C 语言编程介绍

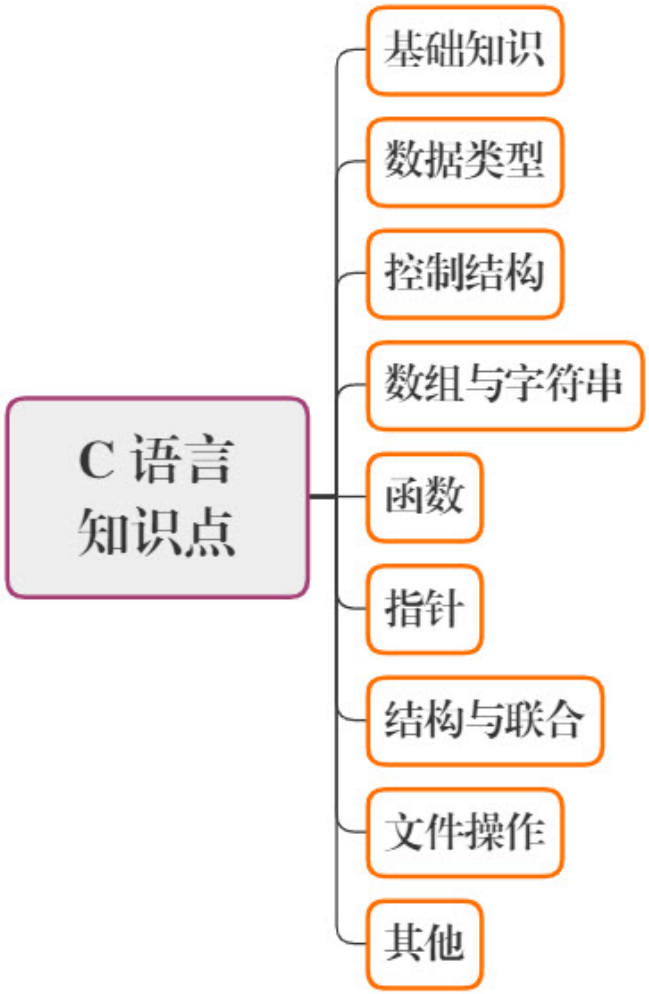
潘建瑜

MATH@ECNU

華東師範大學 | 数学科学学院
School of Mathematical Sciences, East China Normal University

目录页

Contents

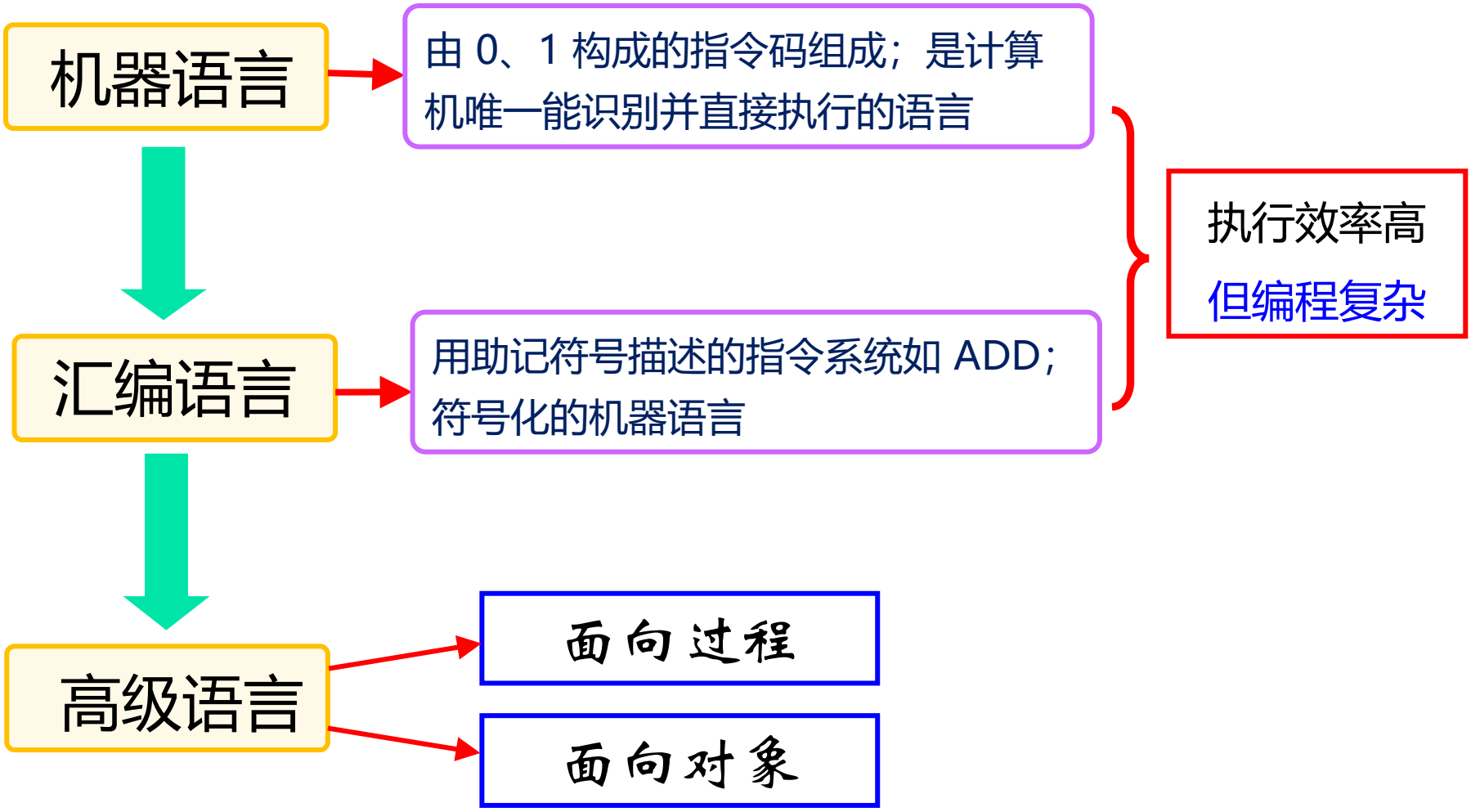


- 零基础学 C 语言（第 4 版），康莉等，2019
- C Primer Plus, 6th, S. Prata, 2013 (中文版, 2016)
- C语言教程 https://www.runoob.com/cprogramming/c-tutorial.html
- C 语言参考手册 https://zh.cppreference.com/w/c

1 C 语言基础

- C 语言介绍
- 数据类型
- 变量、常量与基本运算
- 基本输出输入

程序设计语言的发展


机器语言
由 0、1 构成的指令码组成；是计算机唯一能识别并直接执行的语言
汇编语言
用助记符号描述的指令系统如 ADD；符号化的机器语言
执行效率高
但编程复杂
高级语言
面向过程
面向对象

高级语言典型代表

- **FORTRAN：Formula Translation**

  1956年，由 IBM 的 J.W. Backus（哥伦比亚大学数学学士、硕士，图灵奖获得者）带领开发，高级语言诞生的标志，科学计算主流语言。

- **C**

  1972年，由贝尔实验室的 D.M. Ritchie（哈佛大学数学博士，图灵奖获得者，UNIX 之父）开发，是一种通用的、过程式的编程语言，高效、灵活、功能丰富，主流的软件开发和科学计算语言。

- **C++**

  1983年，由贝尔实验室的 B. Stroustrup 在 C 语言的基础上开发，引入并扩充了面向对象的概念功能。

数学，特别是数学思维是计算机科学的一个支柱。 —— B. Stroustrup

C 语言发展

C 语言的历史与发展

-1972，贝尔实验室 D. Ritchie 开发

-1978，B. Kernighan 和 D. Ritchie《C 程序设计语言》→ K&R 标准

-1989，ANSI C 标准形成 C89，1990 年 ISO 发布 C90

-1999，ISO 正式发布新的标准 C99，引入一些新特性，如内联函数

-2011，C11 标准发布，添加许多新功能，同时修改 C99 库的某些部分为可选，提高与 C++ 的兼容性

-2017，发布 C17/C18，是当前标准，仅进行技术更正

ANSI - American National Standards Institute / 美国国家标准协会

ISO - International Organization for Standardization / 国际标准化组织

一个简单的 C 程序

C_sum.c

```c
/* Example: calculate the sum of a and b */

#include <stdio.h>

main()
{
    int a, b, sum;

    a = 10;
    b = 24;
    sum = a + b;
    printf("sum = %d\n", sum);

    return 0;
}
```

注解语句

预处理：载入头文件

主函数

打印语句

C 源程序结构：

- 一个 C 源程序由一个或多个源文件组成
- 每个源文件可由一个或多个函数组成
- 一个源程序有且只能有一个 **main** 函数
- 程序执行从 **main** 开始，在 **main** 中结束
- 源程序中可以有预处理命令，通常应放在源文件或源程序的最前面

C 程序书写规范

书写规范

- 每个说明和语句都必须以分号“;”结尾
  但预处理命令，函数头和花括号“}”之后不能加分号（结构除外）
- 标识符、关键字之间要有间隔，可以是空格或间隔符
- 区分大小写
- 注释：/*　　*/ 为注释符，不能嵌套
- 常用锯齿形书写格式
- 一行可以写多个语句，一个语句可以分几行

书写规范的程序：

- {、} 要对齐
- 一行写一个语句
- 一个语句写一行
- 使用 TAB 缩进
- 有适当的空行
- 有足够的注释

† 注：所有标点符号必须在英文状态下输入（中文字符串除外）

C 语言编译器

什么是编译器

- 编译器就是将“高级语言”翻译为“机器语言”的程序
- 一个现代编译器的主要工作流程：

常见的 C/C++ 编译器

- **Visual C/C++** 微软，Windows 平台，集成在 Visual Studio 中
- **GNU C/C++** 开源免费，Linux/Unix 平台首选，非常优秀
- **Intel C/C++** Intel 编译器，对自家硬件支持很好
- **Clang C/C++** LLVM 项目中的优秀编译器

IDE（Integrated Development Environment）

IDE (集成开发环境)

- 用于程序开发的应用程序/软件，一般包括代码 **编辑器**、**编译器**、**调试器**和**图形用户界面**等

- 常见的 C/C++ 集成开发环境
  - **Visual Studio**：微软，大而全，有社区版（免费），支持 clang
  - **Dev C++**：小巧免费，功能简单，适合初学者与学习使用
  - **VS Code + MinGW/RemoteSSH**：免费 IDE + GCC（微软有配置方法指导）
  - **Qt Creator**：跨平台开发环境，为应用程序开发提供一站式解决方案
  - **Code::Blocks**：开源，全功能跨平台集成开发环境，免费

字符集

C 语言字符集

- 字母（大写和小写，共 52 个）
- 数字（0 到 9 共 10 个）
- 空白符（空格符、制表符、换行符）
- 标点和特殊字符

```
!     #     %     ^     &     *     ()    []
{}    _     +     =     -     ~     <     >
/     \     '     "     ;     .     ,
```

† 注：这里的标点符号都是指在英文状态下的标点。

几个术语

- **标识符：** 用来标识变量名、函数名、对象名等的字符序列
  - 由字母、数字、下划线组成，第一个字符必须是字母或下划线
  - 区分大小写，不能用关键字
  - 不限制标识符长度，实际长度与编译器有关
  - 命名原则：见名知意、不宜混淆
- **关键字：** 具有特定意义的字符串，通常也称为保留字
  - 类型说明符、语句定义符（控制命令）、预处理命令等
- **运算符**（详见后面介绍）
- **分隔符：** 逗号、冒号、分号、空格、()、 {}
- **注释符：** 以“/*”开头并以“*/”结尾，或者 //（行注释符）
- **文字/词汇：** 直接用字符表示的数据，即常量，如数字、字符串等

代码编写与运行

1) 编写源程序，以 .c 为扩展名（可使用任何文本编辑器）

2) 编译并连接源文件 （可以一步完成），生成可执行文件

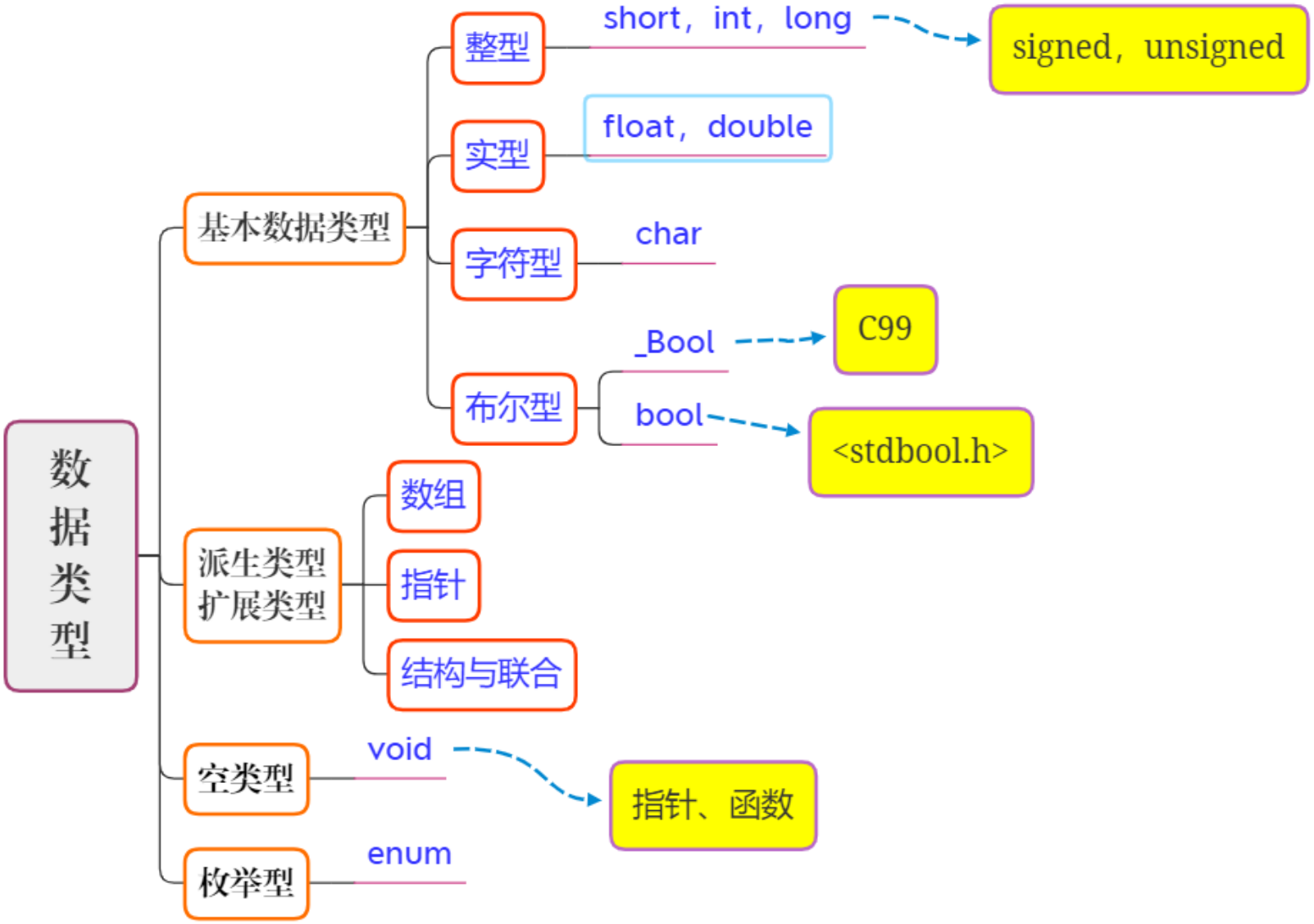
```
gcc [选项] 源代码文件    // 以 Linux 下 gcc 为例
```

gcc 常用选项

- -o ：指定输出文件名，缺省为 a.out
- -c ：只编译不链接，即只生产目标文件（.o 文件）
- -O2,-O3 ：优化开关
- -w ：关闭所有警告
- -I*path* ：指定或增加包含文件（如 *.h）的搜索路径
- -L*path* ：指定（增加）库文件的搜索路径
- -std=c11/c17：与库文件 libname.a 链接
- -g ：在目标码中加入更多信息，用于程序调试

3) 运行生成的可执行文件

数据类型


数据类型
基本数据类型
整型
short，int，long
signed，unsigned
实型
float，double
字符型
char
布尔型
_Bool
C99
bool
<stdbool.h>
派生类型
扩展类型
数组
指针
结构与联合
空类型
void
指针、函数
枚举型
enum

基本数据类型

C_datatype.c

类型	关键字	所占字节数	表示范围
整型	short	2	$-2^{15} \sim 2^{15}-1$
	int	2 / 4	$-2^{15} \sim 2^{15}-1$ / $-2^{31} \sim 2^{31}-1$
	long	4 / 8	$-2^{31} \sim 2^{31}-1$ / $-2^{63} \sim 2^{63}-1$
	unsigned short	2	$0 \sim 2^{16}-1$
	unsigned int	2/4	$0 \sim 2^{16}-1$ / $0 \sim 2^{32}-1$
	unsigned long	4/8	$0 \sim 2^{32}-1$ / $0 \sim 2^{64}-1$
实型	float	4 (6-7)	$10^{-38} \sim 10^{38}$
	double	8 (15-16)	$10^{-308} \sim 10^{308}$
	long double	16 (18-19)	$10^{-4932} \sim 10^{4932}$
布尔型	_Bool	1	true, false
字符型	char	1	

- C 没有规定数据类型字节长度，只规定大小顺序，具体由处理器和编译器决定
- 更长的整型：long long / unsigned long long

typedef

为一个已有的数据类型另外命名（取别名）

typedef　已有数据类型名　新数据类型名

```
typedef _Bool bool;
bool flag=1;

typedef float real;
real x=3.14;
```

C_datatype_typedef.c

数据类型转换

自动转换/隐式转换

- 不同类型的数据进行运算，需先转换成同一类型
- 转换按数据长度增加的方向进行，以保证精度不降低
- 所有的浮点运算都是以双精度进行的
- char 型和 short 型参与运算时，先转换成 int 型
- 赋值号两边的数据类型不同时，右边的类型将转换为左边的

`char→short→int→long→unsigned long→double←float`

C_datatype.c

```
printf("1/2=%f\n", 1/2);
printf("1.0/2=%f\n", 1.0/2);
```

数据类型转换

强制转换/显式转换

(类型说明符)表达式　// 将表达式的**值**转换成指定的类型

C_datatype.c

```
printf("1/2=%f\n", 1/2);
printf("1.0/2=%f\n", 1.0/2);
printf("(double)1/2=%f\n", (double)(1)/2);
printf("(double)(1/2)=%f\n", (double)(1/2));
```

转换规则

- 浮点型转整型：直接丢掉小数部分
- 字符型转整型：为字符的 ASCII 码
- 整型转字符型：ASCII 码对应的字符

变量

变量 用于存储数据，值可以改变

- 变量名：要求与标识符相同
- 变量类型：整型、实型、字符型、布尔型
- 变量必须先声明，后使用

变量的声明

数据类型 变量名列表;

- 变量初始化：声明变量时直接赋值

```
int i, j=10;
double pi=3.14159;
char c='0';
```

常量（常数、字符串）

常量 在程序运行中值不能改变的量

- 整型常量：整数，后面加 *l* 或 L 表示长整型，后面加 *u* 或 U 表示无符号整型
- 实型常量：缺省为双精度，后面加 *f* 或 F 表示单精度，加 *l* 或 L 表示 long double
- 字符型常量：用单引号括起来的单个字符和转义字符
- 字符串常量：用双引号括起来的字符序列
- 布尔常量：true 和 false → 需加头文件：#include <stdbool.h>

```
123, -456, 123456789L, 123456789U;
1.2, 1.2F, 1.2L, 1.2e8, 1.2e8F, 1.2e-8L
'M',  'A',  'T',  'H',  '?',  '$'
"MATH@ECNU"
```

常量（符号常量）

符号常量 用标识符表示常量，即值不能改变的变量

符号常量的声明

const 数据类型 标识符=常量值;

```
const float PI=3.1415926;
```

- 符号常量在声明时必须初始化
- 符号常量的值在程序中不能被修改（不能重新赋值）

运算符

- 算术运算符：+、-、*、/、%、++ (自增)、-- (自减)
- 赋值运算符：
  =、+=、-=、*=、/=、%= 、&=、|=、^=、>>=、<<=
- 逗号运算符：，(把若干表达式组合成一个表达式)
- 求字节数运算符：sizeof (计算数据类型所占的字节数)

- 关系运算符：用于比较运算，>、<、==、>=、<=、!=
- 逻辑运算符：用于逻辑运算，&&、||、!
- 条件运算符：是一个三目运算符，用于条件求值 (? :)
- 指针运算符：* (取内容)、& (取地址)
- 位运算符：按二进制位进行运算
  &、|、^ (异或)、~ (取反) 、<< (左移)、>> (右移)

赋值运算

标准赋值运算

变量 = 表达式

```
x=3;
x=y=3;
```

⟺

```
y=3;
x=y;
```

† 这种方式不能用于变量初始化！

复合赋值运算

+=、 -=、 *=、 /=、 %=

```
x+=3;
```
⟺
```
x=x+3;
```

```
x/=3;
```
⟺
```
x=x/3;
```

```
int a, b, c, d, e;
a = 5;
b = a + 3;
a = a + (c=6);
d = e = f = a;
e *= d;
f /= c - 2;
```

自增自减运算

自增自减（后置和前置）

变量++、变量--
++变量、--变量

- 前置：先自增自减，然后使用
- 后置：先使用，然后自增自减

`x++;`	⟺	`x=x+1;`
`++x;`	⟺	`x=x+1;`
`y=x++*x;`	⟺	`y=x*x; x=x+1;`
`y=++x*x;`	⟺	`x=x+1; y=x*x;`

```
int i=10, j, k;
j=i++;  // j=?
k=++i;  // k=?
```

† 不要在同一语句中包含一个变量的多个 **++** 或 **--**，因为它们的解释在 C/C++ 标准中没有规定，完全取决于编译器的个人行为。

逗号运算

逗号运算

表达式 1，表达式 2

- 先计算 **表达式 1** 的值，再计算 **表达式 2** 的值
- 将 **表达式 2** 的值作为整个表达式的结果

```
int a=2, b1, b2;
b1 = 3*a, a+10;     // b1=?
b2 = (3*a, a+10);   // b2=?
```

† 注意运算的优先级！

运算优先级

高

低

() ++(后置) --(后置) 强制类型转换

! ++(前置) --(前置) +(正号) -(负号)

* / %

\+ -

< <= > >=

== !=

&&

||

赋值(= += -= *= /= 等)

逗号运算(,)

更多详见课程主页

sizeof

sizeof(数据类型) 返回指定 数据类型 的 长度

sizeof(变量名) 返回指定 变量 所占的 字节数

sizeof(表达式) 返回存储 表达式结果 所需的 字节数

```
int a, b, c, d;
a = sizeof(int);
b = sizeof(a);
c = sizeof(3 + 5);
d = sizeof(3.0L + 5);
```

常用数学函数

需加头文件: `#include <math.h>`

`abs(x)` → $\|x\|$	`min(x,y)` → 最小值
`exp(x)` → e^x	`max(x,y)` → 最大值
`log(x)` → $\ln x$	
`log10(x)` → $\lg x$	
`sqrt(x)` → $\sqrt{x}$	
`pow(x,y)` → x^y	

取整函数：`ceil, floor, round, trunc`

三角函数：`sin, cos, tan, asin, acos, atan`

双曲三角函数：`sinh,cosh,tanh,asinh,acosh,atanh`

语句

- 程序由语句构成，C 语言的语句包括：
  - 空语句（只有分号）
  - 声明语句
  - 表达式语句（赋值表达式）
  - **复合语句**（将多个语句用 { } 括起来组成的一个语句）
  - 选择语句
  - 循环语句
  - 跳转语句
  - ……

表达式：运算符连接常量、变量、函数所组成的式子。

格式化输出

加头文件: `#include <stdio.h>`

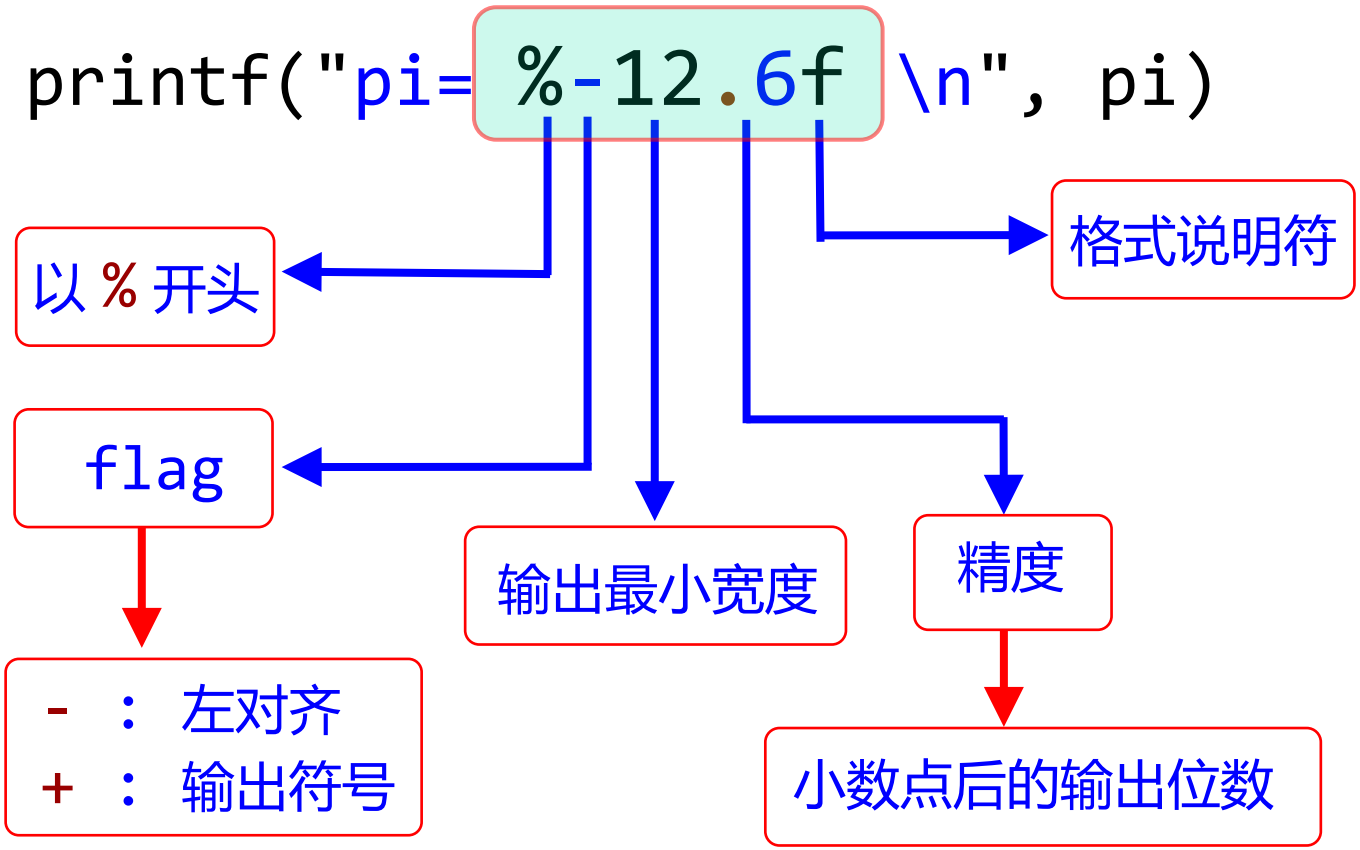
```
printf("格式控制字符串", 输出变量列表);
```

- 格式控制字符串：普通字符串、格式字符串、转义字符
- 普通字符串：原样输出
- 格式字符串：以 % 开头，后面跟各种 格式说明符
- 转义字符：实现特殊功能

```
int k=5;
double a=3.14;
printf("k=%d, a=%f\n", k, a);    // 一个格式字符串对应一个输出变量
```

格式字符串

%[flag][输出最小宽度][.精度]格式说明符



格式说明符与转义字符

- 常见的格式说明符

c	字符型	g	浮点数（自动）
d	十进制整数	o	八进制
e	浮点数（科学计数法）	s	字符串
f	浮点数（小数形式）	x/X	十六进制

- 常见转义字符（输出特殊字符）

\b	退后一格	\t	水平制表符
\f	换页	\\	反斜杠
\n	换行	\"	双引号
\r	回车	%%	百分号

格式化输入

加头文件: `#include <stdio.h>`

```
scanf("格式控制字符串", 地址列表);
```

C_printf_scanf.c

```
int a, b;
printf("input a and b: ");
scanf(“%d%d”, &a, &b);  // 一个格式字符串对应一个输入变量地址
```

目录
Contents

2 控制结构

- 关系运算与逻辑运算
- 选择结构：IF、SWITCH
- 循环结构：WHILE、FOR
- 循环的终止

关系运算：比较大小

加头文件：`#include <stdbool.h>`

`>`	大于	`>=`	大于等于	`==`	等于
`<`	小于	`<=`	小于等于	`!=`	不等于

- 比较大小，结论是 `真` 则返回 `1`，否则返回 `0`
- C 语言中用 `1` 表示 `true`，`0` 表示 `false`
- `bool` 型变量，赋值 `0` 时表示 `false`，其他它值都表示 `true`

```
bool x1=1.5;    // x1=true
bool x2=0;      // x2=false
bool x3=-11;    // x3=true
```

- 注意 `==` 与 `=` 的区别
- 对浮点数进行比较运算时尽量不要使用 `==`

```
pow(sqrt(2.0),2)==2; // true or false?
```

逻辑运算

&&	逻辑与	||	逻辑或	!	逻辑非

运算法则

运算对象		与	或	非
A	B	A&&B	A||B	!A
0	0	0	0	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	0

逻辑运算：两点注意

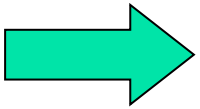
（表达式1）&&（表达式2）

- 先计算 表达式1 的值，若是 **true**，则计算 表达式2 的值；若 表达式1 的值是 **false**，则不再计算 表达式2 的值

（表达式1）||（表达式2）

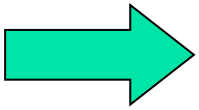
- 先计算 表达式1 的值，若是 **false**，则计算 表达式2 的值；若 表达式1 的值是 **true**，则不再计算 表达式2 的值

```
i=3; (i>3) && (i++);
```



i=3

```
i=3; (i>3) || (i++);
```



i=4

条件运算符

条件表达式 **?** 表达式1 **:** 表达式2

先计算 条件表达式 的值，

- 若是 **true**，则用 表达式 1 作为整个表达式的值，
- 否则就用 表达式 2 的值作为整个表达式的值

```
y = x>0 ? 1 : -1;
z = x>y ? x : y;
```

选择结构：IF

```
if (表达式) 语句
```

```
if (表达式)
   语句
else
   语句
```

```
if (表达式) 语句
else if (表达式) 语句
   …… ……
else if (表达式) 语句
else 语句 // 可以省略
```

几点说明

- 表达式可以是任意表达式（关系、逻辑、算术等）
- 语句可以是复合语句（**用大括号括起来**）
- 条件判断表达式两边的小括号不能省略
- else if 中间必须留空
- if 语句可以嵌套，嵌套时每一层的 if 要与 else 配套，否则要加大括号

选择结构：SWITCH

可以是整型、字符型、枚举型

```
switch (表达式)
{
   case 常量表达式1:
     语句
   case 常量表达式2:
     语句
   … …
   case 常量表达式n:
     语句
   default:
     语句
}
```

- 先计算“表达式”的值，然后依次与每个 **case** 后面的“常量表达式”进行匹配，一旦匹配成功，则开始执行后面的语句，包括后面所有 **case** 以及 **default** 的语句
- 如果没有匹配的，则执行 **default** 后面的语句
- 每个 **case** 后面的常量表达式的值不能相同
- 每个 **case** 分支最后一般需加 **break**
- 每个 **case** 后面可以有多个语句（复合语句），但可以不用 { }
- **default** 不是必需的

循环结构：WHILE

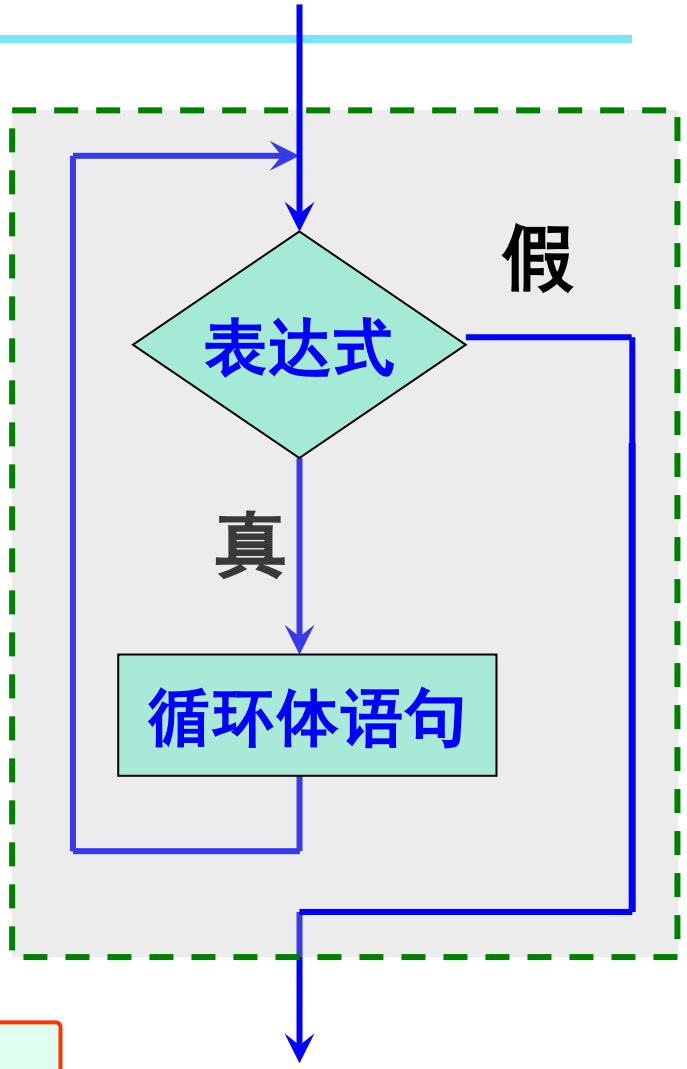
```
while (条件表达式)
    循环体语句
```

执行过程

(1) 判断条件表达式的值

(2) 如果是“真”，则执行循环体语句;
否则退出循环。

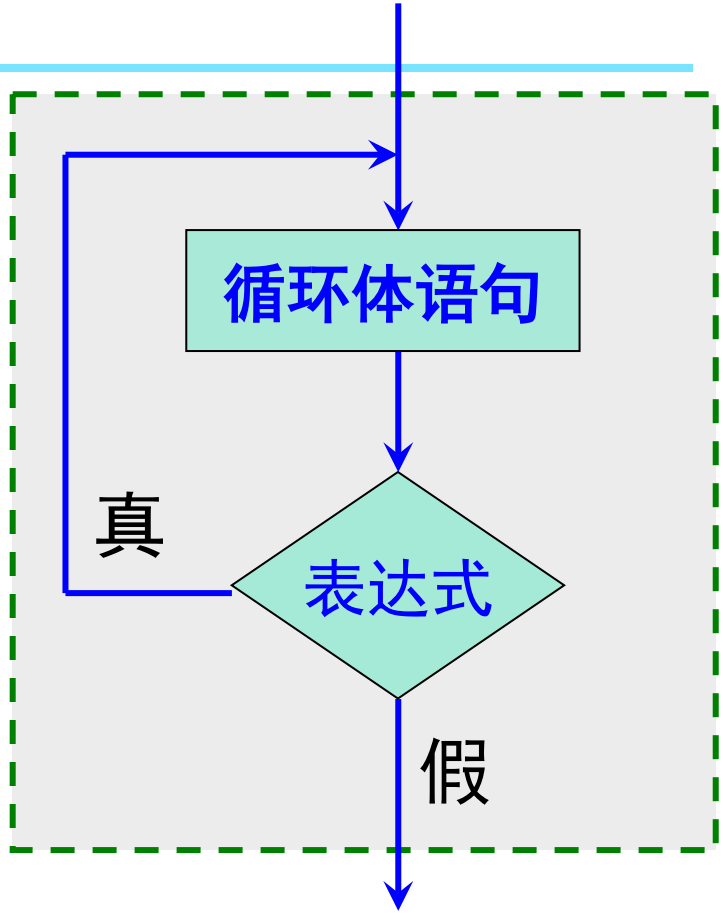
(3) 返回第 (1) 步



† 如果循环体语句是复合语句，别忘了大括号！

循环结构：DO WHILE

```
do
   循环体语句
while (条件表达式);
```



执行过程

(1) 执行循环体语句

(2) 判断条件表达式的值

(3) 如果是 “真”，返回第 (1) 步;
否则退出循环。

† 与 while 循环的区别：无论条件是否成立，循环体语句至少执行一次！

循环结构：FOR

for(初始化语句；表达式1；表达式2)

　　循环体语句

执行过程

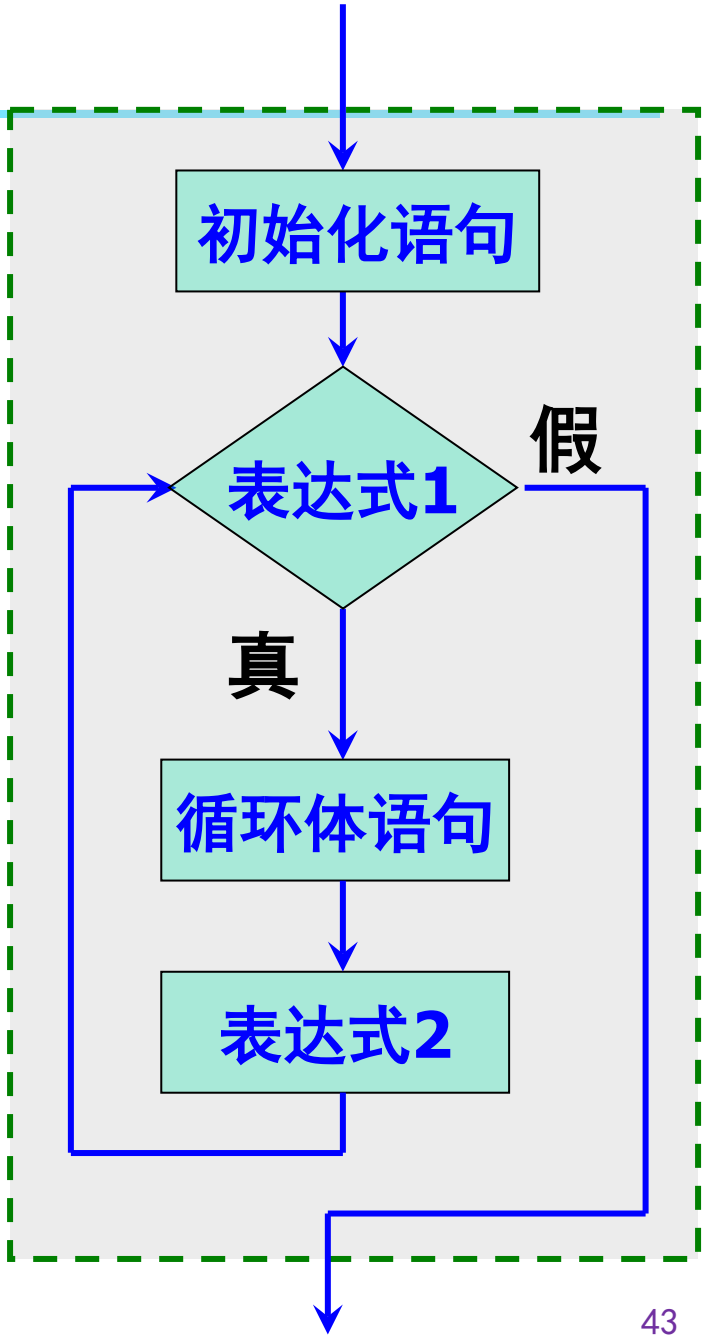
(1) 执行初始化语句

(2) 计算表达式1 的值，

　　如果是“真”，则执行循环体语句，

　　否则退出循环

(3) 执行表达式2，然后返回第 (2) 步



循环结构：FOR

几点说明

- 初始化语句，表达式1，表达式2 均可省略，但分号不能省
- 表达式1 是循环控制语句，如果省略的话就构成死循环
- 循环体可以是单个语句，也可以是复合语句（大括号！）
- 初始化语句 与 表达式2 可以是逗号语句

```
s=0;
for (i=1; i<=10; i++)
  s=s+i;
```

- 上面程序中的变量 i 有时也称为循环变量

for (循环变量赋初值；循环条件；循环变量增量)

　　循环体语句

循环的终止

- break 语句

```
break;
```

  - 跳出循环体，只用在循环语句和 switch 语句中
  - break 只能跳出一层循环

- continue 语句

```
continue;
```

  - 结束本轮循环，执行下一轮循环，一般只用在循环语句中

- goto 语句

```
goto 语句标号;
```

  - 跳转到由语句标号所指定的语句
  - 语句标号为 标记符后面跟冒号，即 标记符：语句；
  - goto 语句破坏程序的结构性，尽量少用

† break, continue 和 goto 通常是与 if 语句配合使用。

目录
Contents

3 数组与字符串

- 一维数组
- 二维数组
- 字符串

数组

数组： 具有一定顺序关系的若干相同类型变量的集合体

一维数组的声明

类型标识符 变量名[n]

- 声明一个长度为 n 的数组（向量）
- 类型标识符：数组元素的数据类型；
- n：数组的长度，即元素的个数；

```
int x[5]  // 声明一个长度为 5 的一维数组
```

一维数组的引用

变量名[k] // 注：下标 k 的取值为 0 到 n-1，下标不能越界

一维数组

类型标识符 变量名[n]

几点注意

- n 可以常数, 如 int x[5]，或者有确定值的正整数（可变长度数组）
- n 可以用表达式代替，但表达式的值必须是正整数

example

```
int n=5;
int x[n]; // 可变长度数组
```

example

```
int m=2, n=3;
int x[m*n+2];
```

- 只能**逐个**引用数组元素，而不能一次引用整个数组
- 数组元素在内存中顺序存放，它们的地址是连续的
- **数组名代表数组存放在内存中的首地址**

例：x[10] 在内存中的存放顺序是

x[0]	x[1]	x[2]	x[3]	x[4]	x[5]	x[6]	x[7]	x[8]	x[9]

一维数组

- 一维数组的初始化：在声明时可以同时赋初值

example

```
int x[5]={0,2,4,6,8};
```

- 也可以只给部分元素赋初值

example

```
int x[5]={0,2,4};  // 只能依次赋初值
```

- 全部元素赋初值时可以不指定数组长度

example

```
int x[]={0,2,4,6,8};
```

† 注意：可变长度数组不能初始化。

C_array_initializing.c

```
int x[5];
x={1,2,3,4,5};   // ERROR! 只能对数组元素赋值，不能对数组名赋值!
```

二维数组

- 二维数组的声明：

  类型标识符 变量名[m][n]

  - 声明一个 m X n 的二维数组（矩阵）

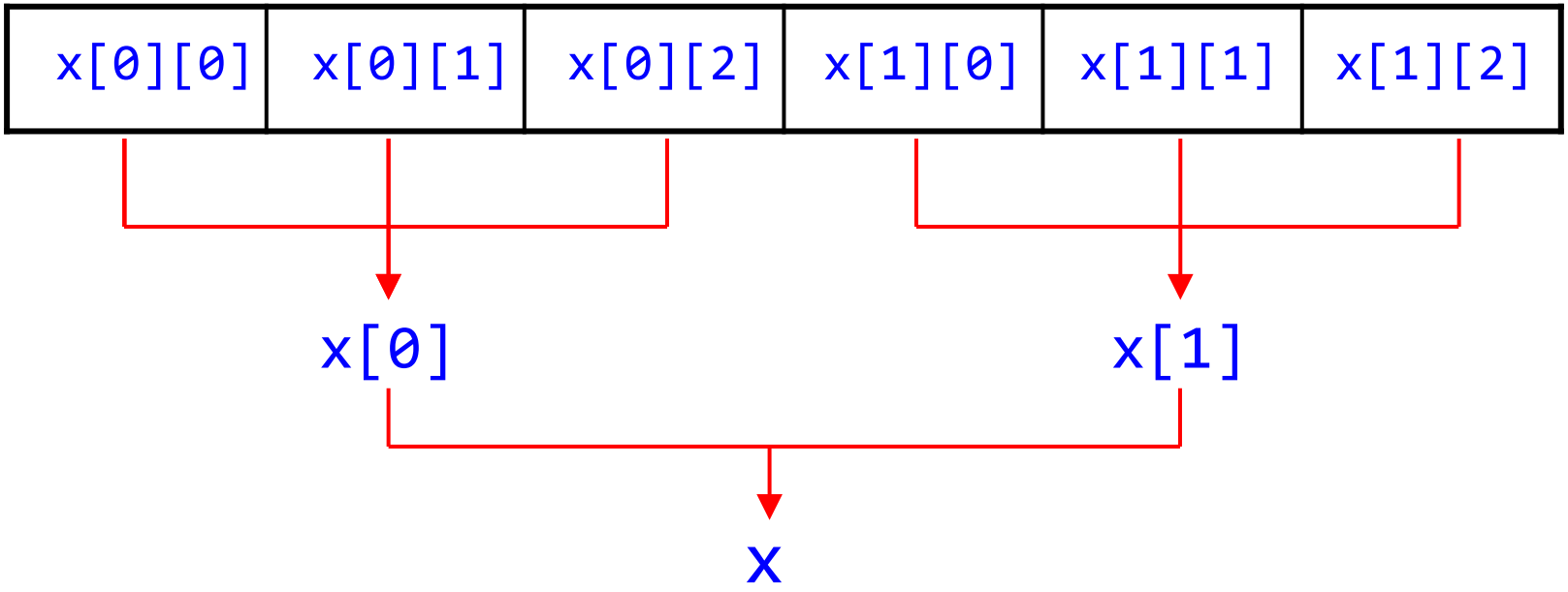
- 二维数组的引用：

  变量名[i][j] // 注意下标的取值范围，不要越界！

二维数组

- 二维数组的存储：按行存储

例：x[2][3] 在内存中的存放顺序是



† 在 C 语言中，二维数组被看成是一维数组的数组。

二维数组

- 二维数组的初始化
  - 全部初始化

```
int x[2][3]={1,3,5,2,6,10};
```

example

```
int x[][3]={1,3,5,2,6,10}; // 注：只能省第一维的长度！
```

  - 分组初始化

example

```
int x[2][3]={{1,3,5}, {2,6,10}};
```

  - 部分初始化

example

```
int x[2][3]={{1}, {2,6}};
```

多维数组

- 多维数组的声明：

  类型标识符 变量名[n1][n2][n3]...

  多维数组的赋值、引用、初始化与二维数组类似。

字符串

- 字符串：由字符组成的一维数组
  - 与普通数组的区别：

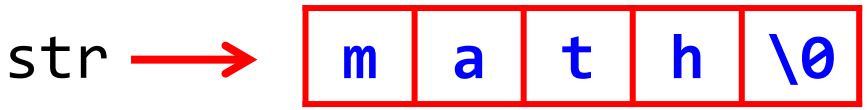
    字符串最后面需添加 “\0”，做为 **结束标志**
  - 数组的长度 ≥ 字符串长度(所含字符个数)+1

字符串

- 字符串的初始化

```
char str[5]={'m','a','t','h','\0'}; // OK，只能用于初始化
char str[5]="math";  // OK，只能用于初始化
char str[]="math";   // OK，只能用于初始化
```

  - 使用双引号时，会自动在最后添加结束标志



- 字符串赋值：逐个赋值，循环实现

```
char str[6];
str = "Math";  // ERROR：一维数组，不能直接赋值！
```

字符串输入输出

- 字符串的输入

```
scanf(“%s”, str)
gets(str)
```

- 字符串的输出

```
printf(“%s”, str)
puts(str)
```

字符串操作

- 字符串相关函数（头文件 string.h 和 stdlib.h ）

C_string.c

函数	描述	用法
strlen	求字符串长度	strlen(str)
strcat	字符串连接	strcat(dest,src)
strcpy	字符串复制	strcpy(dest,src)
strcmp	字符串比较	strcmp(str1,str2)
atoi	将字符串转换为整数	atoi(str)
atol	将字符串转换为long	atol(str)
atof	将字符串转换为double	atof(str)

（更多函数可参见 https://zh.cppreference.com/w/c）

字符检测

头文件 ctype.h

函数	描述	用法
isdigit	是否为数字	isdigit('3')
isalpha	是否为字母	isalpha('a')
isalnum	是否为字母或数字	isalnum('c')
islower	是否为小写	islower('b')
isupper	是否为大写	isupper('B')
isspace	是否为空格	isspace(' ')

tolower	将大写转换为小写	tolower('A')
toupper	将小写转换为大写	toupper('a')

- 更多字符检测函数参见相关资料

注：以上检测和转换函数只针对单个字符，而不是字符串！

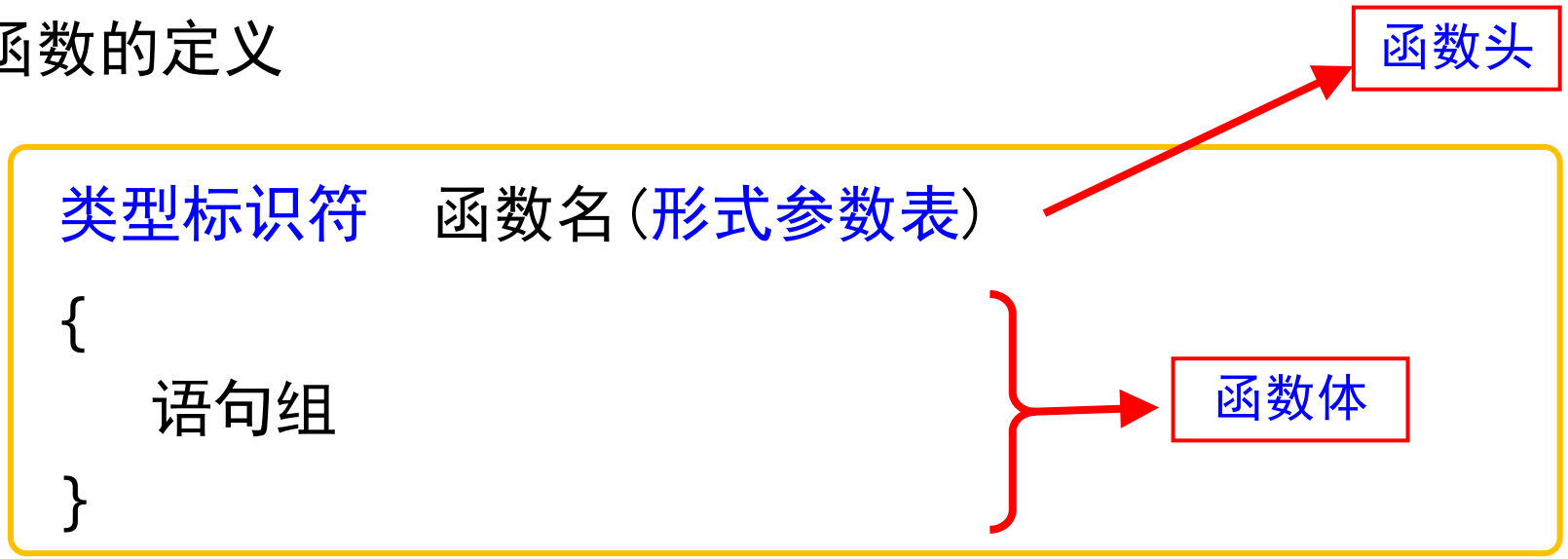
4 函数

- 函数的定义与调用
- 作用域、局部变量与全局变量
- 参数传递
- 嵌套与递归

函数的定义

- 函数是对功能的抽象，是 C 语言的基本模块
- C 语言程序是由函数构成的（一个或多个函数）
- C 语言程序必须有且只能有一个 **main** 函数

- 函数的定义



† 类型标识符指明函数返回值的类型，若没有返回值，可用 void

形式参数表

- 形式参数列表

  类型标识符 变量，类型标识符 变量，. . . . . .

  - 形式参数（简称 形参）需要指定数据类型
  - 有多个形参时，用逗号隔开，每个形参需单独指定数据类型
  - 如果函数不带参数，则形参可以省略，但小括号不能省
  - 形参只在函数内部有效（局部变量）

```
int my_max(int x, int y)  // OK
int my_max(int x,  y)     // ERROR
```

- 函数返回值
  - 通过 return 语句给出，如： return x
  - 若没有返回值，可以不写，也可以写不带表达式的 return

函数的调用

- 函数调用前须先声明

  类型标识符　函数名(形式参数表);

  - 可以在主调函数中声明，也可以在所有函数之外声明
  - 有时也称为函数原型

- 函数的调用方式

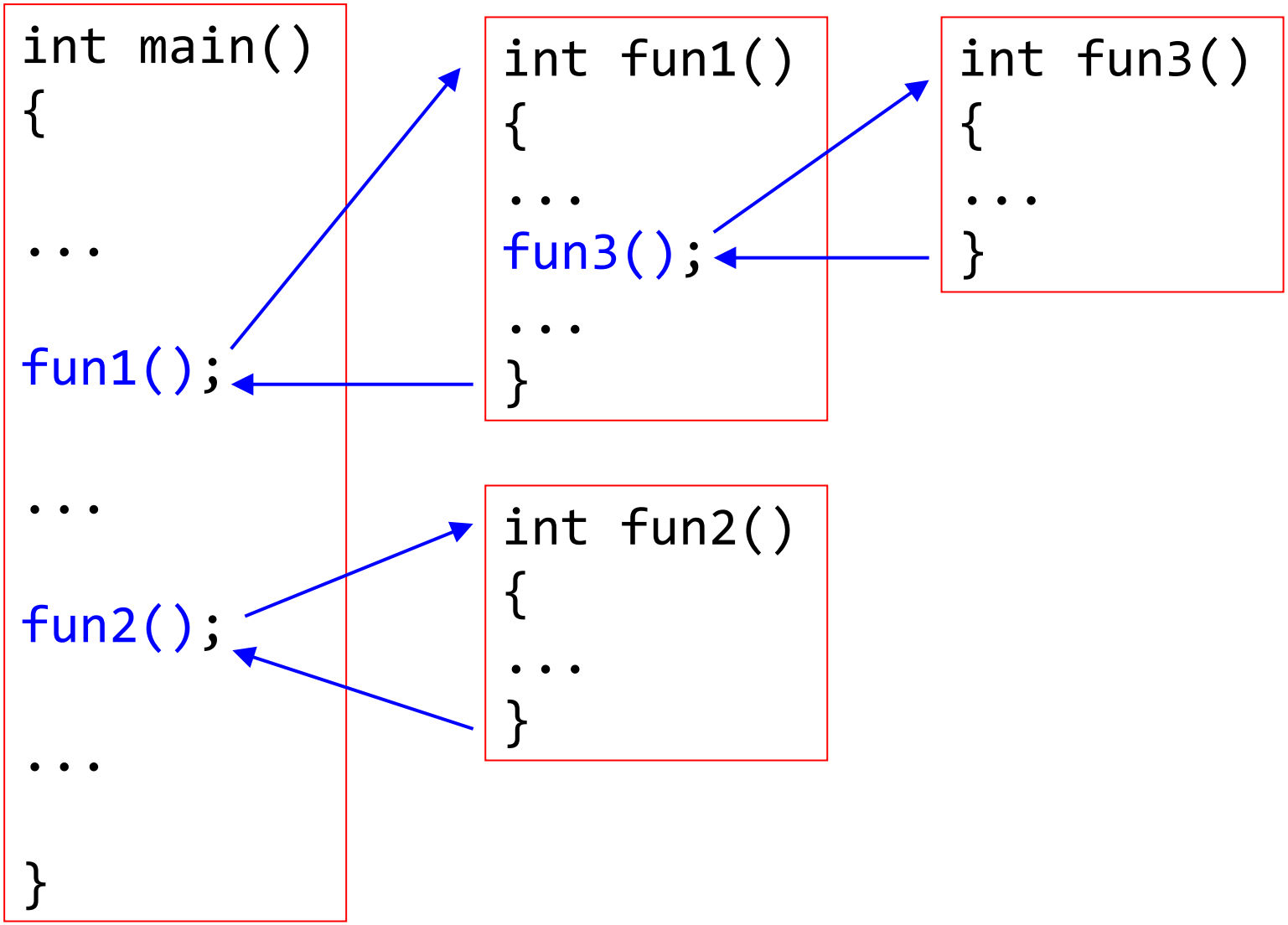
  函数名(实参数列表);

  - 被调函数可以出现在表达式中，此时必须要有返回值

- 主调函数与被调函数

  - 被调函数在主调函数后定义，须在调用前声明
  - 被调函数在主调函数前定义，则主调函数中可以直接调用

函数的调用过程



举例：随机数

例：随机数的生成

头文件 stdlib.h

```
seed=11;
srand(seed);   % 设置种子
x=rand();      % 返回一个随机整数
```

- rand()：返回一个 0 ～ RAND_MAX 之间的伪随机整数
- srand(seed)：设置种子。如不设定，默认种子为 1
- 相同的种子对应相同的伪随机整数
- 每次执行 rand() 后，种子会自动改变, 但变化规律是固定的

思 考

- 如何生成 [a, b] 之间的随机整数?
- 如何生成 [0, 1] 之间的随机小数?

example_rand_01.c

example_rand_02.c

举例：计时函数

例：计时函数：clock

头文件 time.h

```
#include <time.h>
...   ...
clock_t t0, t1;
double totaltime;
...   ...
t0 = clock();
...   ...
t1 = clock();
totaltime=(double)(t1 - t0) / CLOCKS_PER_SEC;
```

† clock()：返回进程启动后所使用的 **cpu** 总滴答数（毫秒）

举例：计时函数

例：计时函数：time

头文件 time.h

```
#include <time.h>
...   ...
time_t   t0, t1;
t0 = time(NULL);   // t0 = time(0)
...   ...
t1 = time(NULL);
t = t1 - t0;
```

example_time_01.c

example_time_02.c

- time(NULL)：返回从 1970 年 1 月 1 日 0 时 0 分 0 秒至今的总秒数
- time 以秒为单位

作用域、局部变量与全局变量

- 数据（通常指变量）的作用域：数据在程序中的有效区域
- 局部变量：数据只在某个区域有效（可见）
- 全局变量：数据在整个程序中都有效（可见）

作用域

- C 语言中常见的作用域
  - 函数原型作用域
  - 函数作用域
  - 语句块作用域（循环体，语句组{ ... } 等）

```
bool Isprime(int m);
int main()
{
    int n=111;
    if (Isprime(n)) printf("%d is a prime\n", n);
}
bool Isprime(int m)
{
    if (m<2) return false;
    for (int k=2; k<m; k++)
        if (m%k==0) return false;
    return true;
}
```

局部变量与全局变量

局部变量

- 只在某个局部作用域内有效的变量，如：
  - 函数的形参和函数中定义的变量，只在该函数内有效
  - for 循环初始语句中定义的变量和循环体内定义的变量，只在循环内有效
  - 语句块中定义的变量只在该语句块中有效

全局变量

- 在整个程序执行期间都有效的变量

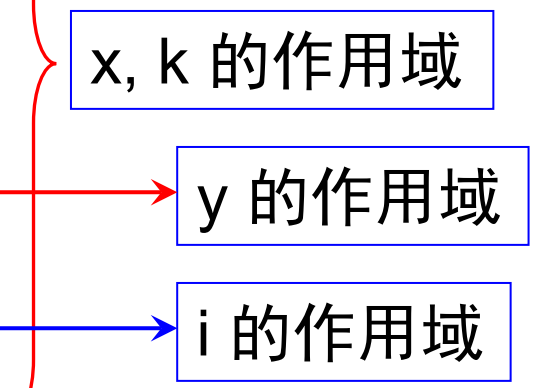
  全局变量需在所有函数外定义，在它后面定义的函数中均可以使用；

  若要在它前面定义的函数中使用该全局变量，则需声明其为外部变量

```
extern 数据类型名 变量名
```

作用域 / 可见域

```
double my_power(double x, int k)
{
    if (k==1) return x;
    else
    {
        double y = 1.0;
        for (int i=1; i<=k; i++)
            y = y * x;
        return y;
    }
}
```



同名问题

- 若局部变量与全局变量同名，则优先使用局部变量！

```
#include <stdio.h>
int k = 2;  // 全局变量
int main()
{
    int i=5, x;  // 局部变量
    x = i+k;
    printf("x=%d\n", x);

    {
        int k=16; // 局部变量
        x = i+k;
        printf("x=%d\n", x);
    }

    x = i+k;
    printf("x=%d\n", x);
}
```

参数传递

- 主调函数、被调函数
- 传递方法一：值传递
- 传递方法二：地址传递

参数传递

传递方式一：值传递

- 形参是局部变量，在函数被调用时才分配存储单元，调用结束即被释放
- 实参可以是常量、变量、表达式、函数(名)等，但它们必须要有确定的值，以便**把具体的值传送给形参**
- 实参和形参在数量、类型、顺序上应严格一致
- 传递时是将实参的值传递给对应的形参，即**单向传递**
- 形参获得实参传递过来的值后，便与实参脱离关系，即此后形参的值的改变不会影响实参的值

举例

```
int main()
{
    ... ...
    x = 3.0; n = 2;
    y = my_power(x, n);
    ... ...
}
```

```
double my_power(double x, int k)
{
    ... ...
}
```

数组与函数

- 将数组中的某个元素传递给被调函数：值传递

example

```
void my_swap(int a, int b)
{
   int t;
   t = a; a = b; b = t;
}

int main()
{
   int x[2]={1,3};
   my_swap(x[0], x[1]);
}
```

数组名作为函数的参数

- 将整个数组传递给被调函数

传递方式二：地址传递

- 基本想法：为了节省资源和开销，不再另外分配存储空间，而是直接**将实参数组所在的内存地址告诉被调函数**，让被调函数直接作用在实参数组上（即传递的是数组的**首地址**）
- 实现方法：将数组名作为参数，形参和实参都是数组名，类型一样

† 由于被调函数是直接作用到实参数组上的，即实参与形参代表的是同一个数组，因此在函数中对形参数组的任何修改都会影响到实参数组！

地址传递

C_array_swap.c

```
void my_swap(int a[], int b[], int n)
{
   int t, i;
   for (i=0; i<n; i++)
   { t=a[i]; a[i]=b[i]; b[i]=t; }
}

int main()
{
   int x[3]={1,2,3}, y[3]={2,4,6};
   my_swap(x,y,n);
}
```

用数组作形参，一定要加中括号！

但可以不指定第一维的大小

- 数组作为形参时一般不指定大小（长度），此时通常需要加一个参数，用来传递实参数组的大小。

二维数组传递

例：计算矩阵各列的和

C_array_sum.c

```
#include <stdio.h>
const int m=3, n=4; // 常量，矩阵维数
void sum_col(double A[][n], double s[])
{   int i, j;
    for(j=0; j<n; j++)  s[j]=0.0; // 赋初值
    for(j=0; j<n; j++)
    for(i=0; i<m; i++)  s[j] = s[j] + A[i][j]; // 求和
}
int main()
{   double H[m][n], s[n];
    for(int i=0; i<m; i++)
    for(int j=0; j<n; j++)  H[i][j]=1.0/(i+j+1);
    sum_col(H, s);
    printf("s[0]=%f, s[n-1]=%f\n", s[0], s[n-1]);
    return 0;
}
```

只能省略第一维的大小

数组名作为参数总结

- 在定义函数时，须指定数组（形参）的大小（常量表达式）

```
void sum_col(double A[10][10], double s[10])
```

可以省略第 1 维的大小

```
void sum_col(double A[][10], double s[])
```

若数组的大小中含有变量，则必须是常量（全局）

```
const int n=10;
void sum_col(double A[][n], double s[])
```

- 函数调用时，只需输入数组名（实参）即可

```
sum_col(A, s)
```

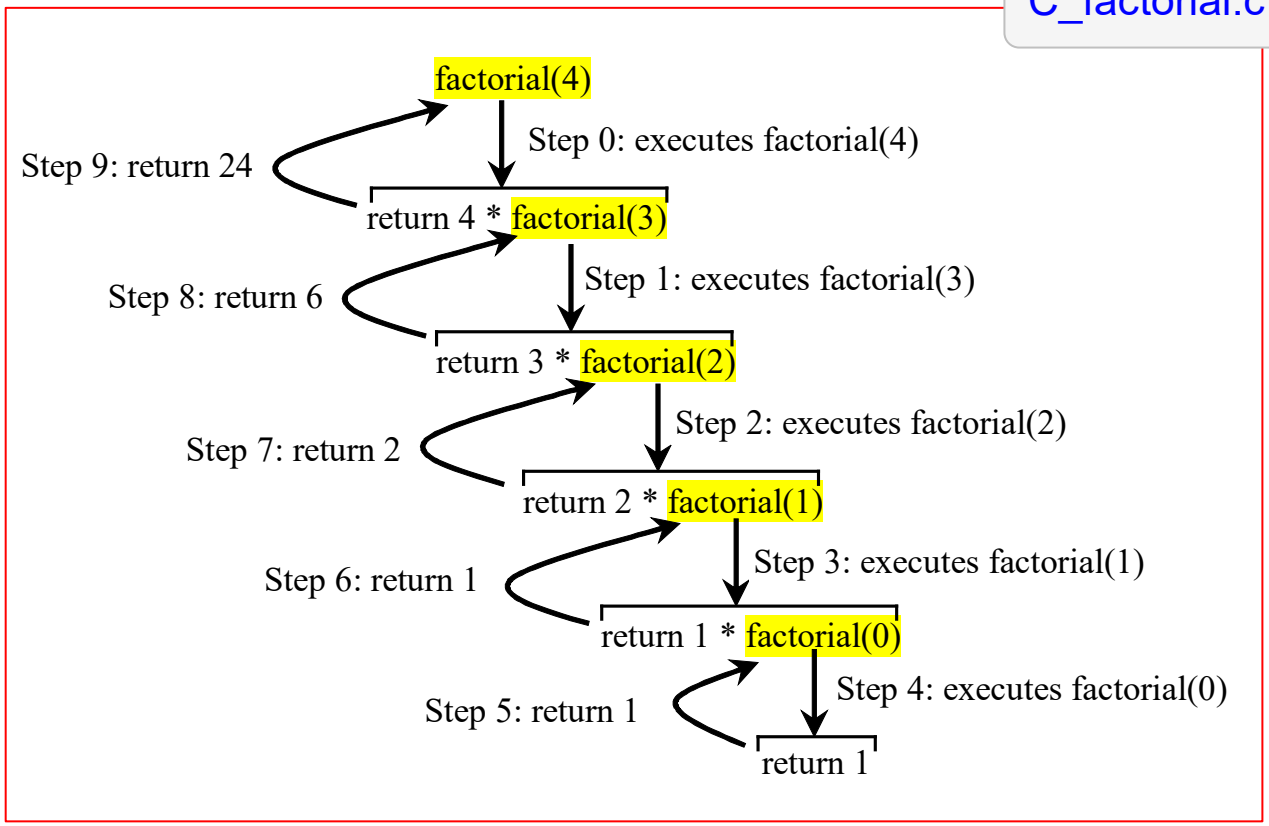
函数嵌套与递归

- 函数可以嵌套调用，但不能嵌套定义
- 函数也可以递归调用（函数可以直接或间接调用自己）

函数的嵌套

例：计算阶乘 $n! = \begin{cases} 1 & (n = 0) \\ n(n-1)! & (n > 0) \end{cases}$

C_factorial.c



† 对同一个函数的多次不同调用中，系统会给函数的形参和局部变量分配不同的存储空间，它们互不影响。

内联函数

内联函数的声明与使用

- 定义方法：与普通函数一样，只需加关键字 inline
- 与普通函数的区别：编译时在调用处用函数体直接进行替换
- 优点：能节省参数传递、控制转移等开销，从而提高代码执行效率

C_inline.c　// 编译时加 -O2

```
inline double f(double x)  // 内联函数
{
    return 2*x*x - 1; // f(x) = 2x^2 -1
}
```

- 内联函数通过应该功能简单、规模小、使用频繁
- 内联函数体内不建议使用循环语句和 switch 语句
- 有些函数无法定义成内联函数，如递归调用函数等

5 指针

- 指针基本用法
- 指针与常量
- 指针与数组
- 持久动态内存分配

指针

- 指针能使 C 语言象汇编语言一样处理内存地址，提高效率
- 运用指针可以很方便地使用数组和字符串
- 运用指针编程是 C 语言最主要的风格之一，也是困难的一部分

指针定义

什么是指针

- 指针变量，简称指针，用来存放其它变量的内存地址

- 指针的定义

  类型标识符 * 指针变量名

  - 声明一个指针类型的变量
  - 类型标识符表示该指针可指向的对象的数据类型，即该指针所代表的内存单元所存放的数据的类型

Tips：变量为什么要声明？
1) 分配内存空间; 2) 限定变量能参与的运算及运算规则。

Tips：内存空间的访问方式：1) 变量名; 2) 内存地址，即指针。

指针运算

指针的两个基本运算

- 提取变量的内存地址：&
- 引用指针所指向的变量：*

- 地址运算符：&

```
&变量名     // 提取变量在内存中的存放地址
```

example

```
int x=3;
int * px; // 定义指针 px
px=&x;    // 将 x 的地址赋给指针 px
```

- 此时，我们通常称 px 是指向 x 的指针
- 注意：指针的类型必须与其指向的对象的类型一致

指针运算

- 指针运算符：*

*指针变量　　// 引用指针变量所指向的对象

```
int x;
int * px; // 声明指针变量，星号后面可以有空格！
px=&x;
*px = 3;  // 等价于 x = 3，星号后面不能有空格！
```

† 在使用指针时，我们通常关心的是指针指向的元素！

Example：指针的初始化

```
int x = 3;
int * px = &x; // 初始化，指针的值只能是某个变量的地址
```

指针赋值

- 指针可能的取值

有效指针的三种取值

(1) 一个对象的地址；
(2) 指向某个对象后面的对象；
(3) 值为 0 或 NULL（空指针）。

```
int x=3;
int * px=&x;
Int * py=&x+1;
```

Example

```
int * pi;
pi=0;   // OK
pi=NULL; // OK
```

† 没有初始化或赋值的指针是无效的指针；
† 引用无效指针会带来难以预料的问题！

指针赋值：只能用以下四种类型的值

(1) 0 或者值为 0 的常量，表示空指针；
(2) 类型匹配的对象的地址；
(3) 同类型的另一有效指针；
(4) 类型匹配的对象的下一个地址（相对位置）。

指针与常量

- 指向常量的指针

`const 类型标识符 * 指针名`

```
const int a = 3;
int * pa = &a;  // ERROR
const int * cpa = &a; // OK
```

- 指向 const 对象（常量）的指针必须用 const 声明！
- 这里的 const 限定了指针所指对象的属性，不是指针本身的属性！

Example

```
const int a = 3;
int b = 5;
const int * cpa = &a; // OK
*cpa = 5; // ERROR
cpa = &b; // OK
*cpa = 9; // ERROR
b = 9; // OK
```

指向常量的指针所指对象的值并不一定不能修改！

- 允许把非 const 对象的地址赋给指向 const 的指针；
- 但不允许使用指向 const 的指针来修改它所指向的对象的值！

指针与常量

- 常量指针，简称常指针

```
类型标识符 * const 指针名
```

  - 常量指针：指针本身的值不能修改

Example

```
int a = 3, b = 5;
int * const pa = &a;  // OK
pa = &b;  // ERROR
```

- 指向 const 对象的 const 指针

```
const 类型标识符 * const 指针名
```

  - 指针本身的值不能修改，也不能通过它来修改其指向的对象。

指针算术运算

指针可以和整数或整型变量进行加减运算，且运算规则与指针的类型有关！

Example

```
int * pa; int k;
pa + k  // pa 所指的当前位置之后第 k 个元素的地址
pa - k  // pa 所指的当前位置之前第 k 个元素的地址
```

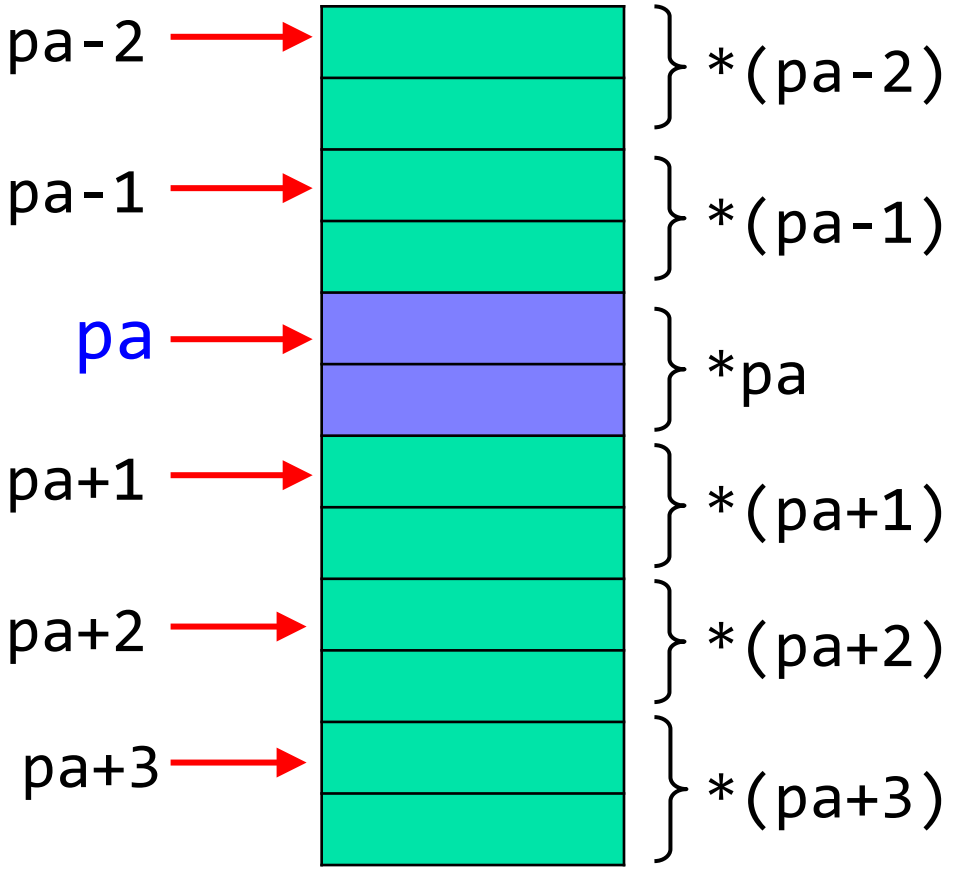
- 在指针上加上或减去一个整型数值 k，等效于获得一个新指针，该指针指向原来的元素之后或之前的第 k 个元素
- 指针的算术运算通常是与数组的使用相联系的
- 一个指针可以加上或减去 0，其值不变

Example

```
int * pa; int k;
pa++  // pa 所指的当前位置之后的元素的地址
pa--  // pa 所指的当前位置之前的元素的地址
```

指针算术运算

```
short * pa
// 每个元素占两个字节
```



指针与数组

C 语言中，指针与数组密切相关：由于数组元素在内存中是连续存放的，因此使用指针可以非常方便地处理数组元素！

Example

```
int a[]={0,2,4,8};
int * pa;
pa = a;  // OK
pa = &a[0];  // OK, 与上式等价
*pa = 3; // OK, 等价于 a[0]=3
*(pa+2) = 5;  // OK, 等价于 a[2]=5
*(a+2) = 5;  // OK, 等价于 a[2]=5
```

- 在 C 语言中，数组名就是数组的首地址！
- 当数组名出现在表达式中时，会自动转化成指向第一个数组元素的指针！

一维数组与指针

- 在 C 语言中，引用一维数组元素有以下三种方式：

(1) 数组名与下标，如：a[0]

(2) 数组名与指针运算，如：*(a+1)

(3) 指针，如：int * pa=a; *pa

example

```
int a[]={0,2,4,8};
int * pa = a;
*pa = 1;   // 等价于 a[0]=1
*(pa+2) = 5;   // 等价于 a[2]=5
*(a+2) = 5;   // OK，等价于 a[2]=5
*(pa++) = 3;   // OK，等价于 a[0]=3; pa = pa+1;
*(a++) = 3;   // ERROR! a代表数组首地址，是常量指针!
*(pa+1) = 10;  // 思考：修改了哪个元素的值?
```

- 指针的值可以随时改变，即可以指向不同的元素；
- 数组名等价于常量指针，值不能改变。

举例

例：使用三种方法输出一个数组的所有元素

```
// 第一种方式：数组名与下标
for (int i=0; i<n; i++)
    printf("%d,", a[i]);
```

```
// 第二种方式：数组名与指针运算
for (int i=0; i<n; i++)
    printf("%d,", *(a+i));
```

```
// 第三种方式：指针
for (int * pa=a; pa<a+n; pa++)
    printf("%d,", *pa);
```

```
// 第三种方式：指针
for (int * pa=a, i=0; i<n; i++)
    printf("%d,", pa[i]); ;
```

若pa是指针，k是整型数值，则

*(pa+k) 可以写成 pa[k]

*(pa-k) 可以写成 pa[-k]

C_pointer_array.c

一维数组与指针

一维数组 a[n] 与指针 pa=a

- 数组名 a 是地址常量，数组名 a 与 &a[0] 等价；
- a+i 是 a[i] 的地址，a[i] 与 *(a+i) 等价；
- 数组元素的下标访问方式也是按地址进行的；
- 可以通过指针 pa 访问数组的任何元素，且更加灵活；
- pa++ 或 ++pa 合法，但 a++ 不合法；
- *(pa+i) 与 pa[i] 等价，表示第 i+1 的元素；

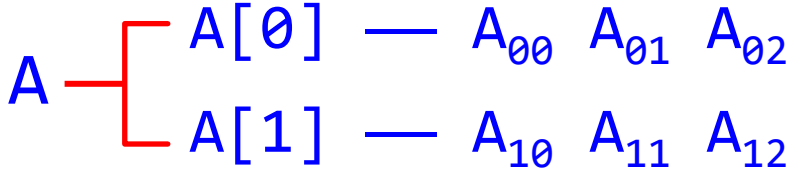
```
a[i]  <=> pa[i]  <=> *(pa+i)  <=> *(a+i)
```

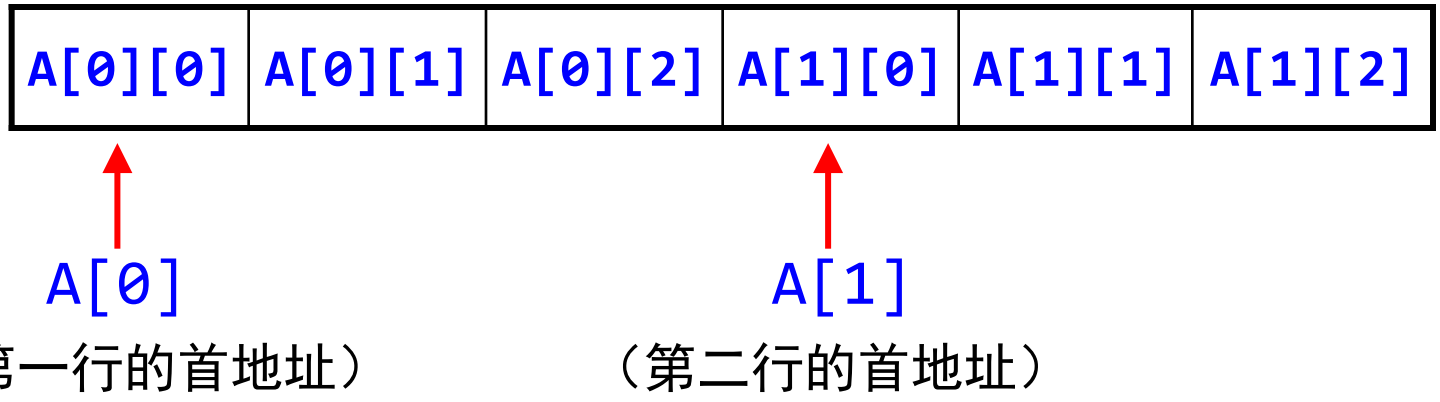
二维数组

C语言中，二维数组是按行顺序存放在内存中的，可以理解为一维数组组成的一维数组。

例：`int A[2][3]={{1,2,3},{7,8,9}};`

可以理解为：



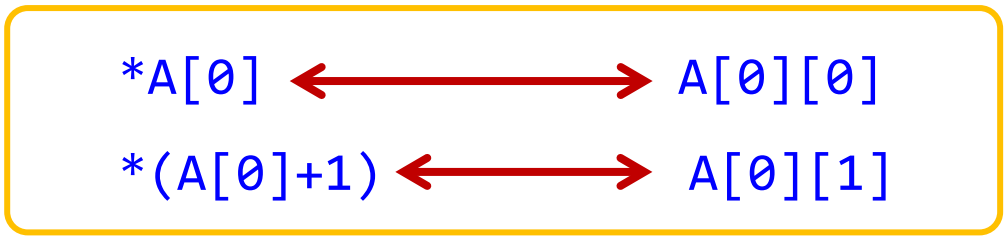


† A[0], A[1] 有时也称为行数组。

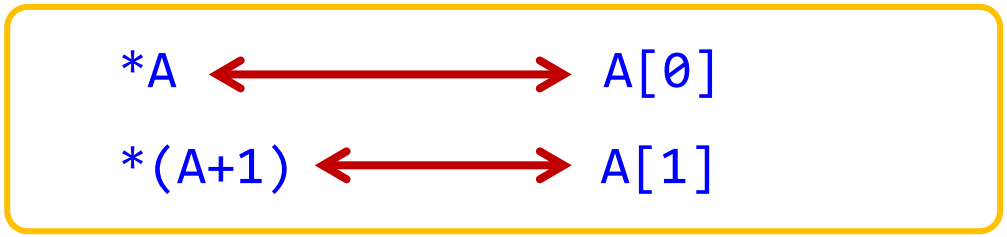
二维数组与指针

对于二维数组 A，虽然 A、A[0] 都是数组首地址，但二者指向的对象不同：

A[0] 是一维数组的名字，它指向的是行数组 A[0] 的首元素，即 A[0][0]



而 A 是一个二维数组的名字，它指向的是它的首元素，即 A[0]



二维数组与指针

Example

```
int A[2][3]={{1,2,3},{7,8,9}};
int * p = A; // ERROR!
int * p = A[0]; // OK
```

- 当 `int * p` 声明指针时，`p` 指向的是一个 `int` 型数据，而不是一个地址，因此，用 `A[0]` 对 `p` 赋值是正确的，而用 `A` 对 `p` 赋值是错误的！

- 如何用普通指针引用二维数组的元素？

设指针 `p=&A[0][0]`，则 `A[i][j]` <==> `*(p+n*i+j)`

C_pointer_array2D.c

指针作为函数参数

指针作为函数参数

- 以**地址**方式传递数据。
- 形参是指针时，实参可以是指针或地址。

```
void split(double x, int * n, double * f)
```

example

```
double x, x2;
int x1;
split(x, &x1, &x2)
```

当函数间需要传递大量数据时，开销会很大。此时，如果数据是连续存放的，则可以只传递数据的首地址，这样就可以减小开销，提高执行效率！

指针作为函数参数

指针作为函数参数的作用

- 使形参和实参指向共同的内存地址；
- 减小函数间数据传递的开销；
- 可以传递函数代码的首地址（后面介绍）。

Tips：

如果在被调函数中不需要改变指针所指向的对象的值，则可以将形参中的指针声明为指向常量的指针，以保护原始数据。

指针型函数

当函数的返回值是地址时，该函数就是指针型函数。

- 指针型函数的定义

```
数据类型 * 函数名(形参列表)
{
    函数体
}
```

持久动态内存分配

若在程序运行之前，不能够确切知道数组中元素的个数，如果声明为很大的数组，则可能造成浪费，如果声明为小数组，则可能不够用。此时需要动态分配空间，做到按需分配。

- 持久动态内存申请：**malloc、calloc、realloc**
- 持久动态内存释放：**free**

申请内存空间

```
px=(数据类型 *)malloc(size);
px=(数据类型 *)calloc(size);
```

- 在 **堆** 上申请大小为 size（字节数）的内存空间，若申请成功，则返回该内存空间的首地址，并赋值给指针 px;
- calloc 自动用零初始化，calloc 不初始化
- 若申请不成功，则返回 0 或 NULL
- 如果是在初始化语句中使用，可以省略 (数据类型 *)

```
int *px=malloc(100*sizeof(int));
```

```
free(px); // 释放由 malloc 申请的内存空间
```

† 持久动态内存必须手工释放，否则可能会造成内存泄漏！

持久动态数组举例：矩阵运算

C_malloc.c

```
int main()
{
        const int N=500;
        float *A = malloc(sizeof(float)*N*N);
        float *B = malloc(sizeof(float)*N*N);
        float *C = calloc(sizeof(float)*N*N);

    ... ...
}
```

```
px=(数据类型 *)realloc(px,newsize); // 调整大小
```

目录
Contents

6 文件操作

- 文件打开与关闭
- 文本文件的读写
- 二进制文件的读写
- 编译预处理与条件编译

打开文件

① 声明文件指针

```
FILE *pf;
```

② 打开文件

```
pf=fopen(文件名，打开方式);
```

- 文件名：普通字符串
- 打开方式：读 or 写，文本文件 or 二进制文件

```
rt、wt、at、rb、wb、ab、   rt+、wt+、at+、rb+、wb+、ab+
```

（r 为读，w 为写，+ 为读写，t 为文本，b 为二进制）

† 若打开成功，则返回指向文件的指针，否则返回一个空指针 (NULL)

③ 读、写文件

④ 关闭文件

```
fclose(pf);   // status=fclose(pf);
```

读写文本文件

- 写文本文件

```
fprintf(pf, "格式控制字符串", 输出变量列表);
```

用法与 printf 类似

C_fprintf.c

```
FILE *pf;
pf=fopen("out1.txt","wt");
double pi=3.1415926;
fprintf(pf,"pi=%-12.6f\n", pi);
fclose(pf);
```

- 读文本文件

```
fscanf(pf, "格式控制字符串", 地址列表);
```

```
fscanf(fp,"%d,%f", &i, &t);
```

读写二进制文件

- 写二进制文件

```
fwrite(buffer, size, count, pf);
```

将 count 个长度为 size 的连续数据写入到 pf 指向的文件中，buffer 是这些数据的首地址（可以是指针或数组名）

- 读二进制文件

```
fread(buffer, size, count, pf);
```

从 pf 指向的文件中读取 count 个长度为 size 的连续数据，buffer 是存放这些数据的首地址（可以是指针或数组名）

二进制文件举例

C_fwrite_fread.c

```
int A[3][3]={{11,12,13},{21,22,23},{31,32,33}};
FILE *pf;
pf=fopen("data1.dat","wb");
if(pf==NULL)  // 检测文件打开是否成功
{ printf("ERROR: Can not open the file!\n"); exit(1); }
fwrite(A,sizeof(int),9,pf);
fclose(pf);

int B[3][3];
pf=fopen("data1.dat","rb");
fread(B,sizeof(int),9,pf);
fclose(pf);
```

```
fwrite(A,sizeof(A),1,pf);
```

† 某些场合 sizeof 不能返回数组的准确大小，比如用 malloc 申请的内存空间。

编译预处理

- 加入头文件
- 定义宏
- 条件编译

编译预处理

- 加入头文件

```
#include <文件名>   // 按标准方式导入头文件，
                    // 即在系统目录中寻找指定的文件
#include “文件名”   // 先搜索当前目录，然后再搜索系统目录
```

- 宏定义

```
#define PI 3.14159  // 定义符号常量
#undef  PI  // 删除由 #define 定义的符号常量
#define S 3.1415926*r*r  // 可以是表达式
#define MAX(a,b)  (a>b)?a:b  // 带参数的宏
#define false 0
#define true 1
```

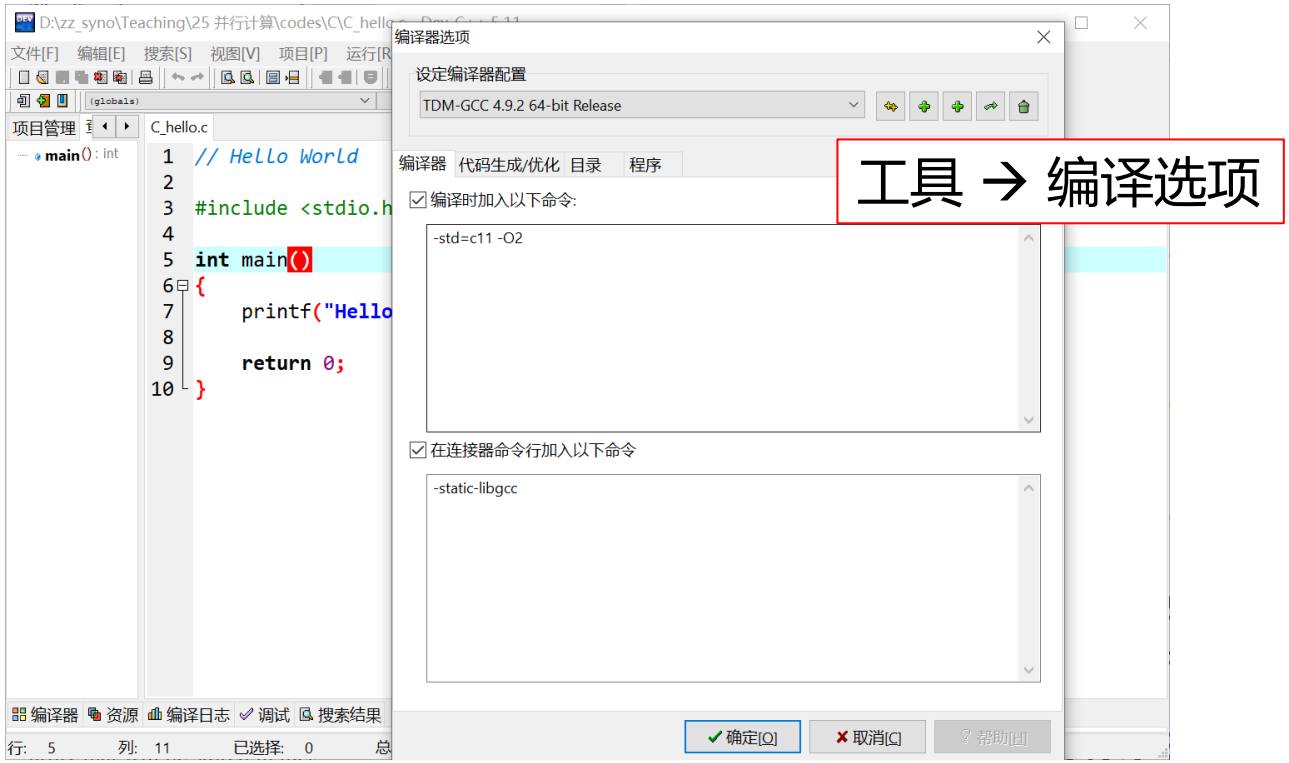
条件编译

```
#ifdef 标识符
    程序正文    // 当 “标识符”已由 #define 定义时编译
#else
    程序正文    // 否则编译这段程序
#endif
```

```
#ifndef 标识符
    程序正文    // 当 “标识符”没有定义时编译
#else
    程序正文    // 否则编译这段程序
#endif
```

编译建议

- 加选项 -std=c11 -O2
- Windows (Dev-C++) 缺省生成的可执行文件与源代码（主文件）同名（后缀名为 .exe）；
  Linux 下则为 a.out，建议加 -o 选项




C Programming