("%s \n", string1);
printf("%s \n", string2);

```

У каждого из способов есть свои особенности. Так, например в *массиве* из переменных типа `char` мы можем изменять символы. Всё работает. Попробовав изменить какой-нибудь символ в `string1`, например, пятый, на символ `X` можно будет убедиться, что объявленная таким образом строка изменяемая, в отличие от строкового литерала, попытка изменить который приведёт к ошибке во время исполнения программы. Указатель на `char` нам не даёт возможности частично менять содержимое внутри строки, и, получается, представляет собой **immutable string** – неизменяемую строку.

```
string1[5] = 'X';
printf("%s\n", string1);

string2[5] = 'X';
printf("%s\n", string2);

```

Обратите внимание, что компилятор не считает такую запись неверной и ошибка проявляет себя только во время исполнения программы. Таким образом, становится очевидно, что программисту недостаточно просто убедиться в том, что его код компилируется, но необходимо и проверить его работу во время исполнения. Часто в этом помогают Unit-тесты. Среди нерадивых программистов бытует мнение, что вообще все тесты должны писать специалисты в тестировании, но на примере выше, когда код компилируется, а программа всё равно не работает должным образом, мы видим, что некоторая более тщательная проверка своей работы должна быть выполнена именно программистом, а тестирование - это лишь инструмент, помогающий автоматизировать такие проверки.

```
$ ./program
Hello, world!
Hello, world!
HelloX world!
zsh: bus error  ./program
$
```

Но довольно об ограничениях. Указатели на строки не такие уж бесполезные, мы можем, например, возвращать их из функций. То есть, мы можем объявить тип возвращаемого из функции значения как указатель `char*`, вернуть из нее строку и, например, вывести в консоль. Это открывает перед нами широчайшие возможности по работе с текстами.

```
1 char* helloFunction() {
2     return "Hello!";
3 }
4
5 int main() {
6     printf("%s \n",* helloFunction ());
7 }
8
```

Этот код выведет в консоль ожидаемое приветствие. Параллельно с написанием функции, приветствующей мир, предлагаю изучить некоторые стандартные возможности языка C для работы со строками. Например, специальную функцию, которая призвана выводить строки в консоль: `puts();` работает она очень похожим на `printf();` образом, но может выводить только строки, без каких-то других параметров, и всегда добавляет символ конца строки. Также изучим специальную функцию `gets();` которая призвана считывать строки из консоли и записывать их в переменные.

> Функция `gets();` некоторыми компиляторами признана небезопасной, её использование рекомендуется заменить на `gets_s();` В C11 и позднее небезопасная функция была вовсе удалена из стандартной библиотеки языка и перестала поддерживаться всеми производителями компиляторов.

Создадим изменяемую строку типа `char[]`, назовём её `name`, передадим эту строку в функцию `gets();` и выведем на экран результат, полученный из консоли. Это будет очень полезная заготовка для дальнейшего общения с пользователем.

```
    char name[255];
    gets(name);
    puts(name);

```

Теперь, мы можем поприветствовать пользователя нашей программы как следует, по имени. В нашей существовавшей функции приветствия внесём небольшие изменения. Создадим строку, в которой будем хранить приветственное слово, и в которую будет дописываться имя пользователя. Применим функцию склеивания строк. Поскольку склеивание - ненаучный термин, будем использовать слово **конкатенация**. И именно это слово подсказывает нам название функции, которую мы будем использовать: `strcat();`

> Для использования функции `strcat();` необходимо подключить в программу заголовочный файл, содержащий функции, работающие со строками `#include <string.h>`

Функция принимает на вход два параметра - строку, *к которой* нужно что-то прибавить, и строку, *которую* нужно прибавить. Логично предположить, что первая строка должна быть изменяемой (то есть являться массивом символов, а не литералом). Функция прибавит все символы второй строки в первую (если в массиве хватит места) и вернёт указатель на изменённую строку. Очень удобно. Запустим наш проект, введем имя и убедимся что всё **сломалось**.

```
char* helloFunction(char* name) {
    char welcome[255] = "Hello, ";
    return strcat(welcome, name);
}

int main(int argc, const char* argv[]) {
    char name[256];
```

```
    gets(name);

    puts(helloFunction(name));
    return 0;
}
```

Что же случилось? Мы можем возвращать из функции только фиксированные строки, как в предыдущем примере. То есть, получается, нужно писать кейс, в котором содержатся все возможные имена, и оператором вроде `switch()` перебирать все возможные варианты ввода, и описывать все возможные приветствия пользователей, иначе мы устраиваем утечку памяти, создавая болтающийся в воздухе указатель, который никак не удалим? Нет, нас это, естественно, не устраивает. Что делать? Какой бы мы ни создали указатель в функции - он перестанет существовать, как только мы выйдем из области видимости этой функции.

> В некоторых случаях может показаться, что никакой проблемы нет, поскольку написанная таким образом программа благополучно поприветствует пользователя, но такое поведение не гарантируется ни одним компилятором и ни одной операционной системой, поскольку возвращаемый таким образом указатель может быть переписан абсолютно любой следующей инструкцией кода. Такое *исчезающее* значение называется **xvalue**.

Выход очень простой: раз указатель не идёт в `int main (int argc, char *argv[])`, надо чтобы `int main (int argc, char *argv[])` дал нам указатель. Добавим в параметры функции указатель на выходную строку, и напишем что для начала сложить строки и положить в локальный массив `strcat(welcome, name)`. Добавим в основную функцию массив `char result[]`, который будет хранить результат и передадим в функцию `helloFunction` аргументы `name` и `result`. А раз функция больше ничего не возвращает, вполне легально сделать её `void`.

```
void helloFunction(char* name, char* out) {
    char welcome[255] = "Hello, ";
    strcat(welcome, name);
    out = welcome;
}

int main(int argc, const char* argv[]) {
    char name[256];
    char result[256];
    gets(name);

```

```
12      helloFunction(name, result);
13      puts(result);
14      return 0;
15  }
```

Запускаем, и **снова не работает**, да ещё и как интересно, смотрите! Предупреждение, ладно, понятно, мы о нём говорили, но дальше, когда мы вводим имя на выходе получается какая-то совсем уж непонятная строчка, совсем не похожая на приветствие.

```
$ ./program
warning: this program uses gets(), which is unsafe.
Ivan
??:

$
```

А все дело в том, что строк в языке С за время повествования не появилось, и все манипуляции со строками - это довольно сложные алгоритмы работы с памятью и массивами символов. Поэтому, работая со строками, мы должны использовать библиотечные функции, например, есть функция `strcpy()`, которая не просто перекладывает указатель в определенную переменную, а копирует строку.

```
1  void helloFunction (char* name, char* out) {
2      char welcome[255] = "Hello, ";
3      strcat(welcome, name);
4      strcpy(out, welcome);
5  }
6  int main(int argc, const char* argv[]) {
7      char name[256];
8      char result[256];
9      gets(name);
10     helloFunction(name, result);
11     puts(result);
12     return 0;
13 }
```

Если присмотреться, то можно заметить, что все функции работающие со строками, именно так и делают - запрашивают источник данных и конечную точку, куда данные нужно положить. А кто мы такие, чтобы спорить со стандартными библиотечными функциями? Обратите внимание на то, что функции `strcat();` и `strcpy();` возвращают указатель на получившуюся строку. Мы перестали возвращать указатель на получившуюся строку, поскольку никто не гарантирует, что он просуществует достаточно долго, и тут встаёт вопрос о вызывающем функцию контексте, нужен ли этот ука-

затель вызывающему. В случае необходимости, конечно, его можно вернуть. Работа со строками в C до сих пор является очень и очень актуальной темой на программистских форумах, можете удостовериться в этом самостоятельно.

Раз уж заговорили о стандартной библиотеке, рассмотрим ещё пару-тройку функций. Например, сравнение строк: функция `strcmp();` допустим, я хочу, чтобы именно меня программа приветствовала как-то иначе. Функция возвращает отрицательные значения, если первая строка меньше второй, положительные, если первая больше второй, и ноль, если строки равны. Это функция, которую удобно применять в условиях. Если строки будут действительно равны, мы скопируем в строку с именем слово `Creator`.

```
void helloFunction (char* name, char* out) {
    char welcome[255] = "Hello, ";
    if (strcmp("Ivan", name) == 0)
        strcpy(name, "Creator");
    strcat(welcome, name);
    strcpy(out, welcome);
}
```

Из всех функций для работы со строками чрезвычайно часто используются `atoi();` и `atof();` переводящие написанные в строке цифры в численные переменные внутри программы. `atoi();` переводит в `int`, а `atof();` во `float`, соответственно. Для примера объявим переменную `num`, предложим пользователю ввести цифру, естественно в виде строки. Будем принимать ее при помощи небезопасной функции `gets();`, хотя как мы помним, могли бы и `scanf();` который сразу бы преобразовал строку согласно использованного заполнителя. Заведем переменную `int number` для хранения результата работы функции преобразования. Затем, давайте умножим результат сам на себя, чтобы убедиться, что это и правда число, причём именно то, которое мы ввели, и выведем окончательное число в консоль.

```
char num[64];
puts("Enter a number: ");
gets(num);
int number = atoi(num);
number *= number;
printf("We powered your number to %d", number);
```

Полный список функций для работы со строками можно посмотреть в заголовочном файле `string.h`. Описание и механика их работы легко гуглится, документации по языку очень много.

В завершение беседы о строках и манипуляциях с ними, скажем ещё пару слов об

обработке символов. Функции для работы с символами содержатся в заголовочном файле `stdlib.h`. Естественно, наша программа может получить от пользователя какие-то значения в виде строк. Не всегда же есть возможность использовать `scanf();` например, считывание из графических полей ввода или потоковый ввод данных из сети даёт нашей программе значения в виде строк. Стандартная библиотека языка С предоставляет нам функции для работы с каждым символом строки, например:

- `isalpha();` – возвращает истину, если символ в аргументе является символом из алфавита;
- `isdigit();` – возвращает истину, если символ в аргументе является цифрой;
- `isspace();` – проверяет, является ли переданный в аргументе символ пробельным;
- `isupper(); islower();` – находится ли переданный в аргументе символ в верхнем или нижнем регистре;
- `toupper(); tolower();` – переводят символ в верхний или нижний регистр, соответственно.

Можем использовать одну из них соответственно нашей задаче, допустим, пользователь может вводить своё имя как с заглавной буквы, так и всеми строчными. Уравняем оба варианта для нашей проверки одной строкой `name[0] = tolower(name[0]);` а после проверки вернём заглавную букву на место `name[0] = toupper(name[0]);` и удостоверимся что даже если мы напишем своё имя с маленькой буквы - программа напишет его с большой.

```
void helloFunction (char* name, char* out) {
    char welcome[255] = "Hello, ";
    name[0] = tolower(name[0]);
    if (strcmp("ivan", name) == 0)
        strcpy(name, "Creator");
    name[0] = toupper(name[0]);
    strcat(welcome, name);
    strcpy(out, welcome);
}
```

11 Структуры

Несмотря на то что язык С создавался в незапамятные времена, уже тогда программисты понимали, что примитивных типов данных недостаточно для комфортного программирования. Мир вокруг можно моделировать различными способами. Самым естественным из них является представление о нём, как о наборе объектовно важно помнить, что С - это процедурный язык, в нём не существует объектно-ориентированного программирования. Тем не менее, у каждого объекта в мире есть свои свойства. Например, для человека это возраст, пол, рост, вес и т.д. Для велосипеда – тип, размер колёс, вес, материал, изготовитель и прочие. Для товара в магазине – артикул, название, группа, вес, цена, скидка и т.д. У объектов одного типа набор этих свойств одинаковый: все, например, собаки или коты могут быть описаны, с той или иной точностью, одинаковым набором свойств, но значения этих свойств будут разные.

12 Файлы

13 Распределение памяти