C

极夜酱

目录

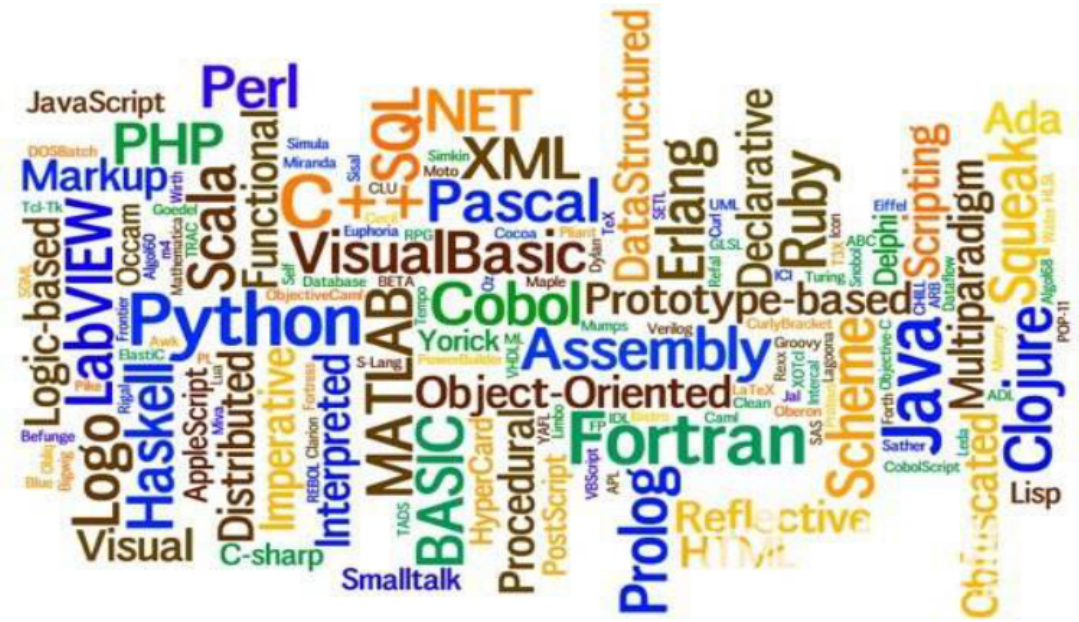
Chapter 1 Hello World!

1.1 Hello World!

1.1.1 编程语言（Programming Language）

程序是为了让计算机去解决某些问题，它由一系列指令构成。但是计算机并不能理解人类的语言，即使是最简单的，例如“计算一下 1+2 是多少”。

计算机采用的是二进制（binary），也就是只能够理解 0 和 1，因此编程语言用于作为人类与计算机之间沟通的桥梁。



通过使用编程语言来描述解决问题的步骤，从而让计算机一步一步去执行。流程图（flow chat）成为了一种程序的图形化表示方式。

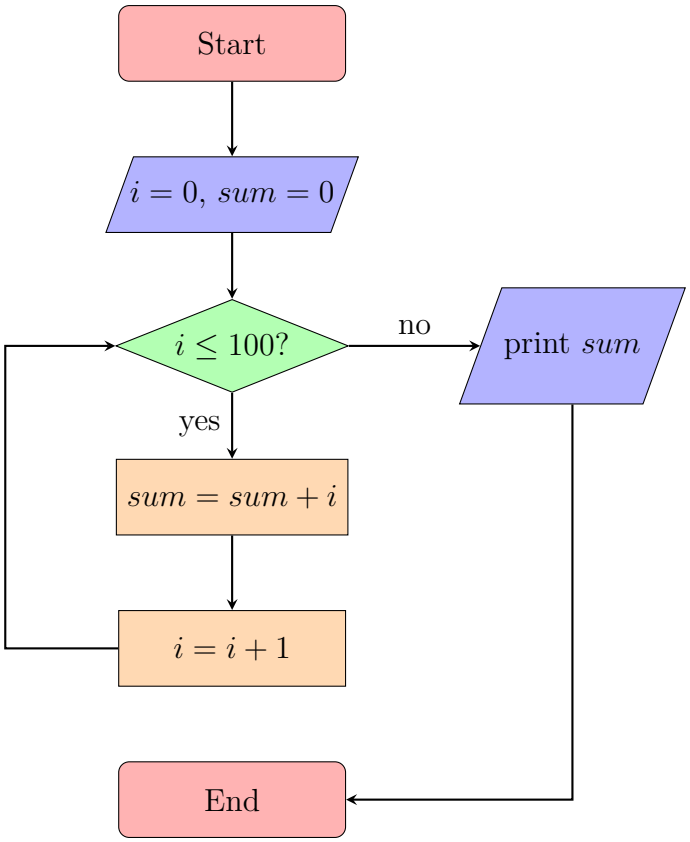


图 1.1: 计算 $\sum_{i=1}^{100} i$ 的流程图

1.1.2 Hello World!

Hello World 是学习编程的第一个程序，它的作用是向屏幕输出"Hello World!"。

Hello World!

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("Hello World!\n");
    return 0;
}
```

运行结果

```
Hello World!
```

#include <stdio.h> 用于包含标准输入输出库（standard input/output library）的头文件（header file），这样才能够在程序中进行输入输出相关的操作。

main() 是程序的入口，程序运行后会首先执行 main() 中的代码。printf() 的功能是在屏幕上输出一个字符串（string），其中 \n 表示输出一个换行符。最后的分号用于表示一条语句的结束，注意不要使用中文的分号。

return 0 表示 main() 运行结束，返回值为 0，一般返回 0 用于表示程序正常结束。

不同编程语言的 Hello World 写法大同小异，可以看出编程语言的基本结构是相似的。

C++

```cpp
#include <iostream>

using namespace std;

int main() {
    cout << "Hello World!" << endl;
    return 0;
}
```

Java

```java
public class HelloWorld {
    public static void main(String[] args) {
        System.out.println("Hello World!");
```

```
    }
}
```

Python

```
print("Hello World!")
```

1.1.3 注释（Comment）

注释就是对代码的解释和说明，它并不会程序所执行。注释能提高程序的可读性，让人更加容易了解代码的功能。

注释一般分为单行注释和多行注释：

1. 单行注释：以//开头，该行之后的内容视为注释。
2. 多行注释：以/* 开头，*/结束，中间的内容视为注释。

注释

```
/*
* Author: Terry
* Date: 2022/11/16
*/

#include <stdio.h>      // header file

int main()
{
    printf("Hello World!\n");
    return 0;
}
```

1.2 数据类型

1.2.1 数据类型（Data Types）

在计算机中，每个数据一般都有一个对应的类型，基础数据类型包括：

1. 整型
    - 短整型 short
    - 整型 int
    - 长整型 long
    - 长长整型 long long
2. 浮点型
    - 单精度浮点数 float
    - 双精度浮点数 double
3. 字符型 char

不同的数据类型所占的内存空间大小不同，因此所能表示的数值范围也不同。

数据类型	大小	取值范围
short	2 字节	$-2^{15} \sim 2^{15}-1$
int	4 字节	$-2^{31} \sim 2^{31}-1$
long	4 字节	$-2^{31} \sim 2^{31}-1$
long long	8 字节	$-2^{63} \sim 2^{63}-1$
float	4 字节	$1.2 \times 10^{-38} \sim 3.4 \times 10^{38}$
double	8 字节	$2.3 \times 10^{-308} \sim 1.7 \times 10^{308}$
char	1 字节	$-128 \sim 127$

1.2.2 变量（Variable）

变量是用来存储数据的内存空间，每个变量都有一个类型，变量中只能存储对应类型的数据。

```
1 int num = 10;
2 double wage = 8232.56;
```

变量的命名需要符合规范：

1. 由字母、数字和下划线组成，不能以数字开头
2. 不可以使用编程语言中预留的关键字
3. 使用英语单词，顾名思义

关键字是编程语言内置的一些名称，具有特殊的用处和意义，因此不应该作为变量名，防止产生歧义。

auto	break	case	char	const
continue	default	do	double	else
enum	extern	float	for	goto
if	int	long	register	return
short	signed	sizeof	static	struct
switch	typedef	union	unsigned	void
volatile	while	inline	restrict	

表 1.1: 关键字

1.2.3 常量（Constant）

变量的值在程序运行过程中可以修改，但有一些数据的值是固定的，为了防止这些数据被随意改动，可以将这些数据定义为常量。

在数据类型前加上 const 关键字，即可定义常量，常量一般使用大写表示。如果在程序中尝试修改常量，将会报错。

常量

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    const double PI = 3.1415;
    PI = 4;
    return 0;
}
```

运行结果

error: assignment of read-only variable "PI"

1.3 输入输出函数

1.3.1 printf()

printf() 的功能是向屏幕输出指定格式的文本，但是有些需要输出的字符在编程语言中具有特殊含义，因此这些特殊的字符，需要经过转义后输出。

转义字符	描述
\\	反斜杠 \
\'	单引号 '
\"	双引号 "
\n	换行
\t	制表符

表 1.2: 转义字符

转义字符

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main()
4 {
5     printf("\"Hello\nWorld\"");
6     return 0;
7 }
```

运行结果

```
"Hello
World"
```

在对变量的值进行输出时，需要在 printf() 中使用对应类型的占位符。

数据类型	占位符
int	%d
float	%f
double	%f
char	%c

表 1.3: 占位符

长方形面积

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int length = 10;
    int width = 5;
    double area;

    area = length * width;
    printf("Area = %d * %d = %.2f\n", length, width, area);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Area = 10 * 5 = 50.00
```

1.3.2 scanf()

有时候一些数据需要从键盘输入，scanf() 可以读取对应类型的数据，并赋值给相应的变量。

在被赋值的变量前需要使用取地址符 &，因为 scanf() 需要将读取到的数据保存

到该变量的内存地址中。

在使用 scanf()，通常会使用 printf() 先输出一句提示信息，告诉用户需要输入什么数据。

圆面积

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

int main()
{
    const double PI = 3.14159;
    double r;
    double area;

    printf("Radius: ");
    scanf("%lf", &r);

    area = PI * pow(r, 2);
    printf("Area = %.2f\n", area);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Radius: 5
Area = 78.54
```

头文件 math.h 中定义了一些常用的数学函数，例如 pow(x, y) 可用于计算 x 的 y 次方。

1.4 表达式

1.4.1 算术运算符

大部分编程语言中的除法与数学中的除法意义不同。

当相除的两个数都为整数时，那么就会进行整除运算，因此结果仍为整数，例如 $21 \ / \ 4 = 5$。

如果相除的两个数中至少有一个为浮点数时，那么就会进行普通的除法运算，结果为浮点数，例如 $21.0 \ / \ 4 = 5.25$。

取模（modulo）运算符% 用于计算两个整数相除之后的余数，例如 $22 \ \% \ 3 = 1$、$4 \ \% \ 7 = 4$。

逆序三位数

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int num;
    int a, b, c;

    printf("Enter a 3-digit integer: ");
    scanf("%d", &num);

    a = num / 100;
    b = num / 10 % 10;
    c = num % 10;

    printf("Reversed: %d\n", c*100 + b*10 + a);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter a 3-digit integer: 520
Reversed: 25
```

1.4.2 复合运算符

使用复合运算符可以使表达式更加简洁。例如 `a = a + b`可以写成 `a += b`，-=、*=、/=、%= 等复合运算符的使用方式同理。

当需要给一个变量的值加/减 1 时，除了可以使用 `a += 1`或 `a -= 1`之外，还可以使用 ++ 或--运算符，但是 `++`和 `--`可以出现在变量之前或之后：

表达式	含义
a++	执行完所在语句后自增 1
++a	在执行所在语句前自增 1
a--	执行完所在语句后自减 1
--a	在执行所在语句前自减 1

表 1.4: 自增/自减运算符

自增/自减运算符

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int n = 10;

    printf("%d\n", n++);
    printf("%d\n", ++n);
    printf("%d\n", n--);
    printf("%d\n", --n);
```

```
11
12      return 0;
13  }
```

运行结果

```
10
12
12
10
```

1.4.3 隐式类型转换

在计算机计算的过程中，只有类型相同的数据才可以进行运算。例如整数 + 整数、浮点数/浮点数等。

但是很多时候，我们仍然可以对不同类型的数据进行运算，而并不会产生错误，例如整数 + 浮点数。这是由于编译器会自动进行类型转换。在整数 + 浮点数的例子中，编译器会将整数转换为浮点数，这样就可以进行运算了。

编译器选择将整数转换为浮点数，而不是将浮点数转换为整数的原因在于，浮点数相比整数能够表示的范围更大。例如整数 8 可以使用 8.0 表示，而浮点数 9.28 变为整数 9 后就会丢失精度。

隐式类型转换最常见的情形就是除法运算，这也是导致整数/整数 = 整数、整数/浮点数 = 浮点数的原因。

1.4.4 显式类型转换

有些时候编译器无法自动进行类型转换，这时就需要我们手动地强制类型转换。

显式类型转换

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int total = 821;
    int num = 10;
    double average = (double)total / num;
    printf("Average = %.2f\n", average);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Average = 82.10
```

Chapter 2 分支

2.1 逻辑运算符

2.1.1 关系运算符

编程中经常需要使用关系运算符来比较两个数据的大小，比较的结果是一个布尔值（boolean），即 True（非 0）或 False（0）。

在编程中需要注意，一个等号 = 表示赋值运算，而两个等号 == 表示比较运算。

数学符号	关系运算符
$<$	<
$>$	>
$\leq$	<=
$\geq$	>=
$=$	==
$\neq$	!=

表 2.1: 关系运算符

2.1.2 逻辑运算符

逻辑运算符用于连接多个关系表达式，其结果也是一个布尔值。

1. 逻辑与 &&：当多个条件全部为 True，结果为 True。

条件 1	条件 2	条件 1 && 条件 2
T	T	T
T	F	F
F	T	F
F	F	F

2. 逻辑或 ||：多个条件至少有一个为 True 时，结果为 True。

条件 1	条件 2	条件 1 || 条件 2
T	T	T
T	F	T
F	T	T
F	F	F

3. 逻辑非!：条件为 True 时，结果为 False；条件为 False 时，结果为 True。

条件	! 条件
T	F
F	T

2.2 if

2.2.1 if

if 语句用于判断一个条件是否成立，如果成立则进入语句块，否则不执行。

年龄

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int age;
    printf("Enter your age: ");
    scanf("%d", &age);
    if(age > 0 && age < 18)
    {
        printf("Minor\n");
    }
    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter your age: 17
Minor
```

2.2.2 if-else

if-else 的结构与 if 类似，只是在 if 语句块中的条件不成立时，执行 else 语句块中的语句。

闰年

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int year;
    printf("Enter a year: ");
    scanf("%d", &year);

    /*
     * A year is a leap year if it is
     * 1. exactly divisible by 4, and not divisible by 100;
     * 2. or is exactly divisible by 400
     */
    if((year % 4 == 0 && year % 100 != 0) || year % 400 == 0)
    {
        printf("Leap year\n");
    }
    else
    {
        printf("Common year\n");
    }

    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter a year: 2020
Leap year
```

2.2.3 if-else if-else

当需要对更多的条件进行判断时，可以使用 if-else if-else 语句。

字符

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("Enter a character: ");
    char c = getchar();

    if(c >= 'a' && c <= 'z')
    {
        printf("Lowercase\n");
    }
    else if(c >= 'A' && c <= 'Z')
    {
        printf("Uppercase\n");
    }
    else if(c >= '0' && c <= '9')
    {
        printf("Digit\n");
    }
    else
    {
        printf("Special character\n");
    }

    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter a character: T
Uppercase
```

2.3 switch

2.3.1 switch

switch 结构用于根据一个整数值，选择对应的 case 执行。需要注意的是，当对应的 case 中的代码被执行完后，并不会像 if 语句一样跳出 switch 结构，而是会继续向后执行，直到遇到 break。

计算器

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int num1, num2;
    char operator;

    printf("Enter an expression: ");
    scanf("%d %c %d", &num1, &operator, & num2);

    switch (operator)
    {
    case '+':
        printf("%d + %d = %d\n", num1, num2, num1 + num2);
        break;
    case '-':
        printf("%d - %d = %d\n", num1, num2, num1 - num2);
        break;
    case '*':
        printf("%d * %d = %d\n", num1, num2, num1 * num2);
        break;
    case '/':
        printf("%d / %d = %d\n", num1, num2, num1 / num2);
        break;
    default:
        printf("Error! Operator is not supported\n");
        break;
```

```
27      }
28
29      return 0;
30  }
```

运行结果

```
Enter an expression: 5 * 8
5 * 8 = 40
```

Chapter 3 循环

3.1 while

3.1.1 while

while 循环会对条件进行判断，如果条件成立，就会执行循环体，然后再次判断条件，直到条件不成立。

while 循环的次数由循环变量的变化决定，因此 while 循环一般都包括对循环变量的初值、判断和更新。

```
1 int i = 1;          // initial value
2 while(i <= 5)       // condition
3 {
4     printf("In loop: i = %d\n", i);
5     i++;            // update
6 }
7 printf("After loop: i = %d\n", i);
```

while 循环的特点是先判断、再执行，因此循环体有可能会执行一次或多次，也有可能一次也不会执行。

平均身高

```
1 #include <stdio.h>
2 #define NUM_PEOPLE 5
3
4 int main()
5 {
6     double height;
7     double total = 0;
```

```c

    int i = 1;
    while (i <= NUM_PEOPLE)
    {
        printf("Enter person %d's height: ", i);
        scanf("%lf", &height);
        total += height;
        i++;
    }

    double average = total / NUM_PEOPLE;
    printf("Average height: %.2f\n", average);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter person 1's height: 160.8
Enter person 2's height: 175.2
Enter person 3's height: 171.2
Enter person 4's height: 181.3
Enter person 5's height: 164
Average height: 170.50
```

统计元音、辅音数量

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    char c;
    int vowel = 0;
    int consonant = 0;

    printf("Enter an English sentence: ");
```

```
10
11      while ((c = getchar()) != '\n')
12      {
13          if (c == 'a' || c == 'A' ||
14              c == 'e' || c == 'E' ||
15              c == 'i' || c == 'I' ||
16              c == 'o' || c == 'O' ||
17              c == 'u' || c == 'U')
18          {
19              vowel++;
20          }
21          else if ((c >= 'a' && c <= 'z') || (c >= 'A' && c <= 'Z'))
22          {
23              consonant++;
24          }
25      }
26
27      printf("Vowel = %d\n", vowel);
28      printf("Consonant = %d\n", consonant);
29      return 0;
30  }
```

运行结果

```
Enter an English sentence: Hello World!
Vowel = 3
Consonant = 7
```

3.1.2 do-while

do-while 循环是先执行一轮循环体内的代码后，再检查循环的条件是否成立。如果成立，则继续下一轮循环；否则循环结束。

do-while 循环是先执行、再判断，因此它至少会执行一轮循环。do-while 一般应

用在一些可能会需要重复，但必定会发生一次的情景下。例如登录账户，用户输入账户和密码后，检查是否正确，如果正确，那么就成功登录；否则继续循环让用户重新输入。

需要注意，do-while 循环的最后有一个分号。

```
do {
    // code
} while(condition);
```

计算整数位数

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int num;
    int n = 0;

    printf("Enter an integer: ");
    scanf("%d", &num);

    do
    {
        num /= 10;
        n++;
    } while(num != 0);

    printf("Digits: %d\n", n);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter an integer: 123
Digits: 3
```

猜数字

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

int main()
{
    srand(time(NULL));          // set random seed

    // generate random number between 1 and 100
    int answer = rand() % 100 + 1;
    int num = 0;
    int cnt = 0;

    do
    {
        printf("Guess a number: ");
        scanf("%d", &num);
        cnt++;

        if(num > answer)
        {
            printf("Too large\n");
        }
        else if(num < answer)
        {
            printf("Too small\n");
        }
    } while(num != answer);
```

```
29
30      printf("Correct! You guessed %d times.\n", cnt);
31      return 0;
32  }
```

运行结果

```
Guess a number: 50
Too large
Guess a number: 25
Too small
Guess a number: 37
Too small
Guess a number: 43
Too small
Guess a number: 46
Too small
Guess a number: 48
Too small
Guess a number: 49
Correct! You guessed 7 times.
```

3.2 for

3.2.1 for

while 循环将循环变量的初值、条件和更新写在了三个地方，但是这样不容易明显地看出循环变量的变化。

for 循环将循环变量的初值、条件和更新写在了一行内，中间用分号隔开。对于指定次数的循环一般更多地会采用 for 循环，而对于不确定次数的一般会采用 while 循环。

```
for(int i = 0; i < 5; i++)
{
    printf("i = %d\n", i);
}
```

累加

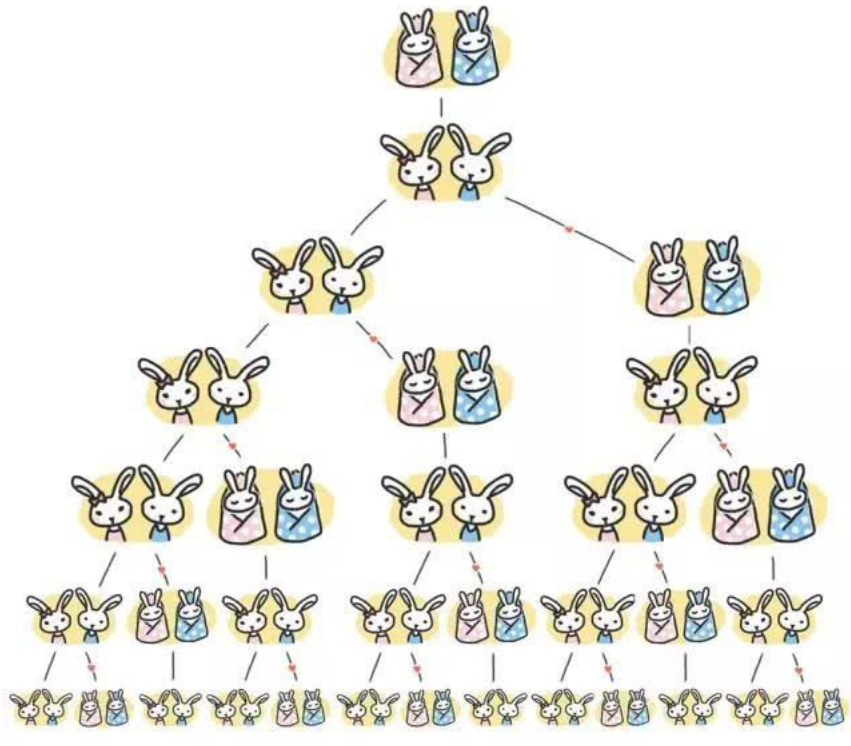
```
#include <stdio.h>

int main()
{
    int sum = 0;
    for(int i = 1; i <= 100; i++)
    {
        sum += i;
    }
    printf("Sum = %d\n", sum);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Sum = 5050
```

斐波那契数列



```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int n;
    printf("Enter the number of terms: ");
    scanf("%d", &n);

    if(n == 1)
    {
        printf("1\n");
    }
    else if(n == 2)
    {
        printf("1, 1\n");
    }
    else
    {
```

```
        int num1, num2, val;
        num1 = 1;
        num2 = 1;
        printf("1, 1");

        for(int i = 3; i <= n; i++)
        {
            val = num1 + num2;
            printf(", %d", val);
            num1 = num2;
            num2 = val;
        }
        printf("\n");
    }

    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter the number of terms: 10
1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55
```

3.2.2 嵌套循环

循环也可以嵌套使用，外层循环每执行一次，内层循环就会执行多次。

```
for(int i = 0; i < 2; i++)
{
    for(int j = 0; j < 3; j++)
    {
        printf("i = %d, j = %d\n", i, j);
    }
}
```

运行结果

```
i = 0, j = 0
i = 0, j = 1
i = 0, j = 2
i = 1, j = 0
i = 1, j = 1
i = 1, j = 2
```

九九乘法表

1*1=1	1*2=2	1*3=3	1*4=4	1*5=5	1*6=6	1*7=7	1*8=8	1*9=9
2*1=2	2*2=4	2*3=6	2*4=8	2*5=10	2*6=12	2*7=14	2*8=16	2*9=18
3*1=3	3*2=6	3*3=9	3*4=12	3*5=15	3*6=18	3*7=21	3*8=24	3*9=27
4*1=4	4*2=8	4*3=12	4*4=16	4*5=20	4*6=24	4*7=28	4*8=32	4*9=36
5*1=5	5*2=10	5*3=15	5*4=20	5*5=25	5*6=30	5*7=35	5*8=40	5*9=45
6*1=6	6*2=12	6*3=18	6*4=24	6*5=30	6*6=36	6*7=42	6*8=48	6*9=54
7*1=7	7*2=14	7*3=21	7*4=28	7*5=35	7*6=42	7*7=49	7*8=56	7*9=63
8*1=8	8*2=16	8*3=24	8*4=32	8*5=40	8*6=48	8*7=56	8*8=64	8*9=72
9*1=9	9*2=18	9*3=27	9*4=36	9*5=45	9*6=54	9*7=63	9*8=72	9*9=81

```c
#include <stdio.h>

int main()
{
    for(int i = 1; i <= 9; i++)
    {
        for(int j = 1; j <= 9; j++)
        {
            printf("%d*%d=%d\t", i, j, i*j);
        }
        printf("\n");
```

```
    }
    return 0;
}
```

输出图案

```
*
**
***
****
*****
```

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    for(int i = 1; i <= 5; i++)
    {
        for(int j = 1; j <= i; j++)
        {
            printf("*");
        }
        printf("\n");
    }
    return 0;
}
```

3.3 break or continue?

3.3.1 break

break 可用于 switch 和循环，用于跳出当前的结构。在一些情况下，在循环的中途已经完成了某个目标，没有必要再进行剩余的循环，这时就可以使用 break 跳出循环。

例如在判断一个数 n 是否为素数时，利用循环逐个判断 $2 \sim n-1$ 之间的数是否能整除 n。只要发现其中有一个数能整除 n，就证明 n 不是素数，可以跳出循环，不必再进行剩余的循环。

素数

```
#include <stdio.h>
#include <stdbool.h>
#include <math.h>

int main()
{
    int n;
    printf("Enter an integer: ");
    scanf("%d", &n);

    bool is_prime = true;
    for(int i = 2; i <= sqrt(n); i++)
    {
        if(n % i == 0)
        {
            is_prime = false;
            break;
        }
    }

    if(is_prime)
```

```
22      {
23          printf("%d is a prime number\n", n);
24      }
25      else
26      {
27          printf("%d is not a prime number\n", n);
28      }
29
30      return 0;
31  }
```

运行结果

```
Enter an integer: 17
17 is a prime number
```

3.3.2 continue

continue 与 break 使用方法类似，但是它并不是跳出循环，而是跳过本轮循环，直接开始下一轮循环。

正数平方和

```
1   #include <stdio.h>
2
3   int main()
4   {
5       int n = 10;
6       printf("Enter 10 integers: ");
7
8       int sum_square = 0;
9       for(int i = 0; i < n; i++)
10      {
11          int num;
```

```
        scanf("%d", &num);
        if(num <= 0)
        {
            continue;
        }

        sum_square += num * num;
    }

    printf("Sum of squares of positive integers: %d\n", sum_square);

    return 0;
}
```

运行结果

```
Enter 10 integers: 5 7 -2 0 4 -4 -9 3 9 5
Sum of squares of positive integers: 205
```

Chapter 4 数组

4.1 一维数组

4.1.1 数组（Array）

一个变量只能存储一个内容，如果需要存储更多数据，就需要使用数组解决问题。一个数组变量可以存放多个数据，数组是一个值的集合，它们共享同一个名字，数组中的每个变量都能被其下标所访问。

```
1 int number[10];
2 float grade[50];
```

a[0]	a[1]	a[2]	a[3]	a[4]

- 元素：数组中的每个变量
- 大小：数组的容量
- 下标 / 索引（index）：元素的位置，下标从 0 开始，必须为非负整数

4.1.2 数组初始化

一维数组可以在声明时进行初始化：

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

很多时候在使用数组之前需要将数组的内容全部清空，这可以利用循环来实现。

一维数组初始化

```c
int arr[100];
for(int i = 0; i < 100; i++)
{
    arr[i] = 0;
}
```

数组最大值和最小值

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int num[] = {7, 6, 2, 9, 3, 1, 4, 0, 5, 8};
    int n = sizeof(num) / sizeof(num[0]);
    int max = num[0];
    int min = num[0];

    for(int i = 1; i < n; i++) {
        if(num[i] > max) {
            max = num[i];
        } else if(num[i] < min) {
            min = num[i];
        }
    }

    printf("max = %d\n", max);
    printf("min = %d\n", min);
    return 0;
}
```

运行结果

```
max = 9
min = 0
```

4.2 二维数组

4.2.1 二维数组（2D Array）

二维数组包括行和列两个维度，可以看成是由多个一维数组组成。

a[0][0]	a[0][1]	a[0][2]	a[0][3]
a[1][0]	a[1][1]	a[1][2]	a[1][3]
a[2][0]	a[2][1]	a[2][2]	a[2][3]

二维数组可以在声明时进行初始化：

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

初始化二维数组

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main()
4  {
5      int arr[3][4];
6      for(int i = 0; i < 3; i++)
7      {
8          for(int j = 0; j < 4; j++)
9          {
10             arr[i][j] = 0;
11         }
12     }
13     return 0;
14 }
```

矩阵运算

矩阵的加法/减法是指两个矩阵把其相对应元素进行加减的运算。

矩阵加法：两个 $m \times n$ 矩阵 A 和 B 的和，标记为 $A+B$，结果为一个 $m \times n$ 的矩阵，其内的各元素为其相对应元素相加后的值。

矩阵减法：两个 $m \times n$ 矩阵 A 和 B 的差，标记为 $A-B$，结果为一个 $m \times n$ 的矩阵，其内的各元素为其相对应元素相减后的值。

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 0 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 7 & 5 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+0 & 3+0 \\ 1+7 & 0+5 \\ 1+2 & 2+1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 8 & 5 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 0 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 7 & 5 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-0 & 3-0 \\ 1-7 & 0-5 \\ 1-2 & 2-1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ -6 & -5 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int A[3][2] = {
        {1, 3},
        {1, 0},
        {1, 2}
    };
    int B[3][2] = {
        {0, 0},
        {7, 5},
        {2, 1}
    };
    int C[3][2];

    printf("矩阵加法\n");
    for(int i = 0; i < 3; i++) {
        for(int j = 0; j < 2; j++) {
            C[i][j] = A[i][j] + B[i][j];
```

```
20              printf("%3d", C[i][j]);
21          }
22          printf("\n");
23      }
24
25      printf("矩阵减法\n");
26      for(int i = 0; i < 3; i++) {
27          for(int j = 0; j < 2; j++) {
28              C[i][j] = A[i][j] - B[i][j];
29              printf("%3d", C[i][j]);
30          }
31          printf("\n");
32      }
33
34      return 0;
35  }
```

运行结果

```
矩阵加法
1  3
8  5
3  3
矩阵减法
1  3
-6 -5
-1  1
```

4.3 字符串

4.3.1 字符串（String）

由字符组成的数组成为字符串。字符串有两种初始化的方式。第一种就是普通的数组初始化形式，另一种是直接使用双引号。

```
char str[8] = {'p', 'r', 'o', 'g', 'r', 'a', 'm', '\0'};
char str[8] = "program";
```

字符串结尾需要添加一个字符 \0 表示结束符，字符串遇到 \0 结束。\0 占一个字符的大小，记入字符数组的大小。

通过占位符%s 可以对字符串进行输入输出操作：

```
printf("%s", str);
puts(str);

scanf("%s", str);
gets(str);
```

使用 scanf() 读取字符串的时候，字符串会读到空格为止，空格后的内容不会被保存到字符串中。如果需要能够读取字符串直到回车键为止，可以使用 gets()。

字符串输入输出

```
#include <stdio.h>

int main() {
    char str[32];
    printf("输入字符串： ");
    gets(str);
    printf("%s\n", str);
    return 0;
}
```

运行结果

```
输入字符串：hello world
hello world
```

统计字符串中某个字符出现的次数

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    char str[32];       // 字符串
    char c;             // 待统计字符
    int cnt = 0;        // 出现次数
    int i = 0;

    printf("输入字符串：");
    gets(str);
    printf("输入待统计字符：");
    c = getchar();

    while(str[i] != '\0') {
        if(str[i] == c) {
            cnt++;
        }
        i++;
    }

    printf("%c在%s中出现了%d次\n", c, str, cnt);
    return 0;
}
```

运行结果

```
输入字符串: this is a test
输入待统计字符: t
t在this is a test中出现了3次
```

4.3.2 ASCII 码

ASCII 全称 American Standard Code for Information Interchange（美国信息交换标准代码），一共定义了 128 个字符。

ASCII	字符	ASCII	字符	ASCII	字符	ASCII	字符
0	NUT	32	(space)	64	@	96	`
1	SOH	33	!	65	A	97	a
2	STX	34	"	66	B	98	b
3	ETX	35	#	67	C	99	c
4	EOT	36	$	68	D	100	d
5	ENQ	37	%	69	E	101	e
6	ACK	38	&	70	F	102	f
7	BEL	39	’	71	G	103	g
8	BS	40	(	72	H	104	h
9	HT	41	)	73	I	105	i
10	LF	42	*	74	J	106	j
11	VT	43	+	75	K	107	k
12	FF	44	,	76	L	108	l
13	CR	45	-	77	M	109	m
14	SO	46	.	78	N	110	n
15	SI	47	/	79	O	111	o
16	DLE	48	0	80	P	112	p
17	DC1	49	1	81	Q	113	q
18	DC2	50	2	82	R	114	r
19	DC3	51	3	83	S	115	s

20	DC4	52	4	84	T	116	t
21	NAK	53	5	85	U	117	u
22	SYN	54	6	86	V	118	v
23	TB	55	7	87	W	119	w
24	CAN	56	8	88	X	120	x
25	EM	57	9	89	Y	121	y
26	SUB	58	:	90	Z	122	z
27	ESC	59	;	91	[	123	{
28	FS	60	<	92	/	124	|
29	GS	61	=	93	]	125	}
30	RS	62	>	94	^	126	~
31	US	63	?	95	_	127	DEL

表 4.1: ASCII 码表

ASCII 码

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    for(int i = 0; i < 128; i++) {
        printf("%d - %c\n", i, i);
    }
    return 0;
}
```

4.3.3 字符串操作函数

C 的系统库中提供了一些对字符串的常用操作函数，这些函数都定义在 string.h 头文件中。

strlen()

计算字符串的长度，不包括 \0 结束符。

strlen()

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

int main() {
    char s[32] = "hello world";
    printf("字符串长度 = %d\n", strlen(s));
    return 0;
}
```

运行结果

```
字符串长度 = 11
```

strcpy()

将一个字符串复制到另一个字符串中，须确保第一个字符串有足够大的长度。

strcpy()

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

int main() {
    char s1[32] = "hello world";
    char s2[32] = "program";

    strcpy(s1, s2);
    printf("s1 = %s\n", s1);
    printf("s2 = %s\n", s2);
```

```
11      return 0;
12  }
```

运行结果

```
s1 = program
s2 = program
```

strcat()

将第二个字符串拼接到第一个字符串尾部，须确保第一个字符串有足够大的长度。

strcat()

```
1   #include <stdio.h>
2   #include <string.h>
3
4   int main() {
5       char s1[32] = "hello";
6       char s2[32] = "world";
7
8       strcat(s1, s2);     // 把s2拼接到s1后面，s2不发生改变
9       printf("s1 = %s\n", s1);
10      printf("s2 = %s\n", s2);
11      return 0;
12  }
```

运行结果

```
s1 = helloworld
s2 = world
```

strcmp()

比较两个字符串的大小，依次比较字符串中每一个字符的 ASCII 码。

- 返回负数：字符串 1 小于字符串 2。
- 返回正数：字符串 1 大于字符串 2。
- 返回 0：字符串 1 等于字符串 2。

strcmp()

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

int main() {
    char s1[32] = "communication";
    char s2[32] = "compare";
    printf("strcmp()比较结果：%d\n", strcmp(s1, s2));
    return 0;
}
```

运行结果

```
strcmp()比较结果：-1
```

登录

```c
/**
* 缓冲区溢出
* 用户名输入：[32个任意字符] + [新用户名]
* 密　码输入：[32个任意字符] + [新密　码]
* 产生缓冲区溢出，密码被篡改
* 下一次登录输入新用户名和密码就能实现成功登录
*/
#include <stdio.h>
```

```c
#include <string.h>

int main() {
    char username[16] = "admin";
    char password[16] = "qwerty";
    char input_username[16];
    char input_password[16];

    while(1) {
        printf("用户名: ");
        gets(input_username);
        printf("密　码: ");
        gets(input_password);

        if(strcmp(input_username, username) == 0
            && strcmp(input_password, password) == 0) {
            printf("登录成功! \n");
            break;
        } else {
            printf("用户名或密码错误! \n");
        }
    }

    return 0;
}
```

运行结果

```
用户名: admin
密　码: qwerty
登录成功!
```

4.4 字符串数组

4.4.1 字符串数组

字符串数组就是由多个字符串组成的数组，可以看作是一个二维的字符数组，其中第一维表示字符串数组的大小，第二维表示每个字符串的最大长度。

```
1 char str[4][12] = {"C++", "Java", "Python", "JavaScript"};
```

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C	+	+	\0								
J	a	v	a	\0							
P	y	t	h	o	n	\0					
J	a	v	a	S	c	r	i	p	t	\0	

- str[0]: "C++"
- str[1]: "Java"
- str[0][0]: 'C'
- str[0][1]: '+'
- str[0][2]: '+'

遍历字符串数组

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main() {
4     char str[4][12] = {"C++", "Java", "Python", "JavaScript"};
5     for(int i = 0; i < 4; i++) {
6         printf("%s\n", str[i]);
7     }
8     return 0;
9 }
```

运行结果

```
C++
Java
Python
JavaScript
```

Chapter 5 函数

5.1 函数

5.1.1 函数（Function）

函数执行一个特定的任务，C 提供了大量内置函数，例如 printf() 用来输出字符串、strlen() 用来计算字符串长度等。

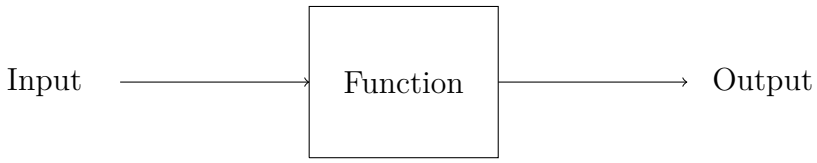


图 5.1: 函数

当调用函数时，程序控制权会转移给被调用的函数，当函数执行结束后，函数会把程序序控制权交还给其调用者。

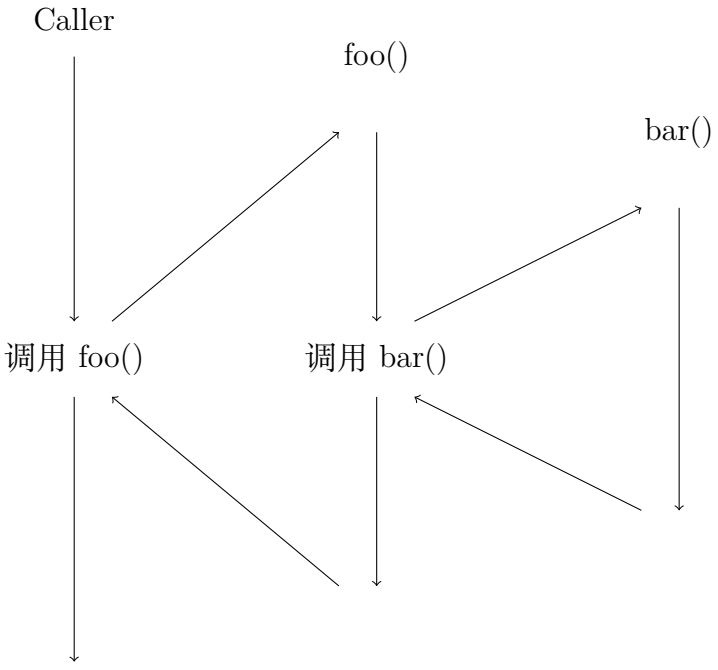


图 5.2: 函数调用

函数声明时需要指定函数的名称、返回类型和参数。在函数声明时，参数的名称

可以省略，但是参数的类型是必须的。

函数的参数列表包括参数的类型、顺序、数量等信息，参数列表可以为空。

函数可以返回一个值，函数的返回类型为被返回的值的类型。函数也可以不返回任何值，此时函数的返回类型应定义为 void。

```
return_type function_name(parameter_list);
```

```
data_type function_name(parameter_list) {
    // code
}
```

5.1.2 函数设计方法

为什么不把所有的代码全部写在一起，还需要自定义函数呢?

使用函数有以下好处:

1. 避免代码复制，代码复制是程序质量不良的表现
2. 便于代码维护
3. 避免重复造轮子，提高开发效率

在设计函数的时候需要考虑以下的几点要素:

1. 确定函数的功能
2. 确定函数的参数
    - 是否需要参数
    - 参数个数
    - 参数类型
3. 确定函数的返回值

- 是否需要返回值
- 返回值类型

函数实现返回最大值

```c
#include <stdio.h>

// 函数原型
int max(int num1, int num2);

int main() {
    printf("%d\n", max(4, 12));
    printf("%d\n", max(54, 33));
    printf("%d\n", max(0, -12));
    printf("%d\n", max(-999, -774));
    return 0;
}

// 函数实现
int max(int num1, int num2) {
    // if(num1 > num2) {
    //     return num1;
    // } else {
    //     return num2;
    // }

    return num1 > num2 ? num1 : num2;
}
```

运行结果

```
12
54
0
-774
```

函数实现累加和

```c
#include <stdio.h>

int sum(int start, int end) {
    int total = 0;
    for(int i = start; i <= end; i++) {
        total += i;
    }
    return total;
}

int main() {
    printf("1-100的累加和 = %d\n", sum(1, 100));
    printf("1024-2048的累加和 = %d\n", sum(1024, 2048));
    return 0;
}
```

运行结果

```
1-100的累加和 = 5050
1024-2048的累加和 = 1574400
```

函数实现输出 i 行 j 列由自定义字符组成的图案

```c
#include <stdio.h>

void printChars(int row, int col, char c) {
    for(int i = 0; i < row; i++) {
        for(int j = 0; j < col; j++) {
            printf("%c", c);
        }
        printf("\n");
    }
}
```

```
11
12 int main() {
13     printChars(5, 10, '?');
14     return 0;
15 }
```

运行结果

```
??????????
??????????
??????????
??????????
??????????
```

自定义函数实现 strlen()

```
1  #include <stdio.h>
2
3  /**
4      * @brief  自定义计算字符串长度函数
5      * @param  str[]: 待计算字符串
6      * @retval 字符串长度
7      */
8  int myStrlen(char str[]) {
9      int i = 0;
10     while(str[i] != '\0') {
11         i++;
12     }
13     return i;
14 }
15
16 int main() {
17     char s[32] = "hello world";
18     printf("字符串长度 = %d\n", myStrlen(s));
19     return 0;
```

```
}
```

运行结果

```
字符串长度 = 11
```

自定义函数实现 strcpy()

```c
#include <stdio.h>

/**
    * @brief  自定义字符串复制函数
    * @param  dst[]: 目标字符串
    * @param  src[]: 源字符串
    * @retval None
    */
void myStrcpy(char dst[], char src[]) {
    int i = 0;
    while(src[i] != '\0') {
        dst[i] = src[i];
        i++;
    }
    dst[i] = '\0';
}

int main() {
    char s1[32] = "hello world";
    char s2[32] = "program";

    myStrcpy(s1, s2);
    printf("s1 = %s\n", s1);
    printf("s2 = %s\n", s2);
    return 0;
}
```

运行结果

```
s1 = program
s2 = program
```

自定义函数实现 strcat()

```c
#include <stdio.h>

/**
    * @brief  自定义字符串拼接函数
    * @param  dst[]: 目标字符串
    * @param  src[]: 源字符串
    * @retval None
    */
void myStrcat(char dst[], char src[]) {
    int i = 0;
    int j = 0;

    // 找到目标字符串尾部
    while(dst[i] != '\0') {
        i++;
    }

    while(src[j] != '\0') {
        dst[i++] = src[j++];
    }
    dst[i] = '\0';
}

int main() {
    char s1[32] = "hello";
    char s2[32] = "world";

    myStrcat(s1, s2);
```

```
29      printf("s1 = %s\n", s1);
30      printf("s2 = %s\n", s2);
31      return 0;
32  }
```

运行结果

```
s1 = helloworld
s2 = world
```

5.2 变量作用域

5.2.1 局部变量（Local Variable）

定义在块内的变量就是本地变量，在进入块之前，其中的变量不存在，离开块，变量则释放。在一个块内不能定义同名的变量，并且本地变量不会被默认初始化。

本地变量的生存周期从声明时开始到所在块结束消亡，其作用域为所在的块中。

在函数中，函数的每次调用就会产生一个独立的空间，在这个空间中的变量，是函数的这次运行所独有的，函数的参数也是本地变量。

局部变量

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int a = 1;
    printf("a = %d\n", a);
    {
        int a = 2;
        printf("a = %d\n", a);
    }
    printf("a = %d\n", a);
    return 0;
}
```

运行结果

```
a = 1
a = 2
a = 1
```

5.2.2 全局变量（Global Variable）

全局变量可以在程序任何地方创建，可以被本程序所有对象或函数引用。但是全局变量会占用更多的内存（因为其生命周期长），使用全局变量程序运行时速度更快一些（因为内存不需要再分配）。

全局变量的优先级低于局部变量，当全局变量与局部变量重名的时候，起作用的是局部变量，全局变量会被暂时屏蔽掉。

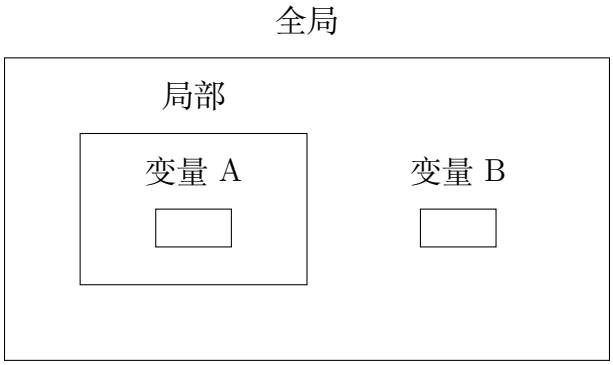


图 5.3: 全局变量

全局变量

```c
#include <stdio.h>

int a = 1;      // 全局变量

int main() {
    int a = 2;  // 本地变量
    printf("a = %d\n", a);
    return 0;
}
```

运行结果

```
a = 2
```

5.3 递归

5.3.1 递归（Recursion）

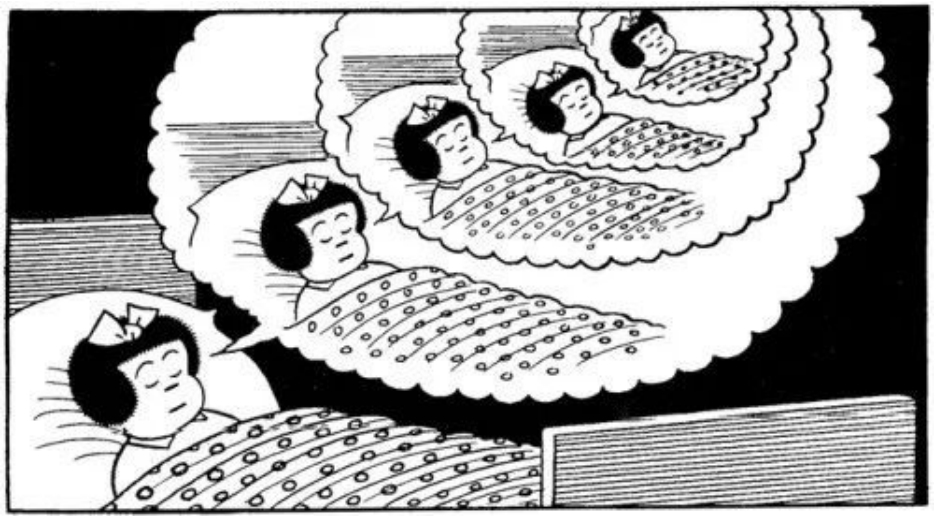
要理解递归，先得理解递归（见5.3章节）。

在函数的内部，直接或者间接的调用自己的过程就叫作递归。对于一些问题，使用递归可以简洁易懂的解决问题，但是递归的缺点是性能低，占用大量系统栈空间。

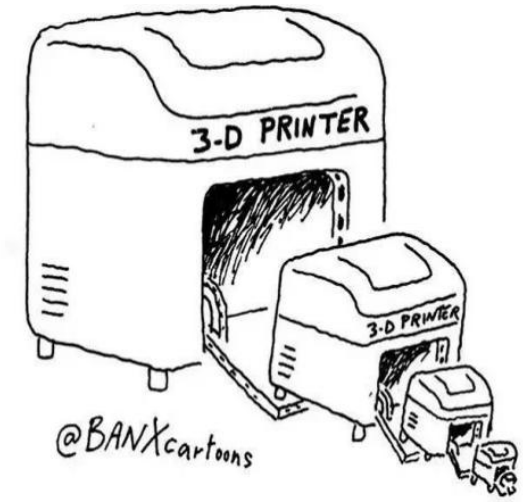
递归算法很多时候可以处理一些特别复杂、难以直接解决的问题。例如：

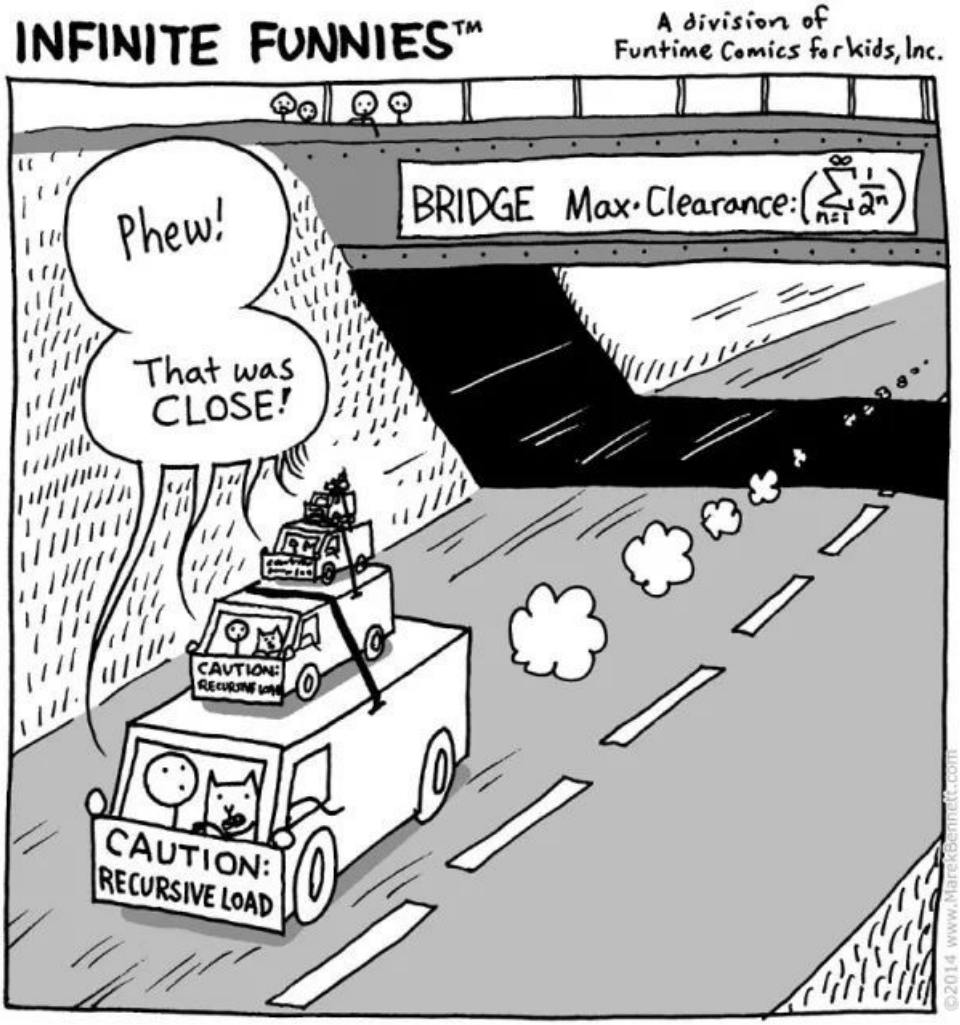
- 迷宫
- 汉诺塔
- 八皇后
- 排序
- 搜索

在定义递归函数时，一定要确定一个结束条件，否则会造成无限递归的情况，最终会导致栈溢出。




CN
COLLECTION


3-D PRINTER
3-D PRINTER
@BANXcartoons



无限递归

```c
#include <stdio.h>

void tellStory() {
    printf("从前有座山\n");
    printf("山里有座庙\n");
    printf("庙里有个老和尚和小和尚\n");
    printf("老和尚在对小和尚讲故事\n");
    printf("他讲的故事是：\n");
    tellStory();
}

int main() {
    tellStory();
```

```
    return 0;
}
```

运行结果

```
从前有座山
山里有座庙
庙里有个老和尚和小和尚
老和尚对小和尚在讲故事
他讲的故事是:
从前有座山
山里有座庙
庙里有个老和尚和小和尚
老和尚对小和尚在讲故事
他讲的故事是:
...
```

递归函数一般需要定义递归的出口，即结束条件，确保递归能够在适合的地方退出。

阶乘

```c
#include <stdio.h>

int factorial(int n) {
    if(n == 0 || n == 1) {
        return 1;
    }
    return n * factorial(n-1);
}

int main() {
    printf("5! = %d\n", factorial(5));
    return 0;
```

```
13 }
```

运行结果

```
5! = 120
```

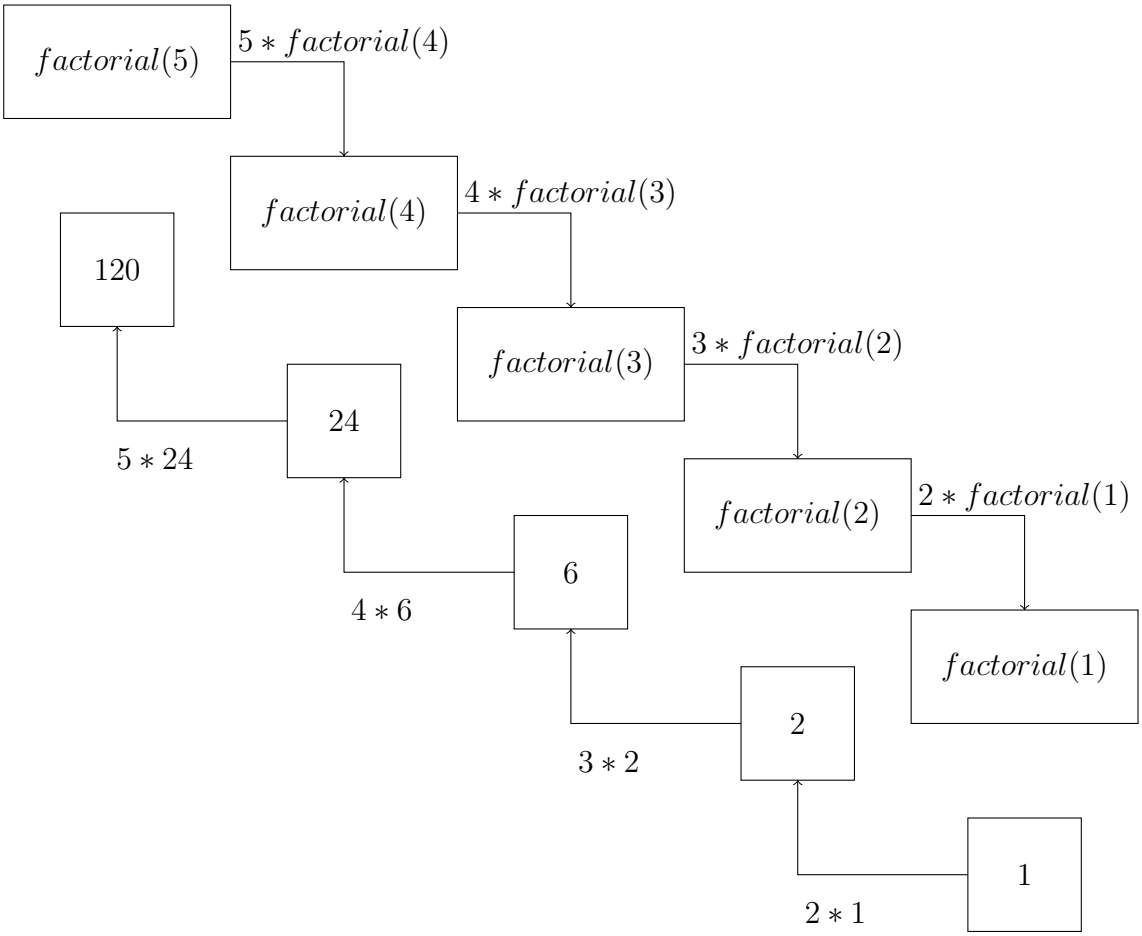


图 5.4: 阶乘

斐波那契数列（递归）

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int fibonacci(int n) {
4      if(n == 1 || n == 2) {
5          return 1;
6      }
```

```
    return fibonacci(n-2) + fibonacci(n-1);
}

int main() {
    int n = 7;
    printf("斐波那契数列第%d位: %d\n", n, fibonacci(n));
    return 0;
}
```

运行结果

斐波那契数列第7位: 13

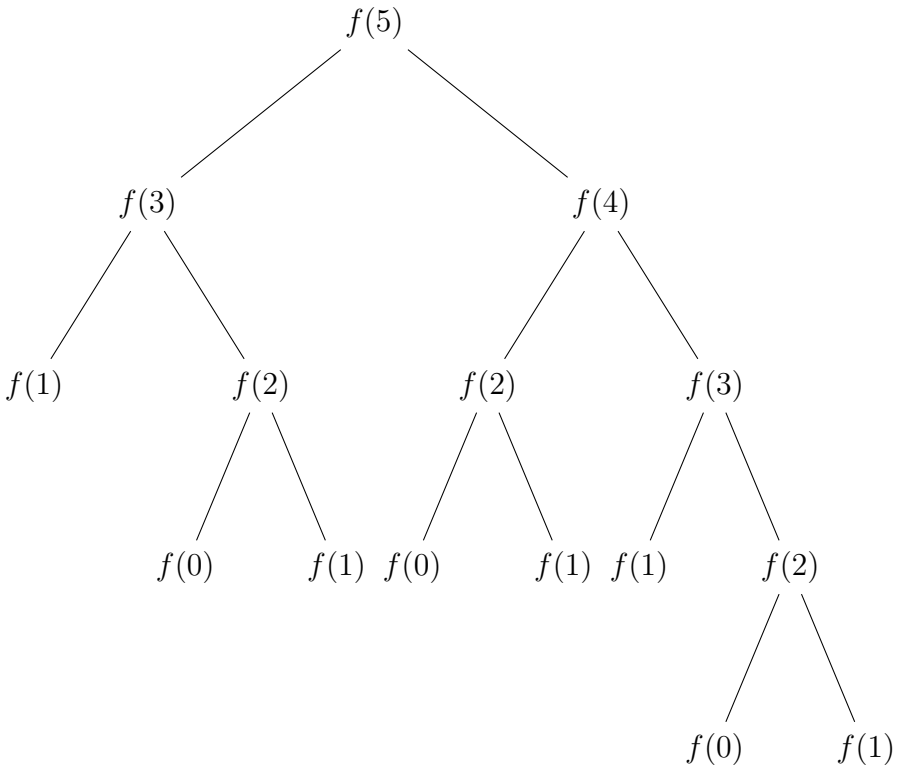


图 5.5: 递归树

斐波那契数列（迭代）

```
#include <stdio.h>

```

```c
int fibonacci(int n) {
    int f[n];
    f[0] = f[1] = 1;
    for(int i = 2; i < n; i++) {
        f[i] = f[i-2] + f[i-1];
    }
    return f[n-1];
}

int main() {
    int n = 7;
    printf("斐波那契数列第%d位: %d\n", n, fibonacci(n));
    return 0;
}
```

运行结果

斐波那契数列第7位: 13

阿克曼函数

$$A(m,n) = \begin{cases} n+1 & m = 0 \\ A(m-1,1) & m > 0, n = 0 \\ A(m-1, A(m,n-1)) & m > 0, n > 0 \end{cases}$$

```c
#include <stdio.h>

int A(int m, int n) {
    if(m == 0) {
        return n + 1;
    } else if(m > 0 && n == 0) {
        return A(m-1, 1);
    } else {
```

```
9           return A(m-1, A(m, n-1));
10      }
11  }
12
13  int main() {
14      printf("%d\n", A(3, 4));
15      return 0;
16  }
```

运行结果

```
125
```

m \ n	0	1	2	3	4	n
0	1	2	3	4	5	$n+1$
1	2	3	4	5	6	$2+(n+3)-3$
2	3	5	7	9	11	$2(n+3)-3$
3	5	13	29	61	125	$2^{n+3}-3$
4	13	65533	$2^{65536}-3$	$A(3,2^{65536}-3)$	$A(3,A(4,3))$	$\underbrace{2^{2^{\cdot^{\cdot^{\cdot^{2}}}}}}_{n+3\ twos}-3$
5	65533	$A(4,65533)$	$A(4,A(5,1))$	$A(4,A(5,2))$	$A(4,A(5,3))$	$\ldots$
6	$A(5,1)$	$A(5,A(5,1))$	$A(5,A(6,1))$	$A(5,A(6,2))$	$A(5,A(6,3))$	$\ldots$

表 5.1: 阿克曼函数

汉诺塔

给定三根柱子，其中 A 柱子从大到小套有 n 个圆盘，问题是如何借助 B 柱子，将圆盘从 A 搬到 C。

规则：

- 一次只能搬动一个圆盘
- 不能将大圆盘放在小圆盘上面

递归算法求解汉诺塔问题：

1. 将前 n-1 个圆盘从 A 柱借助于 C 柱搬到 B 柱。
2. 将最后一个圆盘直接从 A 柱搬到 C 柱。
3. 将 n-1 个圆盘从 B 柱借助于 A 柱搬到 C 柱。

```c
#include <stdio.h>

int move = 0;       // 移动次数

/**
    * @brief  汉诺塔算法
    * @note   把 n 个盘子从 src 借助 mid 移到 dst
    * @param  n: 层数
    * @param  src: 起点柱子
    * @param  mid: 临时柱子
    * @param  dst: 目标柱子
    */
void hanoi(int n, char src, char mid, char dst) {
    if(n == 1) {
        printf("%d号盘: %c -> %c\n", n, src, dst);
        move++;
    } else {
        // 把前 n-1 个盘子从 src 借助 dst 移到 mid
        hanoi(n-1, src, dst, mid);
        // 移动第 n 个盘子
        printf("%d号盘: %c -> %c\n", n, src, dst);
        move++;
        // 把刚才的 n-1 个盘子从 mid 借助 src 移到 dst
        hanoi(n-1, mid, src, dst);
    }
}

int main() {
    hanoi(4, 'A', 'B', 'C');
    printf("步数 ==> %d\n", move);
    return 0;
```

```
32 }
```

运行结果

```
1号盘: A -> B
2号盘: A -> C
1号盘: B -> C
3号盘: A -> B
1号盘: C -> A
2号盘: C -> B
1号盘: A -> B
4号盘: A -> C
1号盘: B -> C
2号盘: B -> A
1号盘: C -> A
3号盘: B -> C
1号盘: A -> B
2号盘: A -> C
1号盘: B -> C
步数 ==> 15
```

Chapter 6 指针

6.1 指针

6.1.1 指针（Pointer）

指针是一个变量，用来保存另一个变量的地址。指针与其它变量或常量一样，在使用指针之前需使用【*】指定一个变量是指针类型。

```
data_type *pointer_name;
```

通过取地址运算符【&】可以获取变量在内存中的地址。

指针

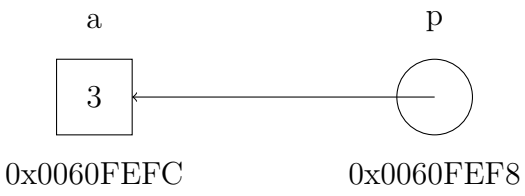
```
#include <stdio.h>

int main() {
    int a;
    int *p = &a;

    printf("变量a的地址：%p\n", &a);
    printf("指针p保存的值：%p\n", p);
    printf("指针p的地址：%p\n", &p);
    return 0;
}
```

运行结果

```
变量a的地址：0060FEFC
指针p保存的值：0060FEFC
指针p的地址：0060FEF8
```



6.1.2 取内容运算符

取内容运算符【*】是一个单目运算符，用来访问指针所指向地址上的值。

通过指针修改变量的值

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    int a = 1;
    int *p = &a;

    printf("指针p所指向的地址上的值：%d\n", *p);
    *p = 2;
    printf("指针p所指向的地址上的值：%d\n", *p);
    return 0;
}
```

运行结果

```
指针p所指向的地址上的值：1
指针p所指向的地址上的值：2
```

取地址运算符【&】与取内容运算符【*】起相反作用：

- *&p == *(&p) == p
- &*p == &(*p) == p

为什么要多此一举通过指针修改变量的值?

由于函数只能由一个返回值，如果当函数需要返回多个值时，某些值就只能通过指针进行返回。

交换两个变量的值（Bug 版本）

```c
#include <stdio.h>

void swap(int num1, int num2) {
    int temp = num1;
    num1 = num2;
    num2 = temp;
}

int main() {
    int a = 11;
    int b = 22;

    printf("交换前：a = %d, b = %d\n", a, b);
    swap(a, b);
    printf("交换后：a = %d, b = %d\n", a, b);
    return 0;
}
```

运行结果

```
交换前：a = 11, b = 22
交换后：a = 11, b = 22
```

交换两个变量的值（正确版本）

```c
#include <stdio.h>

void swap(int *num1, int *num2) {
    int temp = *num1;
```

```
    *num1 = *num2;
    *num2 = temp;
}

int main() {
    int a = 11;
    int b = 22;

    printf("交换前: a = %d, b = %d\n", a, b);
    swap(&a, &b);
    printf("交换后: a = %d, b = %d\n", a, b);
    return 0;
}
```

运行结果

```
交换前: a = 11, b = 22
交换后: a = 22, b = 11
```

6.1.3 野指针

使用指针时最常见的错误就是声明了指针变量，但还没有指向任何变量，就开始使用指针。

野指针

```
#include <stdio.h>

int main() {
    int *p;
    printf("%d\n", *p);
    return 0;
}
```

运行结果

```
warning:
'p' is used uninitialized in this function [-Wuninitialized]
```

在变量声明的时候，如果没有确切的地址可以赋值，为指针变量赋一个 NULL 值是一个良好的编程习惯。赋为 NULL 值的指针被称为空指针。NULL 指针是一个定义在标准库中的值为零的常量。

```
1 #define NULL 0
```

空指针 NULL

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main() {
4     int *p = NULL;
5     printf("%p\n", p);
6     return 0;
7 }
```

运行结果

```
000000
```

6.2 指针与数组

6.2.1 指针与数组

数组变量本身就表达地址，所以无需使用【&】取地址。

```
int arr[10];
int *p = arr;
```

但是数组的每个单元表达的是变量，需要使用【&】取地址。

```
int arr[10];
int *p = &arr[0];
```

指针遍历数组

```
#include <stdio.h>

int main() {
    int arr[] = {44, 12, 64, 78, 16, 72, 13, 98, 84};
    int n = sizeof(arr) / sizeof(arr[0]);
    int *p = arr;

    while(p < arr + n) {
        printf("%d ", *p);
        p++;
    }
    printf("\n");
    return 0;
}
```

运行结果

```
44 12 64 78 16 72 13 98 84
```

6.2.2 数组与函数

在将数组作为函数参数传递的时候，在函数参数列表中的数组实际上是一个指向数组首地址的指针。

以下两种函数声明是等价的：

```
int func(int arr[]);
int func(int *arr);
```

查找数组最大值

```
#include <stdio.h>

int getMax(int *arr, int n) {
    int max = arr[0];
    for(int i = 1; i < n; i++) {
        if(arr[i] > max) {
            max = arr[i];
        }
    }
    return max;
}

int main() {
    int arr[] = {76, 23, 12, 98, 5, 61, 30};
    int n = sizeof(arr) / sizeof(arr[0]);
    int max = getMax(arr, n);
    printf("max = %d\n" , max);
    return 0;
}
```

运行结果

```
max = 98
```

6.3 指针与字符串

6.3.1 指针与字符串

指针还可以指向一个字符串常量，但是试图通过指针所指的字符串做写操作会导致程序崩溃。

修改字符串常量

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    char *s = "hello";
    s[0] = 'H';
    printf("%s\n", s);
    return 0;
}
```

因此，如果需要对字符串进行修改，应该用字符数组的形式。

修改字符串

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    char s[] = "hello";
    s[0] = 'H';
    printf("%s\n", s);
    return 0;
}
```

运行结果

```
Hello
```

在对一个指向字符串的指针进行赋值操作的时候，并没有产生新的字符串，只是让两个指针都指向该字符串，对其中任意一个指针做的操作都会对另一个指针产生影响。

指向字符串的指针

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    char str[] = "hello";
    char *s = str;
    char *t = s;
    s[0] = 'H';
    printf("指针s指向的字符串：%s\n", s);
    printf("指针t指向的字符串：%s\n", t);
    printf("指针s的地址：%p\n", &s);
    printf("指针t的地址：%p\n", &t);
    return 0;
}
```

运行结果

```
指针s指向的字符串：Hello
指针t指向的字符串：Hello
指针s的地址：0022FE40
指针t的地址：0022FE38
```

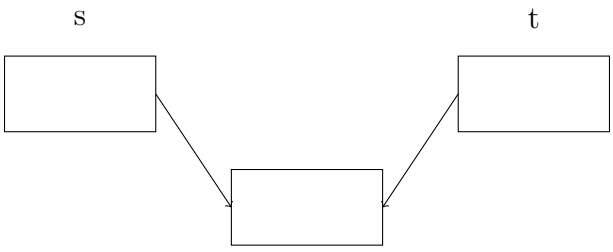


图 6.1: 指向字符串的指针

6.4 动态内存申请

6.4.1 malloc()

C99 支持声明数组时使用变量作为数组的大小。

```
1 int n = 50;
2 int arr[n];
```

但是在 C99 之前的版本中，需要使用动态内存申请的方式进行数组空间的开辟。malloc() 的功能是向系统申请指定的内存空间（以字节为单位），使用该函数需要包含头文件 stdlib.h。

malloc() 函数原型为：

```
1 void* malloc(size_t size);
```

malloc() 的返回值为 void * 类型，表示一个指向申请到的空间的首地址，是一个无类型的指针，开发者需要自行转换为自己需要的类型。如果 malloc() 申请内存失败，则会返回空指针 NULL。

耗尽所有可申请到的内存空间

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  int main() {
5      void *p;
6      int cnt = 0;
7
8      // 每次申请100MB的空间
9      while((p = malloc(100 * 1024 * 1024))) {
10         cnt++;
11     }
12     printf("一共分配了%dMB空间\n", cnt*100);
13     return 0;
```

```
14 }
```

运行结果

一共分配了1900MB空间

通过 malloc() 申请来的空间是需要归还给操作系统的，否则程序长时间运行内存会逐渐下降。

通过 free() 可以把申请来的空间释放，但是有两点需要注意：

1. 只能释放通过 malloc() 申请得到的空间。
2. 只能通过空间的首地址进行释放。

动态申请内存空间

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

int main() {
    int n;
    printf("班级人数： ");
    scanf("%d", &n);

    int *scores = (int *)malloc(sizeof(int) * n);
    if(!scores) {
        fprintf(stderr, "内存申请失败\n");
        exit(1);
    }

    int total = 0;
    for(int i = 0; i < n; i++) {
        printf("第%d个学生成绩： ", i+1);
        scanf("%d", &scores[i]);
        total += scores[i];
```

```
    }

    printf("平均分：%.2f\n", 1.0 * total / n);
    free(scores);
    return 0;
}
```

运行结果

```
班级人数：5
第1个学生成绩：67
第2个学生成绩：98
第3个学生成绩：100
第4个学生成绩：53
第5个学生成绩：65
平均分：76.60
```

在函数中的定义的字符数组是局部变量，其作用域和生命周期仅在函数内有效，如果将其作为函数返回值返回，在函数外部无法访问到该变量的内容。

函数返回字符串（Bug 版本）

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

/**
    * @brief  生成一段自我介绍
    * @param  name: 姓名
    * @param  age: 年龄
    * @retval 指定格式字符串：大家好，我叫{name}，今年{age}岁。
    */
char* generateInfo(char *name, int age) {
    char info[128] = "大家好，我叫";
    char age_str[8] = "";
```

```
    strcat(info, name);
    strcat(info, "，今年");
    // itoa()函数用于将整数转为字符串
    // 把age以10进制转换为字符串保存到age_str
    strcat(info, itoa(age, age_str, 10));
    strcat(info, "岁。");
    return info;
}

int main() {
    printf("%s\n", generateInfo("极夜酱", 17));
    return 0;
}
```

运行结果

```
warning:
function returns address of local variable [-Wreturn-local-addr]
```

函数返回字符串（正确版本）

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

/**
    * @brief  生成一段自我介绍
    * @param  name: 姓名
    * @param  age: 年龄
    * @retval 指定格式字符串：大家好，我叫{name}，今年{age}岁。
    */
char* generateInfo(char *name, int age) {
    char *info = (char *)malloc(sizeof(char) * 128);
    if(!info) {
        return NULL;
```

```
15      }
16      char age_str[8] = "";
17      strcpy(info, "大家好，我叫");
18      strcat(info, name);
19      strcat(info, "，今年");
20      // itoa()函数用于将整数转为字符串
21      // 把age以10进制转换为字符串保存到age_str
22      strcat(info, itoa(age, age_str, 10));
23      strcat(info, "岁。");
24      return info;
25  }
26
27  int main() {
28      printf("%s\n", generateInfo("极夜酱", 17));
29      return 0;
30  }
```

运行结果

大家好，我叫极夜酱，今年17岁。

6.4.2 内存管理

内存通常包括了栈区（stack）、堆区（heap）、数据区、程序代码区：

- 栈区：由编译器自动分配和释放，存放函数的参数值、局部变量的值等。
- 堆区：一般由程序员分配和释放，若程序员不释放，程序结束后被 OS 回收。
- 数据区：存放全局变量和静态变量，程序结束后由系统释放。
- 程序代码区：存放函数体的二进制代码。

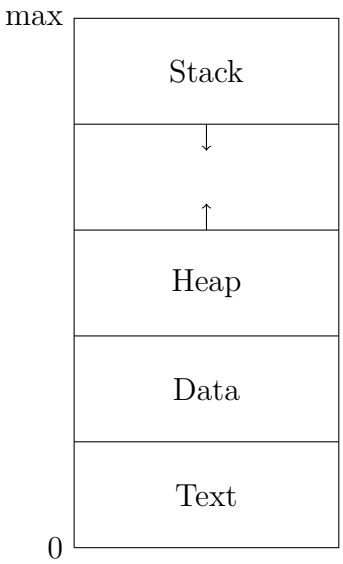


图 6.2: 内存管理

Chapter 7 文件

7.1 文件

7.1.1 文件打开

C 具有操作文件的能力，比如对文件数据的添加、删除、修改等。为了统一对各种硬件的操作，不同的硬件设备也都被看作是文件进行管理。计算机中键盘是标准输入设备 stdin，显示器是标准输出设备 stdout。

C 通过声明一个文件 FILE 类型的指针，可以对指针所指向的文件进行操作。

fopen() 用于打开文件，函数原型为：

```
1 FILE *fopen(const char *fname, const char *mode);
```

打开方式	描述
r	只读，文件必须存在，否则打开失败
w	只写，创建一个新文件
a	追加，如果文件不存在则创建；存在则将数据追加到末尾
r+	读 + 写，文件必须存在，否则打开失败
w+	写 + 读，创建一个新文件
a+	追加 + 读，如果文件不存在则创建；存在则将数据追加到末尾
rb	以只读打开二进制文件
wb	以只写打开二进制文件
ab	以追加打开二进制文件
rb+	以读 + 写打开二进制文件
wb+	以写 + 读打开二进制文件
ab+	以追加 + 读打开二进制文件

表 7.1: 文件打开方式

如果文件打开失败，fopen() 则会返回空指针 NULL。

7.1.2 文件关闭

在对文件操作结束后，需要使用 fclose() 将文件关闭。

fclose() 负责清空缓冲区，并释放文件指针。需要特别注意的是，在对文件执行写操作以后，并不会马上写入文件，而只是写入到了这个文件的输出缓冲区中。只有当输出缓冲区满了，或者执行了 fflush()，或者执行了 fclose() 以后，或者程序结束，才会把输出缓冲区中的内容写入文件。

文件

data.txt

```
This is a test.
```

file_open.c

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

int main() {
    FILE *fp = fopen("data.txt", "r");
    if(!fp) {
        fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
        exit(1);
    }
    fclose(fp);
    return 0;
}
```

7.2 文件读写

7.2.1 fgetc() 读字符

fgetc() 的功能是从文件读取一个字符。成功时，返回读到的字符（int 类型）；失败或读到文件尾，返回 EOF（-1）。

fgetc() 函数原型：

```
1 int fgetc(FILE *stream);
```

读取并输出指定文件内容

data.txt

```
1 极夜酱  17
2 小灰    22
3 小白    19
```

fgetc.c

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  int main() {
5      FILE *fp = fopen("data.txt", "r");
6      if(!fp) {
7          fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
8          exit(1);
9      }
10
11     char c;
12     while((c = fgetc(fp)) != EOF) {
13         printf("%c", c);
14     }
15
16     fclose(fp);
17     return 0;
```

```
}
```

统计程序源代码的字符数和行数

count_chars_and_lines.c

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

int main() {
    FILE *fp = fopen("count_chars_and_lines.c", "r");
    if(!fp) {
        fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
        exit(1);
    }

    char c;
    int charNum = 0;        // 字符数量
    int lineNum = 0;        // 行数

    while((c = fgetc(fp)) != EOF) {
        if(c == '\n') {
            lineNum++;
        } else {
            charNum++;
        }
    }

    printf("字符数: %d\n", charNum);
    printf("行  数: %d\n", lineNum);

    fclose(fp);
    return 0;
}
```

运行结果

```
字符数：513
行　数：27
```

7.2.2　fputc() 写字符

fputc() 的功能是将一个字符写入文件中。

fputc() 函数原型：

```
1  int fputc(int ch, FILE *stream);
```

将程序源代码输出到指定文件

fputc.c

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  int main() {
5      FILE *fp1 = fopen("fputc.c", "r");
6      FILE *fp2 = fopen("data.txt", "w");
7      if(!fp1) {
8          fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
9          exit(1);
10     }
11
12     char c;
13     while((c = fgetc(fp1)) != EOF) {
14         fputc(c, fp2);
15     }
16
17     fclose(fp1);
18     fclose(fp2);
19     return 0;
```

```
20 }
```

7.2.3 fgets() 读字符串

fgets() 的功能是从文件读取一个字符串。读取成功时，返回指向字符串的指针；读取失败时，返回 NULL。

fgets() 函数原型：

```
1 char *fgets(char *str, int num, FILE *stream);
```

- str：用于保存字符串的变量。
- num：最多读取字符数量，由于字符串结尾需要保留 \0 结束符，因此真正只能最多读取 num - 1 个字符。

读取并输出程序源代码内容

fgets.c

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  int main() {
5      FILE *fp = fopen("data.txt", "r");
6      if(!fp) {
7          fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
8          exit(1);
9      }
10
11     char c;
12     while((c = fgetc(fp)) != EOF) {
13         printf("%c", c);
14     }
15
16     fclose(fp);
```

```
    return 0;
}
```

7.2.4 fputs() 写字符串

fputs() 的功能是将一个字符串写入文件中。

fputs() 函数原型：

```
char *fputs(const char *str, FILE *stream);
```

将程序源代码输出到指定文件

fputs.c

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

int main() {
    FILE *fp1 = fopen("fputs.c", "r");
    FILE *fp2 = fopen("data.txt", "w");
    if(!fp1) {
        fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
        exit(1);
    }

    char line[128];
    while(fgets(line, sizeof(line), fp1)) {
        fputs(line, fp2);
    }

    fclose(fp1);
    fclose(fp2);
    return 0;
}
```

7.2.5 fprintf() 格式化输出

fprintf() 使用方法与 printf() 类似，只是多增加了一个参数，用于指定输出流。

fprintf() 函数原型：

```
1 int fprintf(FILE *stream, const char *format, ...);
```

将数据格式化输出到指定文件

fprintf.c

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  int main() {
5      FILE *fp = fopen("data.txt", "w");
6      char name[3][12] = {"极夜酱", "小灰", "小白"};
7      int age[3] = {17, 22, 19};
8
9      for(int i = 0; i < 3; i++) {
10         fprintf(fp, "%s\t%d\n", name[i], age[i]);
11     }
12
13     fclose(fp);
14     return 0;
15 }
```

运行结果 data.txt

```
极夜酱 17
小灰 22
小白 19
```

7.2.6 fscanf() 格式化输入

fscanf() 的功能是按照指定格式从文件读取数据。读取成功时返回实际读取的数据个数，失败时返回 EOF。

fscanf() 函数原型：

```
int fscanf(FILE *stream, const char *format, ...);
```

从指定文件读取指定格式数据

data.txt

```
极夜酱  17
小灰    22
小白    19
```

fscanf.c

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

int main() {
    FILE *fp = fopen("data.txt", "r");
    if(!fp) {
        fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
        exit(1);
    }

    char name[12];
    int age;

    while(fscanf(fp, "%s\t%d", name, &age) != EOF) {
        printf("%s\t%d\n", name, age);
    }

    fclose(fp);
    return 0;
}
```

运行结果

```
极夜酱 17
小灰 22
小白 19
```

7.2.7 feof() 检查文件结束

feof() 的功能是检查文件是否已经达到文件末尾位置，如果是就返回非零值（真）。

feof() 函数原型：

```
1 int feof(FILE *stream);
```

从通讯录文件中查找指定人名

data.txt

```
1 极夜酱   17
2 小灰     22
3 小白     19
```

feof.c

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <string.h>
4  #include <stdbool.h>
5
6  int main() {
7      FILE *fp = fopen("data.txt", "r");
8      if(!fp) {
9          fprintf(stderr, "File Open Failed\n");
10         exit(1);
11     }
12
13     char key[32];       // 需查找数据
```

```
    char name[32];
    int age;
    bool found = false; // 是否找到

    printf("查找姓名：");
    gets(key);

    while(!feof(fp)) {
        fscanf(fp, "%s\t%d", name, &age);
        if(strcmp(name, key) == 0) {
            printf("%s\t%d\n", name, age);
            found = true;
            break;
        }
    }

    if(!found) {
        printf("未找到【%s】的信息\n", key);
    }

    fclose(fp);
    return 0;
}
```

运行结果

```
查找姓名：小灰
小灰 22
```

Chapter 8 结构体

8.1 结构体

8.1.1 结构体（Structure）

C 中，数组是一种允许存储多个相同类型数据项的结构。结构体是另一种用户自定义的数据类型，它允许存储不同类型的数据项。

结构体的声明可以使用关键字 struct，结构体名一般首字母大写。结构体的声明以【;】结束。结构体的声明通常定义为全局变量，这样就可以被多个函数所使用的了。

```
1 struct struct_name {
2     data_type var_name1;
3     data_type var_name2;
4     ...
5 };
```

通常会将用于描述同一个事物的变量定义成结构体。例如：

- 日期（年、月、日）
- 坐标（横坐标、纵坐标）
- 学生信息（姓名、年龄、学号、成绩）

定义结构体变量时，不能只使用结构体名，需要加上 struct 关键字。

通过成员运算符【.】可以访问一个结构体之中的成员变量。

结构体

```
1 #include <stdio.h>
```

```
2
3  struct Date {
4      int year;
5      int month;
6      int day;
7  };
8
9  int main() {
10     struct Date date;
11     date.year = 2021;
12     date.month = 3;
13     date.day = 12;
14
15     printf("%d年%d月%d日\n", date.year, date.month, date.day);
16     return 0;
17 }
```

运行结果

2021年3月12日

8.2 typedef

8.2.1 typedef

关键字 typedef 可以用来给数据类型定义别名，通过使用 typedef 可以简化结构体的声明，不用每次都加上 struct 关键字了。

```
typedef struct [struct_name] {
    data_type var_name1;
    data_type var_name2;
    ...
} struct_name;
```

typedef 定义别名

```
#include <stdio.h>

typedef struct Coordinate {
    double x;
    double y;
} Coordinate;

int main() {
    Coordinate coor;
    coor.x = 3.1;
    coor.y = 2.7;
    printf("(%.1f, %.1f)\n", coor.x, coor.y);
    return 0;
}
```

运行结果

```
(3.1, 2.7)
```

8.3 结构体指针

8.3.1 结构体指针

与数组不同，结构体变量的名字并不是结构体变量的地址，必须使用取地址运算符【&】。

结构体也可以作为函数参数进行传递。如果是按值传递，那么在函数中会新创建一个结构体变量，并复制调用者的结构体的值。如果是按址传递，则需要传递结构体的指针。

C 提供了一个间接引用运算符【->】，可以直接访问结构体指针所指的结构变量中的成员。

倒数

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

// 分数
typedef struct Fraction {
    int numerator;        // 分子
    int denominator;      // 分母
} Fraction;

/**
    * @brief  倒数
    * @note   分母不能为0
    * @param  f: 分数结构体
    * @retval None
    */
void reciprocal(Fraction *f) {
    if(f->numerator == 0) {
        fprintf(stderr, "无法计算倒数\n");
    } else {
```

```
        int temp = f->numerator;
        f->numerator = f->denominator;
        f->denominator = temp;
    }
}

int main() {
    Fraction fraction = {2, 5};         // 2/5
    printf("%d/%d的倒数是", fraction.numerator, fraction.denominator);
    reciprocal(&fraction);
    printf("%d/%d\n", fraction.numerator, fraction.denominator);
    return 0;
}
```

运行结果

```
2/5的倒数是5/2
```