第四讲(Part 4)

控制结构

Control Structure

博姆-贾可皮尼理论，也称结构化程序理论

任何复杂的程序都可以用顺序、选择和循环这三种基本结构来表达。

—— C. Bohm and G. Jacopini

软件故障会导致机毁人亡！

这个自动控制下压机头的系统，名叫机动特性增强系统
(maneuvering characteristics augmentation system, MCAS)
这是波音 737 MAX 的一种操纵辅助系统。它有几个特点：

1. 发现迎角过大后，程序只相信主传感器，不与备份传感器核实。（同样的情况空客的飞机则会交给飞行员处理。）
2. 一旦相信，不通知飞行员，直接操纵机翼。
3. 飞行员手动操作后，仍旧会每五秒自动执行，让飞行员不得不与飞机较劲。
4. 程序开关非常隐蔽。

- **2018年 10 月，印尼狮航一架波音 737 MAX 8 喷气式客机撞向印度尼西亚的爪哇海，造成 189 名乘客和机组人员死亡。调查人员称该飞机的飞行控制软件出现“故障”。**
- **2019年 3 月 10 日，埃塞俄比亚航空公司一架波音 737 MAX 8 客机在飞往肯尼亚首都内罗毕途中坠毁。飞机上载有 157 名乘客机组人员（其中有8人来自于中国）。两次飞机出事的事故症状非常类似，所以有理由怀疑埃航这架飞机发生了同样的“软件故障”。**
- **在经历了两次空难之后，波音公司承诺，针对全球所有波音 737 Max 型飞机进行软件更新。**

提纲

4.1 结构化程序设计

- 从goto到结构化编程
- 理解结构化程序设计
- 三类控制结构
- 利用计算机求解问题：算法

4.2 选择结构

- 基本选择结构
- 条件运算符
- 条件语句中的嵌套
- 多路选择结构switch

4.3 循环结构

- while循环结构
- for循环语句
- do while循环结构
- 选择合适的循环结构
- 循环结构的嵌套
- 循环结构的非常规控制

4.4 再论goto语句

4.1 从goto到结构化编程

- **程序是计算机可执行的指令集合**
  - 执行指令流是**顺序执行的**，在此基础上通过**跳转指令**来跳过或者重复执行某些指令
- **跳转指令就是著名的goto语句**
  - 两种类型的跳转指令：非条件跳转和条件跳转

```
A: …                    //定义一个标号A，goto语句可以跳转到此处执行
……
if (a>b) goto B;// 条件跳转指令，如果a>b的条件成立，则跳转到B处执行
goto A;                 // 非条件跳转指令，跳过后面的语句，直接跳转到A处执行
……
B: …                    //定义一个标号B，goto语句可以跳转到此处执行
```

- **goto语句破坏程序结构**
  - 滥用goto语句，使得语句间的随意跳转破坏了程序的基本结构
  - 程序的可读性、可理解性退化到了汇编语言的级别
  - **造成程序逻辑结构的混乱，很难保证程序的质量**

程序需要一定的结构：结构化程序设计

- 博姆-贾可皮尼理论（也称结构化程序设计理论），最早由Bohm和Jacopini在1960年代提出的，是软件发展的一个重要的里程碑。
- 它的主要观点是采用自顶向下、逐步细化的程序设计思想和模块化的设计理念，使用三种基本控制结构来构造程序，即：任何程序都可由顺序、选择、重复三种基本控制结构来构造。
- 结构化编程的理论基础：任何可计算的函数（computable function）都可以通过顺序、选择、重复三种基本控制结构及其嵌套、组合来表达。
- 将具有特定功能的结构化语句封装成为子程序，子程序间通过三种基本控制结构连接，就实现了模块化编程：复杂问题分解为若干简单问题，每个简单问题通过合理粒度的代码封装和复用，各个击破，最终得到原问题的解。

C语言是典型的结构化程序设计语言

理解结构化程序设计

- **顺序和步骤：当我们完成一个任务时，总是按照一定的逻辑先后顺序（order）采取行动（action）**

如空间站机器人的步骤：

正确的顺序：目标定位→轨迹生成→关节驱动→剪电池板

错误的顺序：剪电池板→关节驱动→轨迹生成→目标定位

错误的顺序：目标定位→剪电池板→轨迹生成→关节驱动

- **问题分解：当我们解决一个复杂问题时，总是将它分解成若干简单问题，并按照合理的顺序依次执行相应的操作去解决各个简单问题，最后得到复杂问题的解**

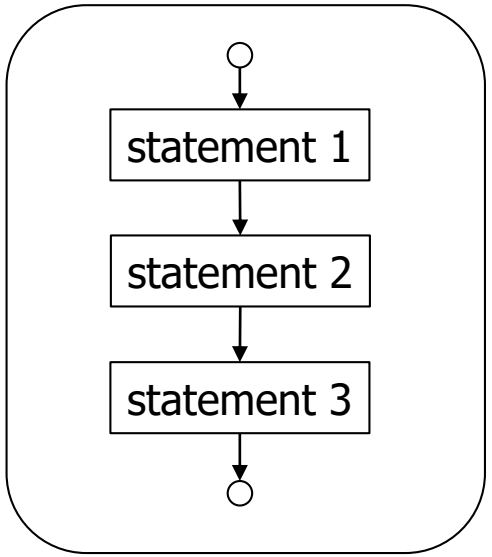
如求解一个复杂数学表达式：

$$pi = 16*\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{3*5^3}+\frac{1}{5*5^5}-\frac{1}{7*5^7}+\cdots\right)-4*\left(\frac{1}{239}-\frac{1}{3*239^3}+\frac{1}{5*239^5}-\frac{1}{7*239^7}+\cdots\right)$$

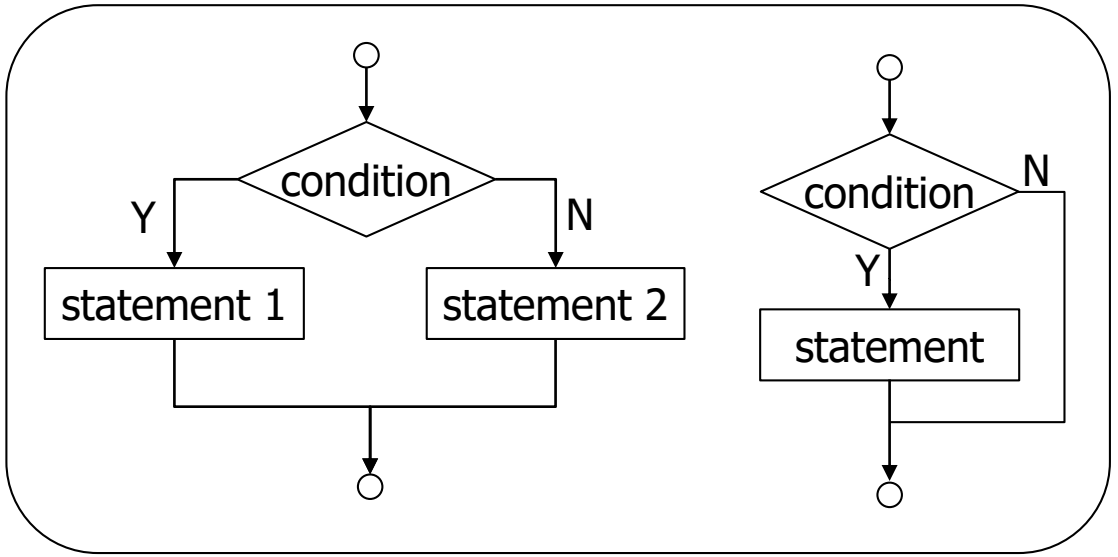
求解步骤：寻找通项公式 → 确定求解项数 → 分别计算各项 → 求和 → 得到答案

结构化程序的三种控制结构

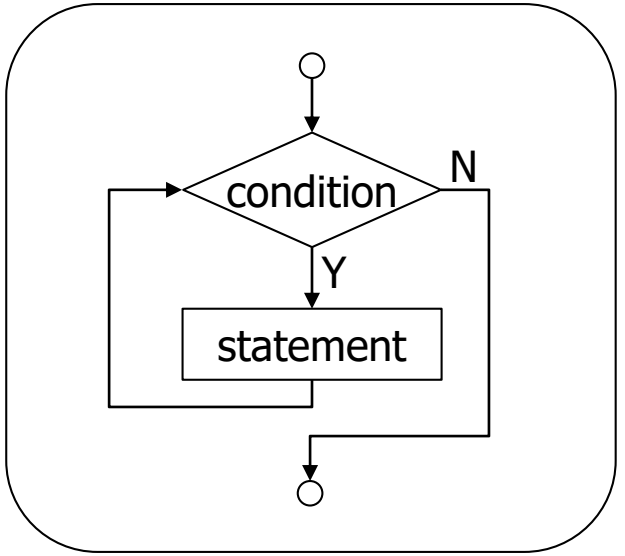
三种控制结构：



顺序（sequence）



选择（selection）



循环（repetition）

人的一生是结构化的过程

- **长期来看的顺序结构：**

出生→幼儿园→小学→中学→大学→研究生→工作→结婚→生子→退休→死亡

- **中期来看的选择结构：**

学or不学好C语言程序设计？要不要每天坚持去OJ刷题？考研or工作？搞金融 or 搞IT？期望月薪8K or 50K？和小张交往or和小李交往？...
人人心中都有一个条件决定自己的选择？

- **短期来看的重复结构：**

每天在重复：。。。

人的一生是结构化的过程

- **长期来看**的顺序结构：人的一生是短暂。出生→不虚此行→死亡。
- **中期来看**的选择结构：人的一生七次改变命运的机会。学会取舍，有舍才有得。
- **短期来看**的重复结构：每天都很平凡，量变引起质变。

```
for(pi=1,sign=1,i=1; i<=n; i++)
{
    sign = -sign;
    pi = pi + sign / (2 * i + 1.0);
}
```

3.14159265358979323846...

每天在重复：

起床→吃饭→编程/学习→吃饭

↑ ↓

睡觉←编程←吃饭←锻炼←编程/学习

在正能量的重复中，获得正确的人生选择，度过一个最有价值的顺序人生！

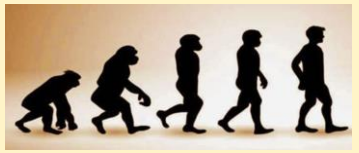
起床→吃饭→上课睡觉→吃饭

↖ ↘

睡觉←抄代码←打游戏

负正能量的重复

程序人生



C语言的三类控制结构

- 顺序结构（Sequence, 除非遇到选择或循环结构，语句都是顺序执行的）
- 选择结构（Selection）：if, if/else, switch
- 重复结构（Repetition）
  - 又可细分为三种循环语句：while，for, do...while
- 任何C程序都可以用如上七种结构组合而成

例：两数相除

顺序

```c
// a divided by b
#include <stdio.h>
int main()
{
    int  a, b;
    double d;
    scanf("%d%d", &a, &b);
    d = (double)(a) / b;
    printf ("%d%d"= %f\n", a, b, d);
    return 0;
}
```

选择

```c
#include  < stdio.h >
int main()
{
    int  a, b;
    double d;
    scanf("%d%d", &a, &b);
    if (b == 0)
        printf("divided by zero!\n");
    else
    {
        d = (double)(a) / b;
        printf("%d/%d = %f\n", a, b, d);
    }
    return  0;
}
```

循环

```c
#include < stdio.h >
int main()
{
    int  a, b;
    double d;
    while (scanf("%d%d", &a, &b) != EOF)
    {
        if (b == 0)
            printf("re-input!\n");
        else
        {
            d = (double)(a) / b;
            printf("%d/%d=%f\n", a, b, d);
        }
    }
    return  0;
}
```

技巧：写成if(0 == b)更安全！为什么？

写成if(b == 0)更友好，符合认知和习惯

C语言的三类控制结构：选择

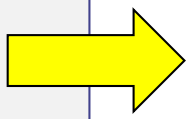
例：求解一元二次方程 $ax^2 + bx + c = 0$ （$a \neq 0$）

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main()
{
    double a= 1, b= 6, c = 5, r1, r2;
    double delta= b* b- 4 * a* c;
    r1= (-b + sqrt(delta)) / (2 * a);
    r2= (-b - sqrt(delta)) / (2 * a);
    printf("r1: %f, r2: %f\n", r1, r2);
    return 0;
}
```

如果 b = 3; // 此时(b^2 - 4ac < 0)

结果如何?



```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define eps 1e-15
int main()
{
    double a, b, c, delta, r1, r2;
    scanf("%lf%lf%lf", &a, &b, &c);  // a不为0
    delta = b * b - 4 * a * c;
    if ((delta >= -eps) && (delta <= eps))
        printf("one real root: %f\n", -b/(2 * a));
    else if (delta > 0.)
    {
        r1 = (-b + sqrt(delta)) / (2 * a);
        r2 = (-b - sqrt(delta)) / (2 * a);
        printf("two real roots:  %f, %f\n", r1, r2);
    }
    else
        printf("no real roots\n");
    return 0;
}
```

C语言的三类控制结构：循环（又叫重复）

例4-3：求斐波那契数列第n项：1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, …

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    int  a = 1, b = 1, n, i;
    scanf("%d", &n);
    for (i = 3; i <= n; i++)
    {
        b = a + b;
        a = b - a;
    }
    printf("%d\n", b);
    return 0;
}
```

效果等价于 int tmp = b; b = a + b; a = tmp;

斐波那契数列（Fibonacci sequence），又称黄金分割数列、因数学家列昂纳多·斐波那契（Leonardoda Fibonacci）以兔子繁殖为例子而引入，故又称为“兔子数列”。在数学上，斐波那契数列由递推的方法定义：

$F(1)=1$，$F(2)=1$, $F(n)=F(n-1)+F(n-2)$（$n \geq 3$，$n \in N^*$）

在现代物理、准晶体结构、化学等领域，斐波纳契数列都有直接的应用，为此，美国数学会从 1963 年起出版了以《斐波纳契数列季刊》为名的一份数学杂志，用于专门刊载这方面的研究成果。

利用计算机求解问题：算法(Algorithm)

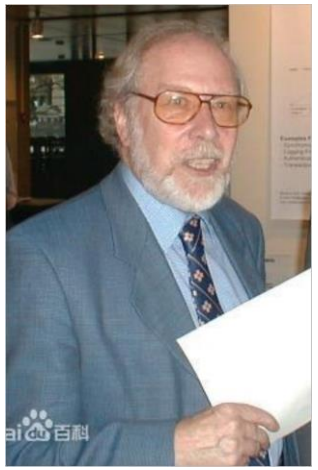
- **算法：是用来解决某个问题的计算过程，一般都有输入和输出，包括**
  1. 执行的操作
  2. 执行操作的顺序

  - 任何算法都是由三种基本控制结构组成
  - 算法执行过程不能有二义性，必须在有限时间内结束
  - 算法的提出需要相应的数学模型或物理理论作为支撑
  - **程序设计的核心是算法**，不懂算法的编程者就沦为coder了（码农：编码界的劳动密集型体力劳动者）

三类控制结构
足以构成任意
复杂的算法

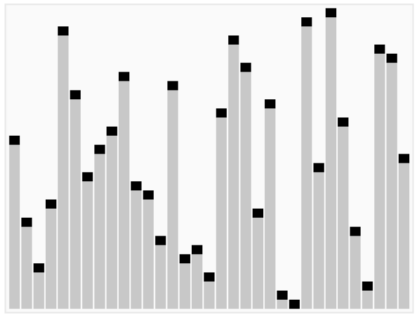
- **程序 = 算法+数据结构**

计算机界有这样一种说法：如果说有一个人因为一句话而得到了图灵奖，那么这个人应该就是 Nicklaus Wirth（尼古拉斯·沃斯），这句话就是他提出的著名公式“算法+数据结构 = 程序”。
Nicklaus Wirth，1984年获得图灵奖，是Pascal之父。这个公式对计算机领域的影响程度足以类似物理学中爱因斯坦的“$E=MC^2$”，这个公式展示出了程序的本质。



一些经典的算法思想

- **分治法**
  - 二路归并排序
  - 快速排序
  - 最大子数组
- **动态规划**
  - 整数分解
  - 0-1背包
  - 钢条切割
  - 最少硬币找零
  - 矩阵链乘法
- **贪心算法**
  - Kruskal最小生成树
  - 活动选择
- **回溯算法**
  - 迷宫问题

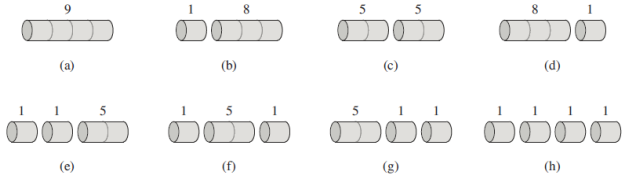


快速排序

13	-3	-25	20	-3	16	-23	18	20	-7	12	-5	-22	15	-4	7

最大子数组

length i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
price p_i	1	5	8	9	10	17	17	20	24	30



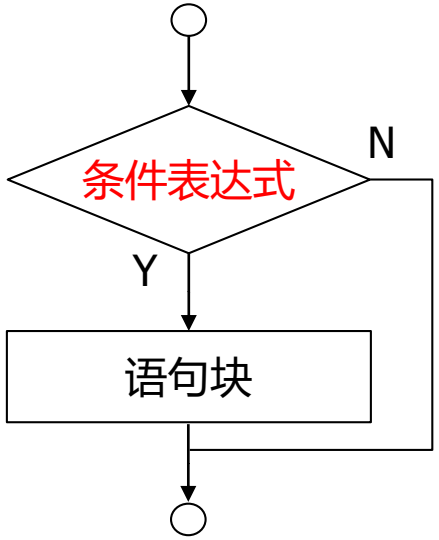
钢条切割

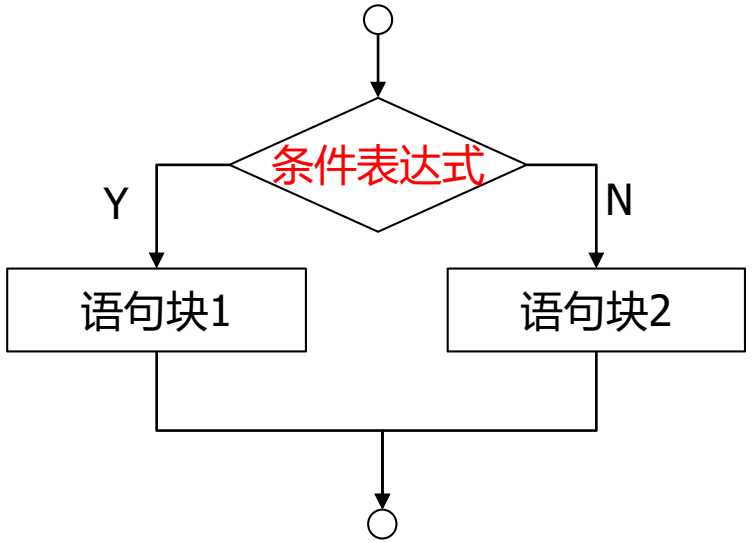
最少硬币找零

千里之行，始于足下，C语言是理解算法、执行算法的最好工具

4.2 选择结构

- if 条件语句
- if/else 条件语句





- 语法

```
if(条件表达式)
    语句块

后续语句块
```

```
if(条件表达式)
    语句块1
else
    语句块2

后续语句块
```

1. **语句块**可以是单一语句，也可以是{}括起来的复合语句块

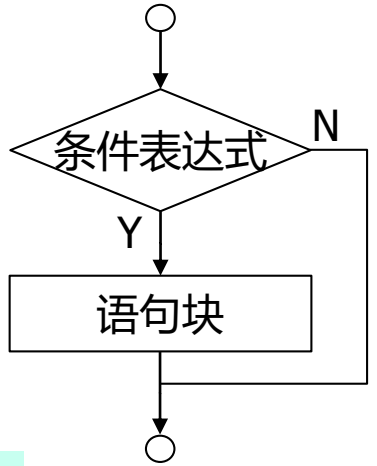
2. 任何一个结果为逻辑值的表达式（expression）都可作为if 的**条件表达式**【逻辑值，BOOL值，取值为1或0，C语言里用“非0的数值”来模拟逻辑值1】

3. 如果作为**条件表达式**的值是0，则称条件为假(No or False)；否则称条件为真(Yes or True)

if条件语句

- if条件语句：用于在条件为 true（非0）时采取相关的操作。

```
if( <条件表达式> )
    <语句块>
```



- 当<条件表达式>的取值非0时，均表示条件为真(yes)，只有取值为 0 时，才表示条件为假。【C语言没有BOOL变量类型，通常用整数表示条件的取值，0表示假，非0表示真】

```
if(a + b)
    <语句>
```

大佬一般这样用，专业、简洁

示例：if(5) 等价于 if(1)

⇔

```
if( a + b != 0)
    <语句>
```

一般人的做法。
程序的可读性，可维护性更强些。
能直观表示编程人员的实际想法。

- 类似地，

```
if(!x)
```

⇔

```
if(x == 0)
```

实例：条件表达式

if 条件表达式：用于在条件为 true (非0) 时采取相关的操作。见如下例4-1

```
if (score >= 80 && score < 90)
    printf("成绩：良");
```

```
scanf("%d%d", &a, &b);
if (0 == b) // 另一种写法 if(!b)
{
    printf("The denominator is zero, Quit!");
    return 1;
}
d = (double)(a) / b;
```

```
char c;
if (scanf("%c", &c) != EOF && c >= 'a' && c <= 'z')
{
    printf("%c", c);
}
```

```
if ((a == 1) + (b == 2) + (c == 3) + (d == 4) + (e == 5) + (f == 6) == 3)
    printf("Guess it! U r a normal person.\n");
```

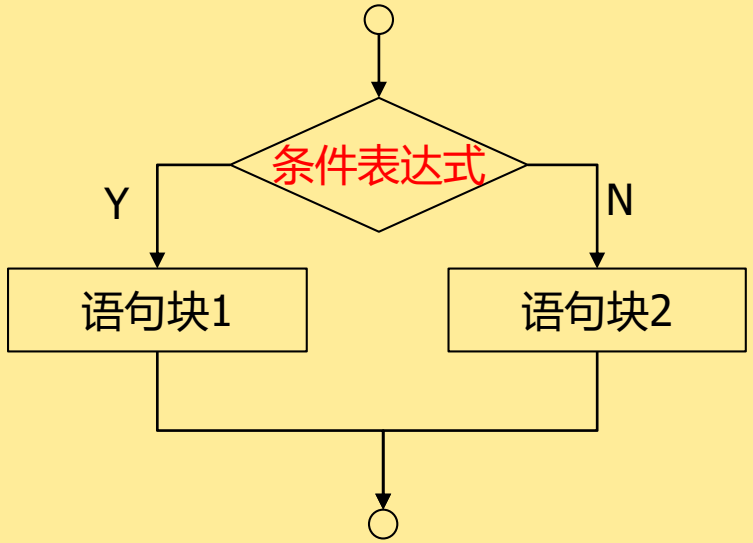
if/else 条件语句

if/else 条件语句：用于在条件为false (0) 或 true (非0) 时采取不同操作。

- 语法

```
if( <条件表达式> )
        <语句块1>
else
        <语句块2>
```

- 流程图

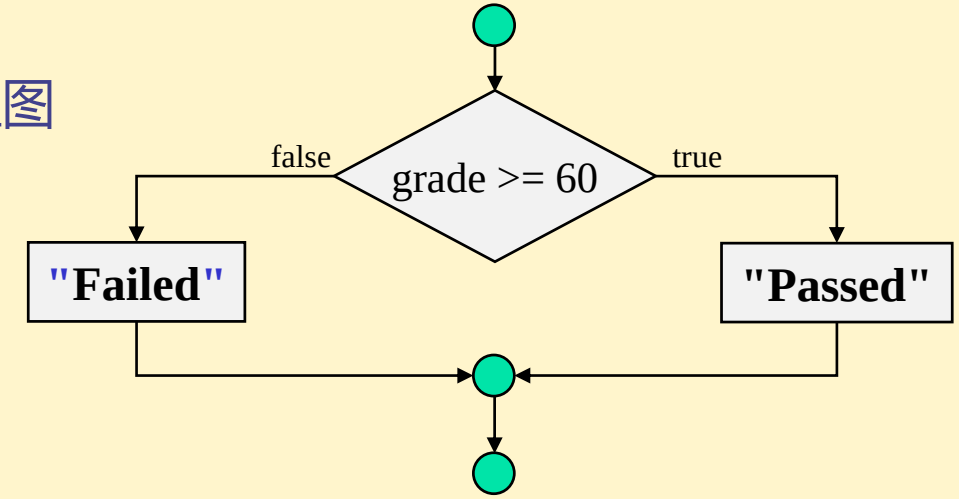


if/else 条件语句

if/else 条件语句：用于在条件为false (0) 或 true (非0) 时采取不同操作。

【例4-2】 假设考试成绩大于等于60分为通过，否则为不通过。

流程图



伪代码

```
if student's grade is greater than or equal to 60
        Print "Passed"
else
        Print "Failed"
```

```c
#include  <stdio.h>
int main()
{
    int grade;
    scanf("%d", &grade);
    if (grade >= 60)
        printf("Passed!");
    else
        printf("Failed!");
    return 0;
}
```

条件运算符

- 条件运算符（ _ ? _ : _ ）与if/else结构关系密切相关

  语法格式为： expression ? expression 1 : expression 2

含义：当expression表达式为真时，执行表达式expression1并将它的值作为整个表达式的值；否则执行表达式expression2并将它的值作为整个表达式的值

- C语言唯一的三元（三目）运算符，可以简化if/else描述，下列语句是等价的

```
if(grade >= 60)
    printf("Passed!\n");
else
    printf("Failed!\n");
```

⇔

```
printf( grade >= 60 ? "Passed\n" : "Failed\n" );
```

⇔

```
(grade >=60) ? printf("Passed!\n") : printf("Failed!\n") ;
```

条件运算符的使用

- 条件表达式（ _ ? _ : _ ）与if/else结构关系密切相关
- C语言唯一的三元（三目）运算符，可以简化if/else描述，下列语句是等价的

例：输出数组的LEN个数，每行输出5个数

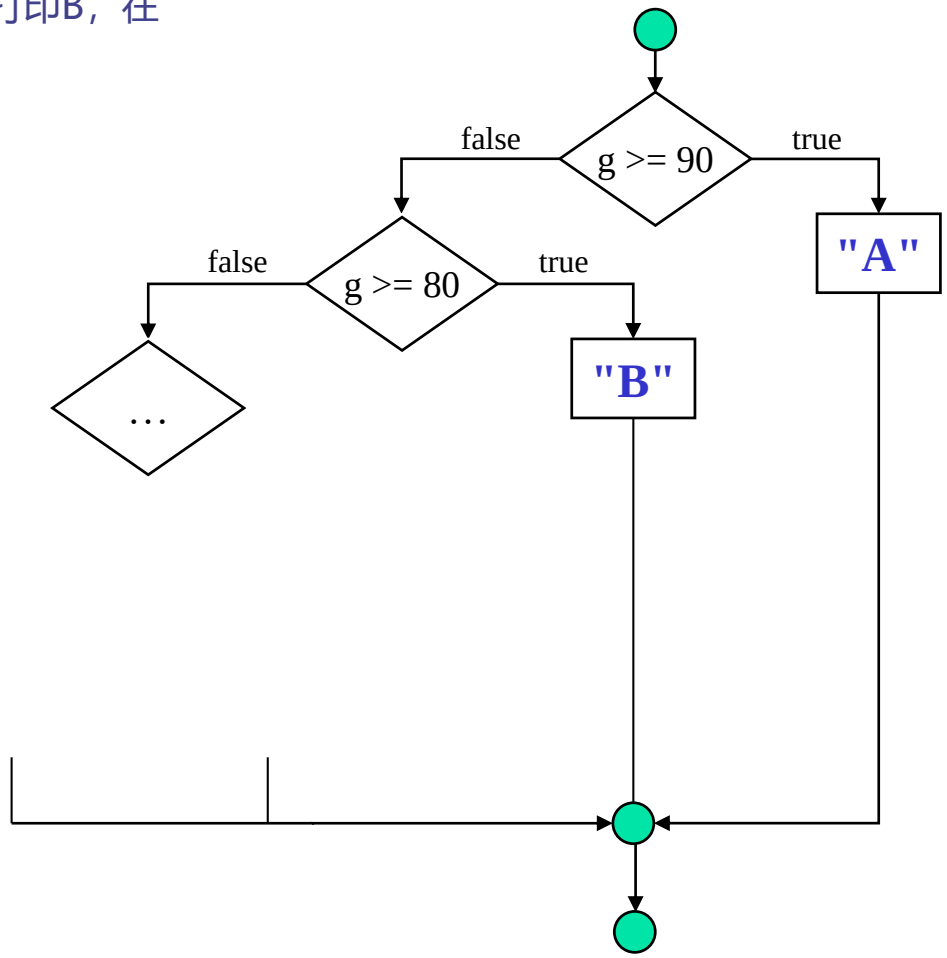
```
for (i = 0; i < LEN; i++)
{
    if ((i + 1) % 5 != 0)
        printf("%d  ", x[i]);
    else
        printf("%d\n", x[i]);
}
```

```
for (i = 0; i < LEN; i++)
{
    printf((i + 1) % 5 != 0 ? "%d  " : "%d\n", x[i]);
}
```

嵌套选择结构

- 嵌套if...else结构测试多个选择，将一个if...else选择放在另一个if...else选择中。
  - 例：买苹果的挑选过程。
  - 例：成绩分段打印，成绩大于等于90分时打印 A，在80到89分之间打印B，在70到79分之间打印 C，在60到69分之间时打印 D，否则打印 F。
- 伪代码

```
if grade is greater than or equal to 90
      Print "A"
else
      if grade is greater than or equal to 80
          Print "B"
      else
          if grade is greater than or equal to 70
              Print "C"
          else
              if grade is greater than or equal to 60
                  Print "D"
              else
                  Print "F"
```



- 完整的流程图？（课后练习）

嵌套选择结构

【例4-3】 成绩分段打印，成绩大于等于90分时打印 A，在80到89分之间打印B，在70到79分之间打印 C，在60到69分之间时打印 D，否则打印 F。

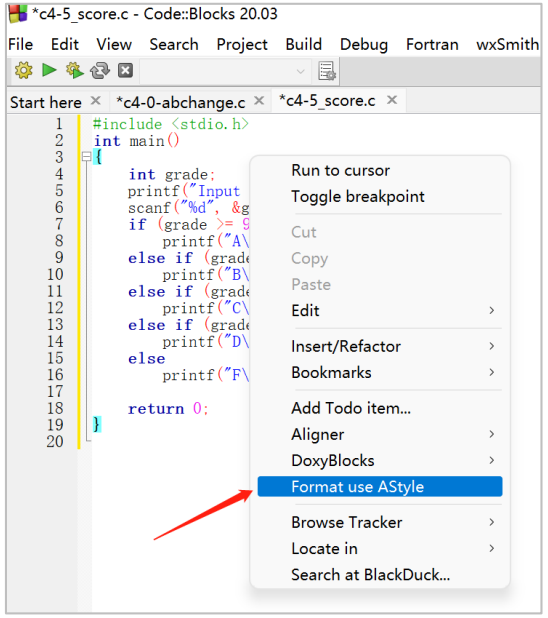
```
if grade is greater than or equal to 90
        Print "A"
else
        if grade is greater than or equal to 80
            Print "B"
        else
            if grade is greater than or equal to 70
                Print "C"
            else
                if grade is greater than or equal to 60
                    Print "D"
                else
                    Print "F"
```

```
int  grade;
scanf("%d", &grade);
if(grade >= 90)
    printf("A\n");
else
    if(grade >= 80)
        printf("B\n");
    else
        if(grade >= 70)
            printf("C\n");
        else
            if(grade >= 60)
                printf("D\n");
            else
                printf("F\n");
return 0;
```

层次分明

```
int  grade;
scanf("%d", &grade);
if(grade >= 90)
    printf("A\n");
else if(grade >= 80)
    printf("B\n");
else if(grade >= 70)
    printf("C\n");
else if(grade >= 60)
    printf("D\n");
else
    printf("F\n");
return 0;
```

节省宽度



很多IDE有自动调整格式功能！

嵌套选择结构的程序效率分析

性能提示

- 嵌套 if...else 结构比一系列单项选择 if 结构运行速度快得多，因为它能在满足其中一个条件之后即退出。
- 在嵌套 if...else 结构中，测试条件中 true 可能性较大的应放在嵌套 if...else 结构开头，从而使嵌套 if...else 结构运行更快，比测试不常发生的情况能更早退出。

【例】若成绩好的学生编到实验班，要打印实验班的成绩等级，哪个程序更快？

当然，现在的普通个人电脑的计算能力足够强大，能计算“$>2^{30}$”次/秒，右图程序计算速度的区别我们根本感觉不到，但养成好的思维习惯总是好的。比如，同样的逻辑循环执行 2^{30} 次呢？

```
grade = 88;
if (grade >= 90)
    printf("A\n");
if ( grade >= 80 && grade < 90)
    printf("B\n");
if ( grade >= 70 && grade < 80)
    printf("C\n");
if ( grade >= 60 && grade < 70)
    printf("D\n");
if (grade < 60)
    printf("F\n");
```

⇳

```
grade = 88;
if (grade >= 90)
    printf("A\n");
else if ( grade >= 80 )
    printf("B\n");
else if ( grade >= 70 )
    printf("C\n");
else if ( grade >= 60 )
    printf("D\n");
else
    printf("F\n");
```

⇔

```
grade = 88;
if (grade < 60)
    printf("F\n");
else if ( grade < 70 )
    printf("D\n");
else if ( grade < 80 )
    printf("C\n");
else if ( grade < 90 )
    printf("B\n");
else
    printf("A\n");
```

嵌套中else匹配问题

【例4-5】

在OJ排行榜上，

1. 得分**不低于**300，且排名前500，优秀；
2. 若得分**低于**300（过题数少于3题），继续努力（Fail）；
3. 得分**不低于**300，但排名在500以后，说明题简单，不表扬不批评（无输出）。


比赛排名 更新中，上次更新于 2020-10-05 14:33:34

« ‹ 1 ... 4 5 6 7 8 9 10 › »

排名	用户	得分	罚时	A 955/961	B 873/910	C 927/936	D 535/582
501		590	15:35:30	0:12:32	0:39:43(+1)	1:03:18(+2)	1:51:47(+
502		587.5	9:01:43	0:04:49(+1)	0:16:24	1:26:20	2:16:09
503		587.5	9:40:51	0:17:57(+1)	0:28:05	0:38:05(+1)	
504		587.5	82:53:26	0:36:28(+3)	0:53:01	0:59:49	
505		581.25	16:06:25	0:12:14	1:04:22(+2)	0:19:16	5:27:51(+
506		580	9:56:51	0:07:17	0:41:08(+3)	0:46:46	2:13:32
507		577.5	9:06:20	0:05:30	1:19:00(+1)	1:24:21(+1)	1:07:25
508		575	166:24:00	0:07:04	1:50:30(+7)	0:26:07(+1)	1:10:00(+
509		570	10:07:12	0:04:13	0:20:26	0:33:39(+1)	
510		568.75	75:34:04	0:12:10	1:14:23(+2)	0:38:33	48:11:56(+

```
int score = 400, rank = 900;
if(score >= 300)
    if(rank <= 500)
        printf("Excellent");
else
    printf("Fail");
```

output? Fail

```
int score = 400, rank = 900;
if(score >= 300)
    if(rank <= 500)
        printf("Excellent");
    else
        printf("Fail");
```

```
// 正确的写法
if(score >= 300)
{
    if(rank <= 500)
        printf("Excellent");
}
else
    printf("Fail");
```

- C语言语法总是把 else 同它之前最近的 if 匹配起来
- C语言不靠缩进决定匹配关系
- C语言缩进是给人看的，在编译器眼中多个空白字符（回车，空格，换行，制表符等）等价于1个空白字符

语句块（复合语句）

```
if(studentGrade >=60)
        printf("Passed\n");
else
        printf("Failed\n");
        printf("降级，再读一年.\n");
```

```
if(studentGrade >=60)
        printf("Passed\n");
else
        printf("Failed\n");
printf("降级，再读一年.\n");
```

应该这样写

```
if(studentGrade >=60)
{
        printf("Passed\n");
}
else
{
        printf("Failed\n");
        printf("降级，再读一年.\n");
}
```

- 选择条件（或循环）下有多条语句时，需要用大括号括起来
- C语言将大括号{}内的多条语句视为逻辑上的一个语句，称为块（block）
- 条件下只有一条语句时，建议也用大括号括起来，便于程序扩展（未来在块里添加语句）

使用选择结构：一元二次方程的根（扩展版）

【例4-6】输入一元二次方程 $ax^2 + bx + c = 0$ 的实数系数a, b, c，求方程的实数根?

题目分析：根据求根公式

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

计算机中有些实数的表示不是100%精确。比如：数学上 dt 的值为0，但在计算机中实际可能为 10^{-30}，则程序中 (dt > 0.0) 为真（但我们希望为假），(dt == 0.0) 为假（我们希望为真）。

怎么解决?

回忆浮点数的精度问题

试试：printf("%d\n", 0.55 + 0.40 == 0.95);

条件语句实例：浮点数的比较

找bug

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main()
{
    double a, b, c, r1, r2, dt;
    scanf("%lf%lf%lf", &a, &b, &c);
    dt = b * b - 4 * a * c;
    if (dt > 0.0)
    {
        r1 = (-b + sqrt(dt)) / (2 * a);
        r2 = (-b - sqrt(dt)) / (2 * a);
        printf("two real root: %f, %f\n", r1, r2);
    }
    else if (0.0 == dt)
        printf("one real root: %f\n", -b / (2 * a));
    else
        printf("no real root \n");
}
```

- **计算机中有些实数的表示不是100%精确，存在表示误差，特别经过计算后，误差会放大**
  - 对于实数而言，理论上等于某个值时，可能实际存储存在一定的误差
- **很多情况不要对实数进行 == 或 != 的判断**
  - 可以根据问题中数据的精度情况，判断是否在精度范围之内
  - 如：数据精度保留到小数点后9位有效数字，则 (dt != 0) 可改为 fabs(dt) >= 1e-9 (此时需要包括 <math.h>，fabs为求实数的绝对值)

条件语句实例：浮点数的比较

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main()
{
    double a, b, c, r1, r2, dt;
    double eps = 1e-9;
    scanf("%lf%lf%lf", &a, &b, &c);
    dt = b * b - 4 * a * c;
    if (fabs(dt) < eps)
        printf("one real root: %f\n", -b / (2 * a));
    else if (dt > 0.0)
    {
        r1 = (-b + sqrt(dt)) / (2 * a);
        r2 = (-b - sqrt(dt)) / (2 * a);
        printf("two real root: %f, %f\n", r1, r2);
    }
    else
        printf("no real root \n");
}
```

思考：

1. **如何判断dt是否为0?**
2. **调整了if判断的顺序：先判断是否为0，再考虑大于、小于0的情况，为什么?**

条件语句实例：关系相等与赋值

【例4-7】四则运算

程序的严重问题！

- 如果if(op == '-')写成 if(op = '-')，后果会怎么样?
- 把逻辑相等 if(a == b) 的比较写成了赋值 if(a = b)（等价于if(a)），是一个**逻辑错误**（编译不会提示）！而且，还很隐蔽地修改了变量的值！这是双重错误！

一种修改方式 if('-' == op)，即，比较的常量在左边！编译器就会提示我们的粗心。

```
char op;
double x, y, r;
scanf("%c%lf%lf", &op, &x, &y);
if (op == '+')
    r = x + y;
else if (op = '-')
    r = x - y;
else if (op == '*')
    r = x * y;
else if (op == '/' && y != 0.0)
    r = x / y;
else
{
    printf("invalid expression: %6.2f %c %6.2f\n", x, op,y);
    return 1;
}
printf("%6.2f %c %6.2f = %12.4f\n", x, op, y, r);
```

程序是否有错?

```
* 2 5
  2.00 -     5.00 =          -3.0000
```

输入* 2 5，应该输出 2*5 = 10，怎么是 2-5 = -3 呢？

相等关系"=="与赋值"="运算符的进一步说明

- 赋值

```
int a;          a = 6;  // 变量赋值
```

- 相等关系运算

```
int a, b, c;
b = 5;          c = 7;
a = (b == c);    // ?
```

- 用==运算符进行赋值或用=运算符表示关系相等是个逻辑错误

```
int  gender = 0;   // 1表示male, 0表示female
if  ( gender = 1 ) // ??
    printf("male\n");
else
    printf("female\n");
```

输出?

等价于两条语句的逻辑：
gender = 1, then if (gender)
逻辑错误，还隐蔽地修改了变量的值。

编程提示

if (1==gender) , 好的解决方案

if (1=gender) , 会提示语法错误

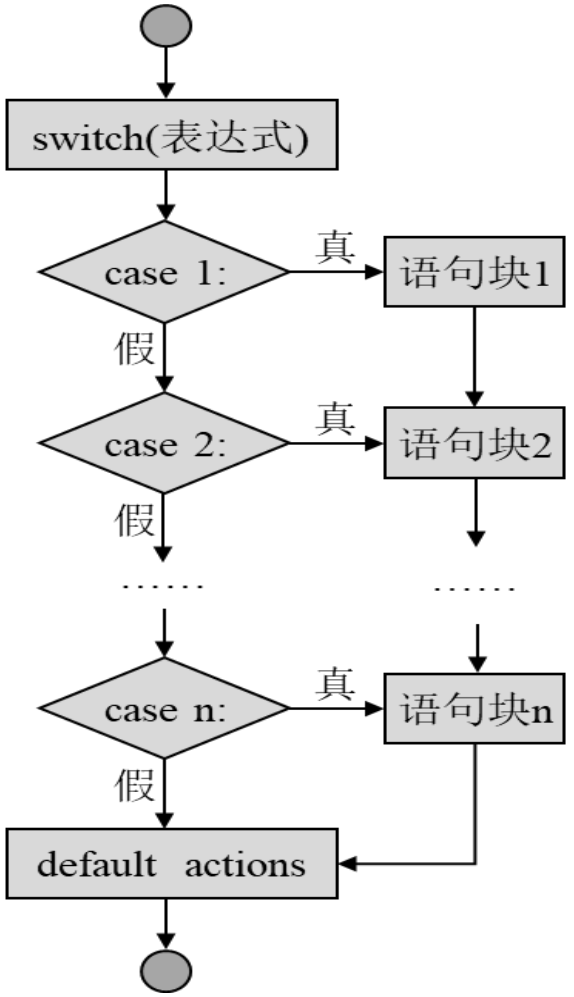
当 “a == b” 左右两边都是变量时，编程人员要格外小心！

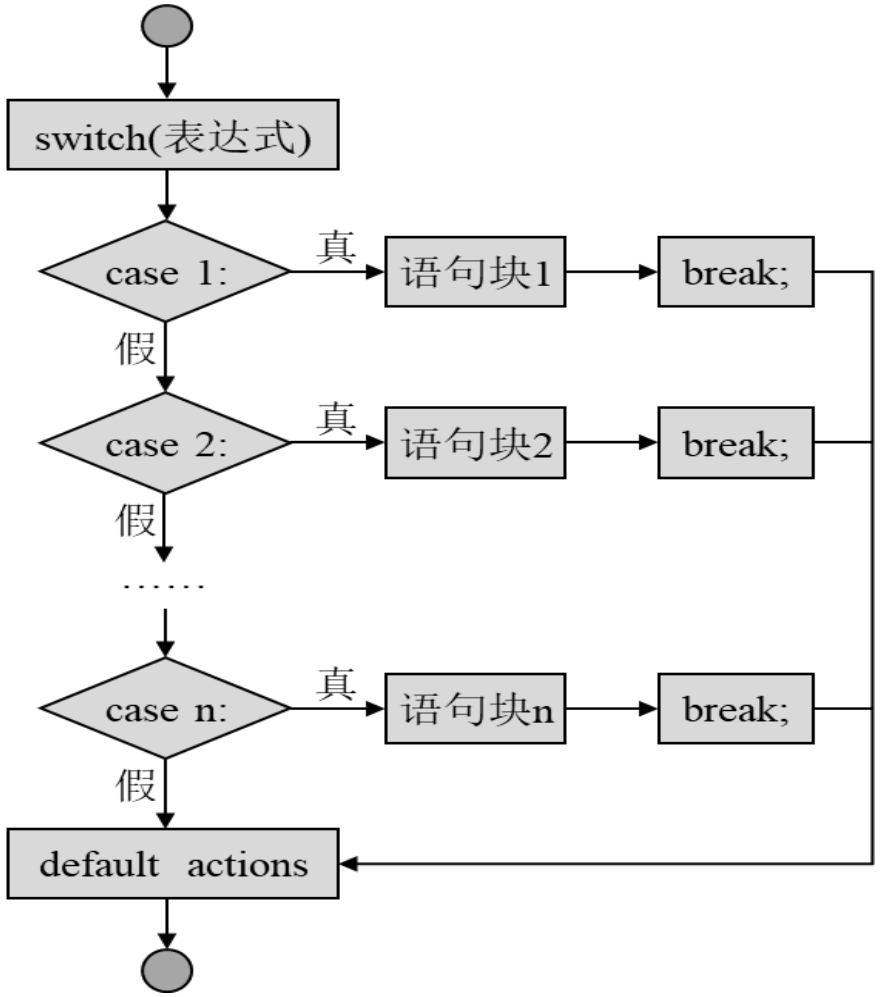
多路选择结构：switch

- **开关语句switch可以地进行多项选择，语法为：**
  - switch括号中的控制表达式与每个case标记比较，若与某个标记匹配，就执行相应的语句
  - 若连续的case之间没有语句，则它们执行同样的语句
  - 与所有case都不匹配时，执行default对应的语句（有时省掉，作为好习惯，建议保留）
  - switch的**表达式结果必须是整型值**
  - case标记值只能是**整型常量**或返回常量的表达式（不能是变量）
  - **break语句：**使程序跳出switch, case中有多个语句时，不必放在{ }中，因为会按顺序依次执行

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

switch语句执行逻辑：使用break语句跳出





switch语句实例：成绩分段输出

【例4-8】输入一个成绩（百分制整数），转换为等级制（A~F）

```
#include <stdio.h>
int main()
{
    int score;
    printf("Input score(0~100): ");
    scanf("%d", &score);

    if(!(score >= 0 && score <= 100))
    {
        printf("invalid input! quit!");
        return 1;
    }
// <未完，转右边>
```

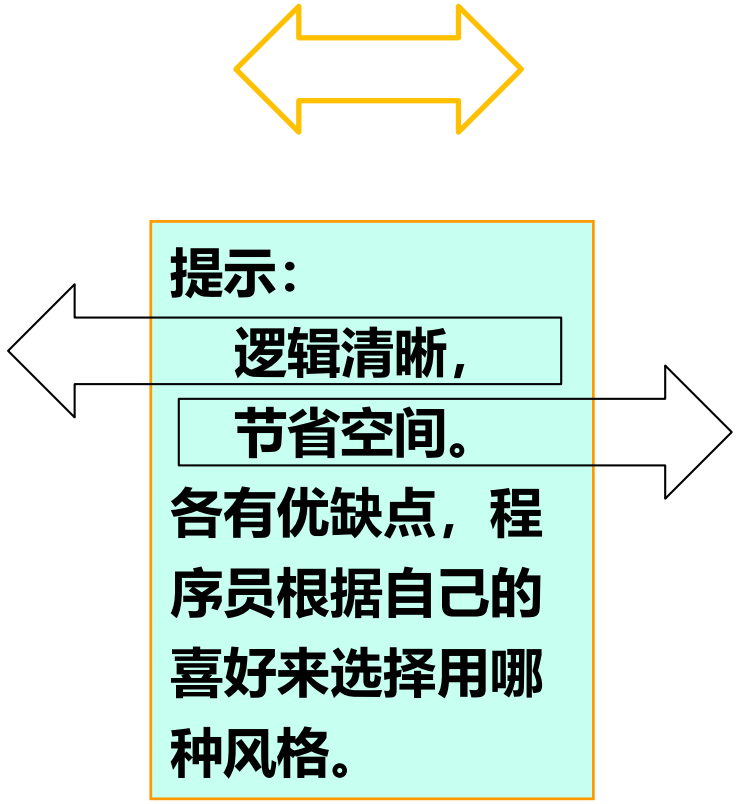
```
    switch ( score/10 )
    {
    case 10:   // e.g. 100/10 is 10
    case 9:    // e.g. 96/10 is 9
        printf("A\n");
        break;
    case 8:
        printf("B\n");
        break;
    case 7:
        printf("C\n");
        break;
    case 6:
        printf("D\n");
        break;
    default:
        printf("F\n");
        break;
    } // end switch

    return 0;
}
```

- 若连续的case之间没有语句，则它们执行同样的语句。
- 与所有case都不匹配时，执行default对应的语句。
- break语句使程序跳出switch。
- case中有多个语句时，不必放在{ }中。
- switch只用于测试整型值。

switch语句实例：成绩转换

【例4-10】输入一个成绩（百分制整数），90分以上为A，70~89为B，60~69为C，60以下为F。

```
…
    switch ( score/10 )
    {
    case 10:
    case 9:
        printf("A\n");
        break;
    case 8:
    case 7:
        printf("B\n");
        break;
    case 6:
        printf("C\n");
        break;
    default:
        printf("F\n");
        break;
    }
…
```



提示：

逻辑清晰，节省空间。

各有优缺点，程序员根据自己的喜好来选择用哪种风格。

```
…
    switch ( score/10 )
    {
    case 10:    case 9:
        printf("A\n");
        break;
    case 8:    case 7:
        printf("B\n");
        break;
    case 6:
        printf("C\n");
        break;
    default:
        printf("F\n");
        break;
    }
…
```

switch语句实例：四则运算

【例4-9】四则运算

设计一个简单的计算器！

```
char op;
double x, y, r, eps = 10e-9;
scanf("%c%lf%lf", &op, &x, &y);
switch(op)
{
    case '+':
        r = x + y;
        break;
    case '-':
        r = x - y;
        break;
    case '*':
        r = x * y;
        break;
    case '/':
        if (fabs(y) > eps)
        {
            r = x / y;
            break;
        }
    default:
        printf("invalid expression: %f %c %f\n", x, op, y);
        return 1;
}
printf("%6.2f %c %6.2f = %12.4f\n", x, op, y, r);
```

4.3 循环语句

计算机的快速重复计算能力：天下武功，唯快不破

- 问题1：求pi （计算公式为：$4*(1-1/3+1/5-1/7 ...+ (-1)^n/(2*n+1) +...)$ ）

  “永不疲倦”地计加下去！

- 问题2：依次输入10^8个同学的成绩，求平均分、最高分、最低分、……
- 问题3：程序输入有错时给出提示，并要求再次输入，直到输入正确后开始执行相应操作
- 二分法求解方程
- 矩阵（图像）处理
- 字符串处理（在某篇文章中查找某个词）
- ……

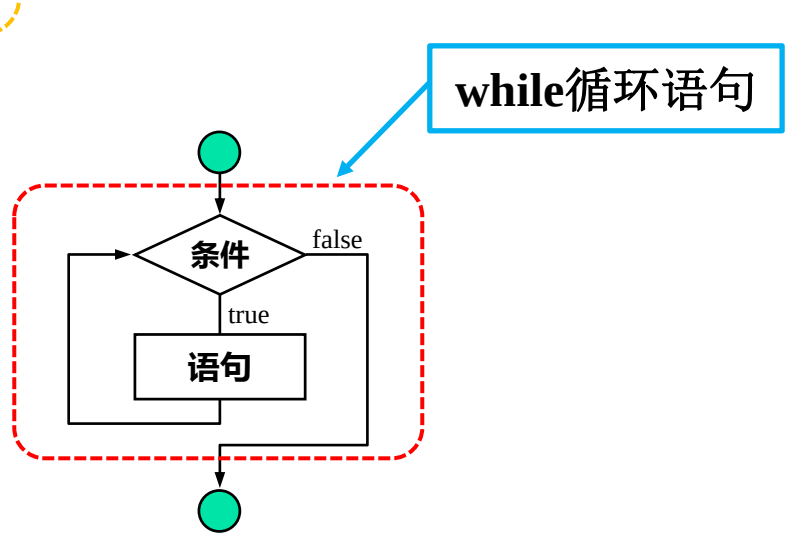
while循环

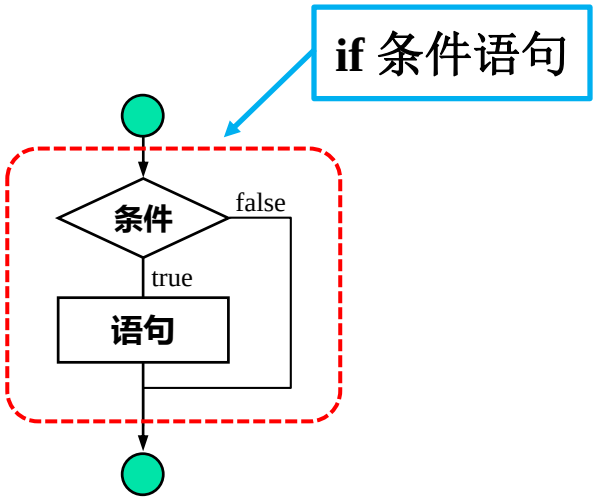
- 循环(loop)语句，也称为重复结构(repetition structure)：使程序在一定条件下重复操作。也是一种条件语句：当条件满足时重复执行循环体中的语句（与选择语句的区别？）
- 语法格式（循环体只有一条语句时可以不用大括号）：

```
while( <循环条件> )
{
    <循环语句块>
}
```

循环头

循环体

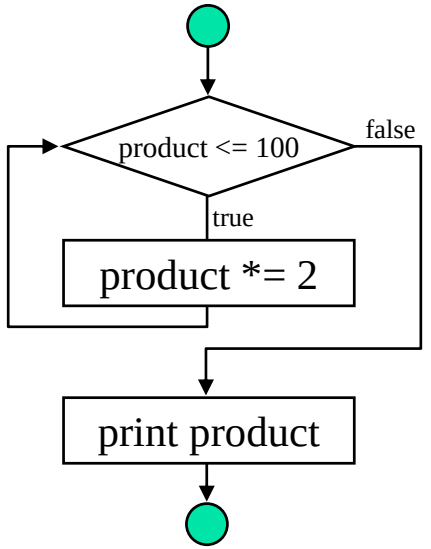




while语句

【例4-10】设程序要打印第一个大于100的2的指数值，假设初始变量为 2。（$2^7 = 128$）

- 流程图
- C代码片段示例




```
int n, product = 2;
scanf("%d", &n);
while (product <= n)
    product = 2 * product;
printf("%d", product);
```

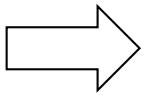
常见编程错误：循环体中，若没有使循环条件变为假的动作，或满足条件的**break**或**goto**语句，将导致无限循环（死循环），如

```
while(3)
{
    ……
}
```

while语句

while语句的特殊形式

```
while(expression) ;
```



```
while(expression)
{
    ; // do nothing
}
```

例：清空输入缓冲区直到新的一行开始

```
while((c = getchar()) != '\n');
```

while应用：最大公约数（枚举法）

- **【例4-11】输入两个正整数，求他们的最大公约数**
  - 通过计算机的循环结构，尝试每个可能的整数，直到求解出最大公约数
  - 可以从**最小可能**（本例为1）开始从小到大尝试，直到其最大可能

```
int a, b, GCD, i;
i = 1;
scanf("%d%d", &a, &b);
while(i <= a && i <= b)
{
    if (a%i == 0 && b%i == 0)
        GCD = i;
    i++;
}
printf("GCD is: %d\n", GCD);
```

思考：

1. **循环结束条件的含义？**
2. **如果从最大可能开始枚举（即：从a、b这两个数中相对较小的数开始判断是否最大公约数），该循环如何控制？**

while应用：求平均分（通用版）

- 【例4-12】输入若干个成绩（输入为0 ~ 100的整数，或输入-1作为输入结束标记），计算平均成绩

```
int grade, total = 0, g_counter = 0;
double average;
scanf("%d", &grade);
while (grade != -1)
{
    total += grade;
    g_counter++;
    scanf("%d", &grade);
}
if (0 == g_counter)
    printf("No grade was entered");
else
{
    average = (double) total / g_counter;
    printf("%lf", average);
}
```

要点：本例通过输入来改变循环结束条件，注意scanf使用，既保证循环变量的初值，又确保每次循环后修改循环变量值

while应用：输入连续整数测试示例

- **【例4-13】不间断的输入整数，直到输入格式有误或输入完成时结束程序**
  - 如何检测输入格式有误：输入函数scanf的返回值表示正确输入的变量的个数
    - 当正确读入一个整数时，其返回值应该为1
    - 如果为0则表示输入有误（未读入数据）
    - 如果为-1表示输入结束

```
int  a;
printf("input an integer:  ");
while(scanf("%d", &a) > 0)
{
    printf("valid input: %d\n", a);
    printf("input an integer:  ");
}
printf("\ninvalid input! quit!\n");
return 0;
```

while应用

【例4-14-1】输入行数统计 输入一段文本，统计行数。

输入

c4-14-1.in

D: > a1ac > example >

```
1   123
2   abcd
3   12345
4
```

c4-14-2.in

D: > a1ac > example >

```
1   123
2   abcd
3   12345
```

```
char ch;
int n=0;
while((ch = getchar()) != EOF)
    if('\n' == ch)
        n++;

printf("You input %d lines.\n",
n);
```

输出?

.. 3 lines.

.. 2 lines.

while应用

【例4-14-2】输入行数统计 输入一段文本，统计行数。

输入

c4-14-1.in

D: > a1ac > example >

```
1  123
2  abcd
3  12345
4
```

c4-14-2.in

D: > a1ac > example >

```
1  123
2  abcd
3  12345
```

```
int n = 0;
char s[100];
while (gets(s) != NULL)
    n++;

printf("You input %d lines.\n", n);
```

“容错”更强些的实现？对付不规范（行末不加换行）的文本

输出

```
.. 3 lines.
```

思考：统计文本中的单词数的程序如何写？

for循环

for结构与while结构类似。也是一种广泛使用的循环结构

```
for( <表达式1>; <表达式2>; <表达式3> )
{
    <循环语句块>
}
```

循环头

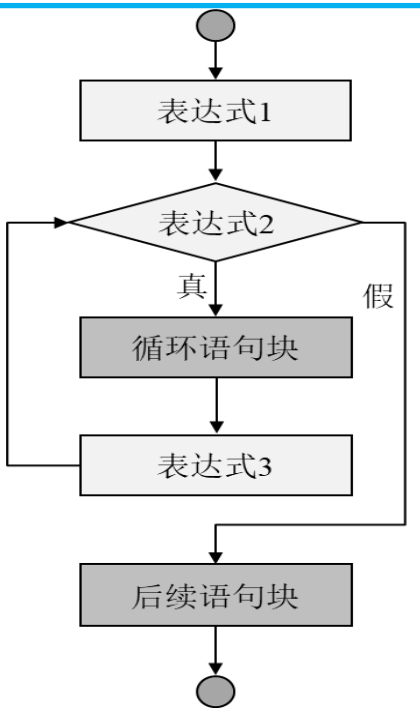
表达式1, 2, 3均可以为空（省略），但分号不能省略

循环体（循环体只有一条语句时可以不用大括号）

```
for( 表达式1 ; 表达式2; 表达式3)
{
   循环语句块
}
```

for结构与等价的while结构

```
表达式1
while (表达式2)
{
   循环语句块
   表达式3
}
后续语句块
```



for应用：阶乘求余

- 【例4-15】输入正整数n（n < 100），求n的阶乘r，如果r大于1000003，则用r对1000003求余数。

```
int i, n, r, P;
P = 1000003;
scanf("%d", &n);

for (r = i = 1; i <= n; i++)
{
    r *= i;
    if (r > P)
        r %= P;
}
```

while循环

```
int i, n, r, P;
P = 1000003;
scanf("%d", &n);

r = i = 1;
while (i <= n)
{
    r *= i;
    if (r > P)
        r %= P;
    i++;
}
```

for应用：自然数的倒数和

- 【例4-16】输入正整数n（n < 10^8），求 $\sum_{i=1}^{n} 1/i$。

```
int i, n;
double ans;
scanf("%d", &n);
for(ans = 0.0, i = 1; i <= n; i++)
{
    ans += 1.0/i;
}
```

逗号运算符：，

- **逗号运算符：将多个表达式连接在一起，作为一个表达式**
  - 常见的应用场景：for循环头中，分号之间只能写一个表达式，如果存在多个独立操作，需要讲这多个表达式合并成一个表达式
  - 将两个初始化操作合并为一个表达式

```
for(ans = 0.0, i = 1; i <= n; i++)
```

- **逗号运算法构成一个单独的逗号表达式**
  - 在语法上看成是一个整体，但逻辑上是多个表达式。
  - 也称为顺序表达式，子表达式按照从左至右的顺序求值，逗号表达式的值等于最右边子表达式的值，如：
    - r = (a = x, b = y, c = z); 等价于
    - a = x;
    - b = y;
    - c = z;
    - r = c;

逗号表达式的使用建议：

- 合理使用
- 尽量少用
- 避免滥用

for应用：最大公约数（辗转相除）

【例4-17】最大公约数(greatest common divisor)： 输入两个非负整数a和b，用辗转相除法求它们的最大公约数。

辗转相除算法gcd(a, b)

定理：gcd(a, b) = gcd(b, a%b)

算法：

1. if b is 0, gcd(a, b) is a, stop.
2. if a%b is 0, gcd(a, b) is b, stop.
3. let r ← a%b, a ← b, b ← r, go to step 2.

证明（略）

(1) 先证明gcd(a, b)是b和a%b的公约数

设 g = gcd(a, b), g1 = gcd(b, a%b)

则 a = g*x, b = g*y,

令 a/b = m,

则 a%b = a-m*b

= g*x-m*g*y = g*(x-m*y),

即 a%b 能被 g 整数（商为x-m*y),

即 g 也是 b 和 a%b 的公约数,

即 g1 能被 g 整除。

(2) 再证明 g 能被 g1 整除，同理。

for应用：最大公约数

【例4-17】最大公约数(greatest common divisor)： 输入两个非负整数a和b，用辗转相除法求它们的最大公约数。

辗转相除算法gcd(a, b)：

1. if b is 0, gcd(a, b) is a, stop.
2. if a%b is 0, gcd(a, b) is b, stop.
3. let r ← a%b, a ← b, b ← r, go to step 2.

【 gcd(a, b) = gcd(b, a%b) 】

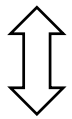
```
int a, b, GCD;
scanf("%d%d", &a, &b); // b不为0
for (GCD = a % b; GCD != 0; GCD = a % b)
{
    a = b;
    b = GCD;
}
printf("GCD is: %d\n", b);
```

for应用：最大公约数

【 gcd(a, b) = gcd(b, a%b) 】

【例4-17】最大公约数(greatest common divisor)： 输入两个非负整数a和b，用辗转相除法求它们的最大公约数。

```
for (GCD = a % b; GCD != 0; GCD = a % b)
{
    a = b;
    b = GCD;
}
```



```
while ((GCD = a % b) != 0)
{
    a = b;
    b = GCD;
}
```

可看出，此时用while语句使得结构更清晰些

for应用：最小公倍数

【例4-18】输入两个正整数a和b，计算它们的最小公倍数LCM（设a、b、LCM都不超过int范围）。

```
int a, b, GCD, LCM;
scanf("%d%d", &a, &b);
LCM = a * b;
while ((GCD = a % b) != 0)
{
    a = b;
    b = GCD;
}
LCM = LCM / b;
printf("LCM is: %d\n", LCM);
```

思考：如何不利用最小公倍数，直接进行步长1的顺序遍历（从max(a,b)开始递增），这样的方法求解LCM的效率如何?

for应用：养老保险金

【例4-19】假如每月交固定额度的养老保险金base，连续交n年，n年后总共有多少保险金（假设每月利息为0.6%，且这样的利率一直保存不变）。

分析：

设sum表示养老保险金总和（本金+利息，sum初始值为0），base为每月初新存入金额，rate为每月利率，则：

- 第一月底的保险金为sum = (sum+base)*(1+rate);
- 第二月底的保险金为sum = (sum+base)*(1+ rate)；
- 依次类推，可以通过循环方式计算n年后（12*n月）的养老保险金。

由于循环执行次数是确定的，适合采用for中的计数控制结构。

```
int base, n, i;
double rate = 0.005, sum = 0;
scanf("%d%d", &base, &n);
for (i = 1; i <= 12 * n; i++)
{
    sum = (sum + base) * (1 + rate);
}
printf("\n%15.2f $\n", sum);
```

for应用：复利计算

【例4-20】120年前，Bob因为躲避战争，逃难到瑞士，在瑞士银行存了10000美元（假设那时候的利率较高，年利率0.075），后来Bob忘记了这笔钱，现在银行找到Bob的法定继承人Alice，问：Alice可获得多少钱?

分析：与上一个例子相同，同样是利率计算问题，不过此处本金是一次性的，每年计算利息，然后加到本金上，本金加利息就是下一年的本金。这是一个典型的利上生利问题。设base表示本金，r表示年利率，则第n年的资产总额：

$$s_n = s_{n-1} + s_{n-1}*r$$
$$= s_{n-1}*(1+r)$$
$$= s_1*(1+r)^n$$
$$= base*(1+r)^n$$

```
int base = 10000, n, i;
double rate = 0.075, sum = base;
for (i = 1; i <= 120; i++)
{
    sum = sum * (1 + rate);
}
printf("\n%12.2f $\n", sum);
```

for应用实例

$$16 * \frac{1}{k*5^k} - 4 * \frac{1}{k*239^k} > \text{eps}$$

【例4-21】pi的计算（至少精确到小数点后 x 位，x 是某一个给定的正整数，比如 x = 11）

$$\pi = 16 * arctan\frac{1}{5} - 4 * arctan\frac{1}{239}$$

$$\text{pi} = 16 * (\frac{1}{5} - \frac{1}{3*5^3} + \frac{1}{5*5^5} - \frac{1}{7*5^7} + \cdots) - 4 * (\frac{1}{239} - \frac{1}{3*239^3} + \frac{1}{5*239^5} - \frac{1}{7*239^7} + \cdots)$$

马青公式由英国天文学教授约翰·马青(John Machin，1686 –1751)于1706年发现，他利用这个公式计算到了100位的圆周率。

分析：

pi = 16*A - 4*B，A的通项 $\frac{(-1)^i}{(2i+1)*5^{(2i+1)}}$，B的通项 $\frac{(-1)^i}{(2i+1)*239^{(2i+1)}}$

与 4*(1-1/3+1/5-1/7 ...+ (-1)^n/(2*n+1) +...) 相比，哪个收敛速度快?

课后练习：如何进一步优化，把内层嵌套的for循环去掉。

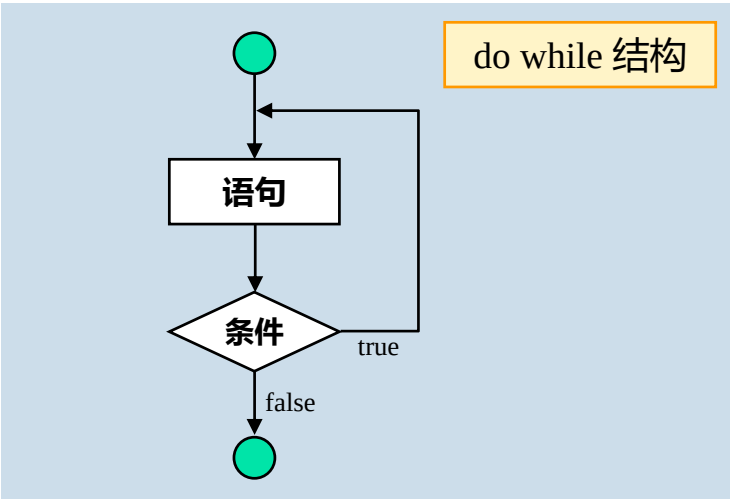
思考题：两个for的逻辑结构（通项计算）相同，如何让代码更优美?

```
int i, j, k, sign = -1;
double n, m, d, s1 = 0, s2 =0, eps, e;
scanf("%lf", &m);
e = pow(10, -m);
eps = e/16.0;
for(i = 0, d = 1; d > eps; i++)
{
    sign = -sign;
    k = 2*i + 1;
    for(j = 0, n = 1.0; j < k; j++)
        n *= 5;
    d = 1.0 / (k*n);
    s1 += d*sign;
}
sign = -1;
eps = e/4.0;
for(i = 0, d = 1; d > eps; i++)
{
    sign = -sign;
    k = 2*i + 1;
    for(j = 0, n = 1.0; j < k; j++)
        n *= 239;
    d = 1.0 / (k*n);
    s2 += d*sign;
}
printf("\nPI is: %.20f\n", 16*s1 - 4*s2);
```

do while语句

do...while结构与while结构相似。
do…while结构执行循环体之后再测试循环条件，至少执行循环体一次

```
do
{
    < 循环语句块 >
} while ( <表达式> );
```



【例】辗转相除求 a 和 b 的最大公约数

```
do
{
    r = a%b;
    a = b,   b = r;
} while(r != 0);
prn(a);
```

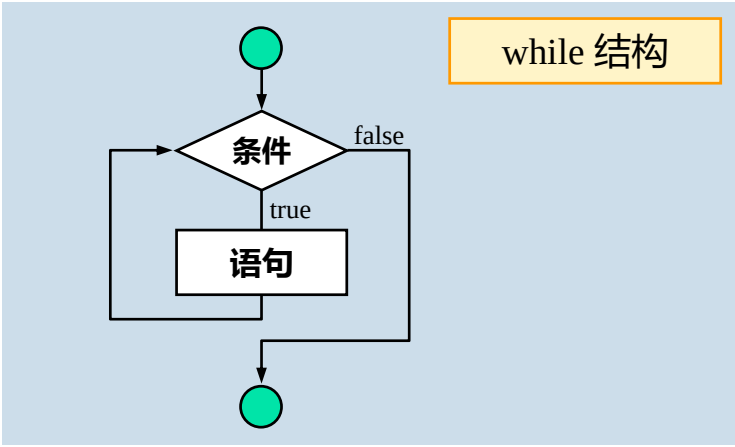
⟺

```
while((r = a%b) != 0)
{
    a = b,  b = r;
}
prn(b);
```

⇕

```
for(; (r = a%b) != 0; )
{
    a = b,  b = r;
}
prn(b);
```

do while 用的时候并不多，其完全能被while取代。但有时候也有其方便之处。



选择合适的循环结构

- while, for, do while三种循环本质上相同。什么时候用哪种方式?

除了跟编程人员的喜好有关，也有一些常规的套路。

- 计数器控制循环常用for。标志控制循环常用while。do while 用得比较少。

【例】n个自然数累加

```
for(i = 0, r = 0; i <= n; i++)
    r += i;
```

【例】求2~100间的所有偶数平方和

```
for(i = 2 , s = 0; i <= 100; i += 2)
    s += i * i;
```

用for进行计数控制循环更清晰。

【例】求gcd

```
for(; (r = a%b) != 0; )
{
    a = b;
    b = r;
}
```

⇔

```
while((r = a%b) != 0)
{
    a = b;
    b = r;
}
```

用while进行标志控制循环更自然。

循环结构的嵌套

循环嵌套：一个循环语句的循环体中包含一个或多个循环语句。（选择语句与循环语句也能相互嵌套）（前面已有较多实例）

【例4-22】大V图案：输入正整数n（n<30），打印出一个占n个字符高度的“V”形图案。如：

输入n等于1时，输出为：

```
\/
```

输入n等于3时，输出为：

```
\   /
 \ /
  \/
```

```
int n, i, j;
scanf("%d", &n);
for (i = n; i >= 1; i--) // 共n行，从下往上，分别是第 1 到第 n 行
{
    for (j = 1; j <= n - i; j++) // 第i行，输出 n-i 个空格
        printf(" ");
    printf("\\");                          // 第i行，输出反斜杠
    for (j = 1; j <= 2 * i - 2; j++) // 第i行，输出 2i-2 个空格
        printf(" ");
    printf("/"); // 第i行，输出斜杠
    printf("\n");
}
```

循环结构的嵌套：整数分解

【例4-23】整数分解 连续的多个正整数相加得到s，如2+3+4得到9。现在逆向考虑，把9分解为多个正整数相加，发现分解方式有多种，如9可以表示为4+5，或2+3+4。输入s (s <= 10000)，找出和为s的所有正整数之和序列。例如：

输入15，输出为：

15 = 1+2+3+4+5

15 = 4+5+6

15 = 7+8

cases: 3

输入16，输出为：

cases: 0

分析：

s1: for i = 1 … s/2 (// 1 2 3.. s/2)

s2: for j = i …

sum = $\sum_i j$ (when sum<s)

s3: if sum == s

print s = $\sum_i j$

go to s1, and loop i+1… s/2

```
int  s, i, j, k, spos, sum, num = 0;
scanf("%d", &s);
for(i=1; i<=s/2; i++)
{
    sum = i;
    for(j=i+1; sum<s; j++)
    {
        sum += j;
        if(sum == s)
        {
            spos = i;
            printf("%d = %d", s, spos++);
            for(k=spos; k<=j; k++)
                printf(" + %d", k);
            putchar('\n');
            num++;
        }
    }
}
printf("cases: %d\n", num);
```

特殊的循环语句

死循环？如何结束？如：

```
while(1)
{
    ……
}
```

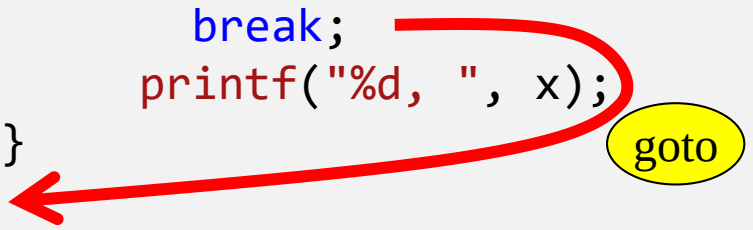
```
for( ; ; )
{
    ……
}
```

循环语句的“非常规”控制： break和continue

break 和 continue 语句能快速改变程序的执行流程。

break 语句在 while, for, do/while 或 switch 结构中执行时，使程序立即退出这些结构，从而执行该结构后面的第一条语句，常用于提前从循环退出或跳过switch结构的其余部分。

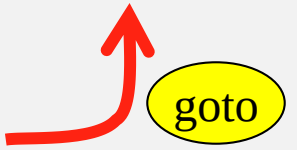
```
for (x = 1; x <= 10; x++)
{
      if (x == 5)
        break;
      printf("%d, ", x);
}
..... // other codes
```



输出？ 1, 2, 3, 4,

cotinue 语句在 while, for 或do/while结构中执行时跳过该结构体的其余语句，进入下一轮循环。

```
for ( x = 1; x <= 10; x++)
{
      if (x == 5)
        continue;
      printf("%d, ", x);
}

..... // other codes
```



输出？ 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10

break和continue

while结构在大多数情况下可以取代for结构，但如果while结构中的递增表达式在continue语句之后，则会出现例外。

```
int x = 1;
while ( x <= 10 )
{
    printf("%d ", x);
    x++;
}
```

⟺

```
for ( int x = 1; x <= 10; x++ )
{
    printf("%d ", x);
}
```

输出：1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

```
while ( x <= 10 )
{   if( x == 5 )
        continue;
    printf("%d ", x);
    x++;
}
printf("OK");
```

输出？：

⟺ ?

```
for (x = 1; x <= 10; x++ )
{   if( x == 5 )
        continue;
    printf("%d ", x);
}

printf("OK");
```

输出？

循环的“非常规”控制实例

【例】自然数累加 自然数1~n进行累加

```
int  i = 1, r = 0;
scanf("%d", &n);
while(i <= n)
{
    r += i;
    i++;
}
```

```
int  i = 1, r = 0;
scanf("%d", &n);
while(1)
{
    if(i > n)
        break;
    r += i;
    i++;
}
```

```
int  i, r
scanf("%d", &n);
for(i=1, r = 0;  ; i++)
{
    if(i > n)
        break;
    r += i;
}
```

break应用：整数分解（最长序列版）

【例4-24】连续正整数 ...输出最长的序列...（详细题意参见【例4-23】）

分析：

在【例4-23】的基础上改写。

第一个满足条件的序列就是最长的序列。

为什么?

break只跳出其所在的那一层的循环（或switch），有多层循环，不同层次在不同条件都涉及退出循环时，需要用多个break语句。

思考：如果不用break，程序该如何修改?

```
scanf("%d", &s);
for (i = 1; i <= s / 2; i++)
{
    sum = i;
    for ( j = i + 1 ; sum < s ; j++)
    {
        sum += j;
        if (sum == s)
        {
            st = i;//st means start
          printf("\n%d = %d", s, st++);
          for (k = st;k <= j;k++)
             printf(" + %d", k);
          putchar('\n');
        }

     }
     if (sum == s)
         break;
}

if (sum != s)
    printf("NONE\n");
return 0;
```

跳出哪个循环?

【例4-23】连续正整数 ...输出最长的序列... （详细题意参见【例4-21】）

用break

```
scanf("%d", &s);
for(i=1; i<=s/2; i++)
{
    sum = i;
    for(j=i+1; sum<s; j++)
    {
        sum += j;
        if(sum == s)
        {
            st = i; // st means start
            printf("\n%d = %d", s, st++);
            for(k=st; k<=j; k++)
                printf(" + %d", k);
            putchar('\n');
        }
    }
    if(sum == s)
        break;
}

if(sum != s)
    printf("NONE\n");
```

不用break，就需要设置循环标记（或其他办法）

```
int s, i, j, k, st, sum = 0, flag = 0;
scanf("%d", &s);
for (i = 1;i <= s / 2 && 0 == flag ; i++)
{
    sum = i;
    for ( j = i + 1; sum < s ; j++)
    {
        sum += j;
        if (sum == s)
        {
            st = i;//st means start
            printf("\n%d = %d", s, st++);
            for (k = st;k <= j; k++)
                printf("+%d", k);
            putchar('\n');
        }

     }
     if (sum == s)
         flag = 1 ; // found
}

if (sum != s)
    printf("NONE\n");
return 0;
```

```
int s, i, j, k, st, sum = 0;
scanf("%d", &s);
for (i = 1;i <= s / 2 && sum != s ; i++)
{
    sum = i;
    for (j = i+1; sum < s; j++)
    {
        sum += j;
        if (sum == s)
        {
            st = i;//st means start
            printf("\n%d = %d", s, st++);
            for (k = st;k <= j;k++)
                printf("+%d", k);
            putchar('\n');
         }

     }
}

if (sum != s)
    printf("NONE\n");
return 0;
```

break小结

- 不用break，也能跳出循环和switch等控制结构，实现复杂的程序执行流程，但需要设置特殊的循环控制标记（flag），或循环逻辑更为复杂。

- 使用break，有时会使得程序很简洁、增强程序的可读性。

continue应用：朴素的AI

【例4-25】某场球赛的联赛即将开始，北方区有4个队N1~N4，南方区有4个队S1~S4，第一轮比赛时北方区某个队和南方区某个队进行比赛，实行淘汰赛，获胜的4个队伍再进行比赛。

在第一轮比赛安排中，已知：N1不能与S1和S2比赛，N2不能与S1和S2比赛，N3不能S1比赛，N4不能与S3和S4比赛。请问，第一轮比赛有几种比赛对阵安排？请依序输出每一种对阵情况。

问题分析：人的推理过程非常简单，根据已知条件，可列出不能对阵的比赛情况，如图所示。容易推出：

- S1只能与N4对阵；然后S2就只能与N3对阵；S3可以与N1或N2对阵，相应地，S4就可以与N2或N1对阵。人具有智能，这种推理反映了人的逻辑推理能力
- 计算机如何推理呢？计算机的强大在于计算速度快，通过**遍历所有情况**，不符合的情况跳过，符合的情况就输出结果，这可以看成是计算机的推理过程，或计算机的人工智能(Artificial Intelligence, AI)

S\N	1	2	3	4
1	×	×	×	
2	×	×		
3				×
4				×

continue应用：朴素的AI

```
int N[5]= {0}, S[5]= {0}, count=0;
for(N[1]=1; N[1]<=4; N[1]++)
for(N[2]=1; N[2]<=4; N[2]++)
for(N[3]=1; N[3]<=4; N[3]++)
for(N[4]=1; N[4]<=4; N[4]++)
{
    if( (N[1]==N[2]) + (N[1]==N[3]) +
       (N[1]==N[4]) + (N[2]==N[3]) + (N[2]==N[4]) + (N[3]==N[4]) >= 1 )
        continue;   //  一个区的某队不能与另一区的两个队同时比赛
    if (N[1] >= 3 && N[2] >= 3 && N[3] != 1 && N[4] <= 2) //  对阵规则
    {
        printf("%d: ", ++count);
        printf("N[1] vs S[%d], N[2] vs S[%d], N[3] vs S[%d], N[4] vs S[%d]\n",
               N[1],N[2],N[3],N[4]);
    }
}
```

```
1: N[1] vs S[3], N[2] vs S[4], N[3] vs S[2], N[4] vs S[1]
2: N[1] vs S[4], N[2] vs S[3], N[3] vs S[2], N[4] vs S[1]
```

continue小结

- 不用continue，也能跳过循环后面的语句继续执行，但可能需要设计比较复杂的逻辑表达式来决定是否执行相应语句。
- 使用continue，有时会使得程序很简洁、增强程序的可读性。

控制结构的综合应用：星期几

【例4-26*】查询某天是星期几 输入某一天，查询该天是星期几。输入格式为yyyymmdd（如2022年3月22日应输入为20220322）。

本代码虽然长，但逻辑简单，很综合，用了while, break, continue, switch, if 等三类控制结构的所有知识。

```c
#include <stdio.h>
int main()
{
    // c: century-1, y: year, m:month, w:week, d:day
    int c, y, m, w, d, longday = 1, flag = 1;
    printf("Note: the format of the day is like 20210101\n");
    printf("The input is between 19000101 and 99991231\n\n");
    while (1)
    {
        flag = 1;
        printf("\nInput date (or -1 or any character to quit): ");
        flag = scanf("%d", &longday);
        if (-1 == longday || 0 == flag)
            break;
        if (!(longday >= 19000101 && longday <= 99991231))
        {
            printf("Wrong input format, try again!\n");
            continue;
        }

        y = longday / 10000;
        m = (longday % 10000) / 100;
        d = longday % 100;
        if (m < 3)
        {
            y = y - 1;
            m = m + 12;
        }
        c = y / 100;
        y = y % 100;
        // Zeller formula
        w = (y + y / 4 + c / 4 - 2 * c +
             (26 * (m + 1)) / 10 + d - 1) % 7;

        if (w < 0)
            w += 7;
        printf("The day is: ");
        switch (w)
        {
        case 0:
            printf("Sun\n");
            break;
        case 1:
            printf("Mon\n");
            break;
        case 2:
            printf("Tue\n");
            break;
        case 3:
            printf("Wed\n");
            break;
        case 4:
            printf("Thu\n");
            break;
        case 5:
            printf("Fri\n");
            break;
        case 6:
            printf("Sat\n");
            break;
        }
    }
    return 0;
}
```

Zeller公式：

计算任意一天是星期几

$$W = \left(\left\lfloor \frac{C}{4} \right\rfloor - 2C + Y + \left\lfloor \frac{Y}{4} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{26(M+1)}{10} \right\rfloor + D - 1\right) \bmod 7$$

Where

W: the day of week. (0 = Sunday, 1 = Monday, ..., 5 = Friday, 6 = Saturday)

C: the zero-based century. ($= \lfloor \text{year}/100 \rfloor = \text{century} - 1$)

Y: the year of the century. ($= \begin{cases} \text{year} \bmod 100, & M = 3, 4, \ldots, 12, \\ (\text{year} - 1) \bmod 100, & M = 13, 14. \end{cases}$)

M: the month. (3 = March, 4 = April, 5 = May, ..., 14 = February)

D: the day of the month.

NOTE: In this formula January and February are counted as **months 13 and 14 of the previous year**. E.g. if it is 2010/02/02, the formula counts the date as 2009/14/02.

```
 scanf("%d", &longday);  // 20220322

 y = longday/10000;
 m = (longday%10000)/100;
 d = longday%100;

// Zeller formula
 if(m<3)
 {
     y--;
     m += 12;
 }
 c = y/100;
 y = y%100;
 w = (c/4 -2*c + y + y/4 + (26*(m+1))/10 + d - 1)%7;

 if(w<0)
     w += 7;

 printf("The day is: ");
 switch(w)
 {
 case 0:
     printf("Sun\n");
     break;
 case 1:
     printf("Mon\n");
     ...
```

博姆-贾可皮尼理论，也称结构化程序理论：

任何复杂的程序都可以用顺序、选择和循环这三种基本结构来表达。

—— C. Bohm and G. Jacopini

程序中本没有循环（while、for等），因为只用 if 就可以实现任何复杂的逻辑！但有人说循环好（否定之前的不用循环实现复杂逻辑），于是循环就流行起来了！

敢于否定，成就伟大的理论！

4.4 再论goto

goto语句和语句标号一起使用，
使程序逻辑跳转到标号位置处。

【例4-17-goto】最大公约数 用辗转相除法求整数 a 和 b 的最大公约数。

辗转相除算法gcd(a, b)的伪代码：

step1: if b is 0, gcd(a, b) is a, stop.

step2: if a%b is 0, gcd(a, b) is b, stop.

step3: let r ← a%b, a ← b, b ← r, go to step 2.

【 gcd(a, b) = gcd(b, a%b) 】

按伪代码的逻辑直接写一个程序。更好理解?

没有用循环，但实现了循环逻辑

```c
#include <stdio.h>
#define prn(x) printf("%d", x)
int main()
{
    int a, b, r;
    scanf("%d%d", &a, &b);
    printf("gcd is: ");

// step1
    if(0 == b)
    {
        prn(a);
        return 0;
    }

step2:
    if(0 == a%b)
    {
        prn(b);
        return 0;
    }

// step3
    r = a%b;
    a = b;
    b = r;
    goto step2;
}
```

语句标号

** goto语句【古老的语句，强烈不建议用，但有时也挺好用？】

【例4-17-goto】最大公约数

用辗转相除法求整数a和b的最大公约数。

辗转相除算法gcd(a, b)的伪代码：

step1: if b is 0, gcd(a, b) is a, goto step4.

step2: if a%b is 0, gcd(a, b) is b , goto step4.

step3: let r←a%b, a←b, b←r, go to step 2.

step4: stop

【 gcd(a, b) = gcd(b, a%b) 】

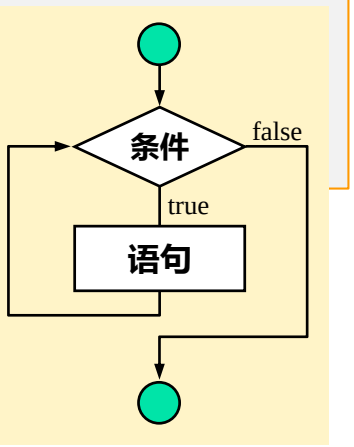
为什么不建议用goto语句？用goto语句编程，有时跟写伪代码一样易写，易读！但就是太灵活了，可能容易失控！

另一个goto版

```
    scanf("%d%d", &a, &b);
    printf("gcd is: ");

// step1
    if(0 == b)
    {
        prn(a);
        goto step4;
    }

step2:
    if(0 == a%b)
    {
        prn(b);
        goto step4;
    }

// step3
    r = a%b;
    a = b;
    b = r;
    goto step2;

step4:
    return 0;
```

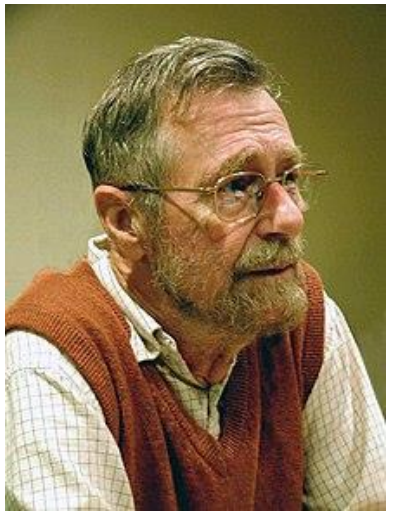
非goto版

```
#include <stdio.h>
#define prn(x) printf("%d", x)
int main()
{
    int a, b, r;
    scanf("%d%d", &a, &b);
    printf("gcd is: ");
    if(0 == b)
    {
        prn(a<0?-a:a);
        return 0;
    }
    while( (r = a%b) != 0 )
    {
        a = b;
        b = r;
    }
    prn(b);
    return 0;
}
```



** goto语句【古老的语句，强烈不建议用】

1968年，E. W. Dijkstra (1930年5月11日~2002年8月6日，1972年获得图灵奖) 首先提出“GOTO语句是有害的”论点，向传统程序设计方法提出了挑战，从而引起了人们对程序设计方法讨论的普遍重视。



Edsger Wybe Dijkstra
1930/5/11-2002/8/6
1972年图灵奖获得者

1 提出“goto有害论”
2 提出信号量和PV原语
3 解决了 “哲学家聚餐”问题
4 最短路径算法和银行家算法
5 Algol 60的设计者和实现者
6 THE操作系统的设计者和开发者

与Knuth并称为我们这个时代最伟大的计算机科学家的人

** goto语句【古老的语句，强烈不建议用】

- goto语句可能使程序逻辑混乱，使程序难以理解和维护。很多语言已经取消了goto语句，但C语言仍然保留（有时候真的很方便）。
- goto语句能使得程序快速跳转，如直接跳出多重循环（不用多个break）。

```
{ …
    { …
        { …
            { …
                goto ERR;
            }
        }
    }
}
ERR:
…
```

```c
int main()
{
    int n=0;
    printf("input a string:\n");

loop:
    if(getchar() != '\n')
    {
        n++;
        goto loop;
    }

    printf("\n# of this line: %d\n", n);

    return 0;
}
```

语句标号

输入输出示例

```
C:\a1ac\example\c4-31_goto.exe
input a string:
0123456789abcde

# of this line: 15
```

** goto语句【古老的语句，强烈不建议用】

- 建议尽量不要用goto语句！ 因为 for, while, do/while 能解决goto 能解决的所有问题，让程序呈现结构化特征!

- 建议不要用goto，因为这容易使程序陷入逻辑混乱、破坏结构化设计风格、带来错误或隐患（如右边的代码片段）。

- 但错误不在goto语句本身，真正的错误是程序员造成的。就像有的人因为金钱铤而走险，并非金钱的错误，是人的贪念造成的。

```
…
goto statement;
int a, b;        // 被goto跳过
int sum;         // 被goto跳过
double x;        // 被goto跳过
…
statement:
…
```

作业：请写几个具体的例子，来说明用 goto 好还是不好?

本章小结

- 结构化编程的基本三种结构
- if，if/else, switch, while, for, do while可以完成所有复杂的逻辑，甚至只需要 if 和 while 就够了，但需要设置更复杂的逻辑表达式（甚至只需要 if 就够了）。
- 用好 switch, break, continue 能更快捷实现复杂逻辑。
- 熟悉逗号表达式，条件表达式。
- 循环语句来源于goto语句，又“抛弃”了goto语句。

补充：结构化编程小结

- 程序设计、软件开发就像建筑设计、工程施工一样，既是工程，更是艺术。
- 建筑的领域已经数千年，仍然具有很大魅力，软件开发领域要比建筑领域年轻，才短短几十年，有非常广泛的发展空间，也会有许多前所未有的挑战。

- 3类控制结构（7种语句结构）的程序设计具有结构化设计思想
- 结构化的程序设计方法便于理解，有利于程序扩展。

顺序结构

选择结构

- if
- if/else
- switch

重复结构

- while
- do/while
- for

补充：结构化编程的三种控制形式

- 结构化编程提倡简单性，Bohm和Jacopini证明，实现结构化编程只需要三种控制形式：
  - 顺序(sequence)
  - 选择(selection)
  - 重复(repetition)
- 选择结构的三种实现方法：
  - if（单项选择）；if/else（双向选择）；switch（多项选择）
- 简单的if结构即可提供任何形式的选择（即任何能用 if/else 结构和 switch 结构完成的工作，也可以组合简单 if 结构来实现）
- 重复结构的三种实现方法：
  - while语句；do/while语句；for语句
- 简单的while语句即可提供任何形式的重复（即任何能用 do/while 和 for语句完成的工作，也可以用 while语句来实现）

顺序结构

选择结构

if
if/else
switch

重复结构

while
do/while
for

补充：三种选择结构的关系

简单的 if 语句即可提供任何形式的选择（即任何能用if/else 语句和 switch语句完成的工作，也可以组合简单的 if语句来实现）

选择结构

if

if/else

switch

```
if (expression)
   statement1
else
   statement2
```

```
if(expression)
   statement1
if(!expression)
   statement2
```

```
switch(expression)
{  case a:
       a_actions
       break;
   case b:
       b_actions
       break;
   case c:
       c_actions
       break;
   …
}
```

```
if(expression == a)
    a_actions
if(expression == b)
    b_actions
if(expression == c)
    c_actions
…
```

补充：三种循环结构的关系

简单的 while语句即可提供任何形式的重复（即任何能用 do/while 和 for语句完成的工作，也可以通过简单的 while语句来实现）。

```
do
{
  statement
} while(condition);
```

```
statement;
while(condition)
{
  statement
}
```

```
for(expression1; expression2; expression3)
{
  statement
}
```

```
expression1;
while(expression2)
{
  statement
  expression3;
}
```

重复结构

while

do/while

for

补充：结构化编程的一些要素

- C程序所需的任何控制形式均可用
  下列形式表示：
  - 顺序
  - 选择
  - 重复（循环）
- 这些控制结构有两种组合方式：嵌套和堆叠
  - 嵌套：任何一种控制结构逻辑上可以作为一条语句，嵌套到其他控制结构中
  - 堆叠：任何一种控制结构逻辑上可以作为一条语句，堆叠到顺序结构中
- 结构化编程的特点是自顶向下、模块化、强调解决问题步骤的逻辑性
- 函数是结构化编程中实现模块化的重要形式（下一章学习）

顺序结构

选择结构

if
if/else
switch

重复结构

while
do/while
for