



第3章 函数

郑莉 清华大学

教材：C++语言程序设计（第5版） 郑莉 清华大学出版社

目录

- 主要内容
 - 函数的定义与使用
 - 内联函数
 - 函数重载
 - 使用C++系统函数
- 学习建议
 - 用调试工具跟踪函数的调用与返回
 - 分析递归函数的执行过程
 - 完成本章习题与实验

函数定义

- 函数定义的语法形式

- 类型标识符 函数名 (形式参数表)
- {
- 语句序列
- }

↑
`<type1> name1, <type2> name2, ..., <typen> namen`
是被初始化的内部变量，寿命和可见性仅限于函数内部

- 表示返回值类型，由 `return` 语句给出返回值
- 若无返回值，写 `void`，不必写 `return` 语句。

函数的调用

- 调用前先声明函数：
 - 若函数定义在调用点之前，可以不另外声明；
 - 若函数定义在调用点之后，必须要在调用函数前声明函数原型：
类型标识符 被调用函数名（含类型说明的形参表）；
- 调用形式
函数名（实参列表）
- 嵌套调用
 - 在一个函数的函数体中，调用另一函数。
- 递归调用
 - 函数直接或间接调用自身。

例3-1 编写一个求x的n次方的函数

```
#include <iostream>
using namespace std;

//计算x的n次方
double power(double x, int n) {
    double val = 1.0;
    while (n-->0) val *= x;
    return val;
}

int main() {
    cout << "5 to the power 2 is "
    << power(5, 2) << endl;
    return 0;
}
```



例3-2 数制转换

题目：

输入一个8位二进制数，将其转换为十进制数输出。

例如： $1101_2 = 1(2^3) + 1(2^2) + 0(2^1) + 1(2^0) = 13_{10}$

所以，如果输入1101，则应输出13

例3-2 (续)

```
#include <iostream>
using namespace std;

double power (double x, int n); //计算x的n次方

int main() {
    int value = 0;
    cout << "Enter an 8 bit binary number ";
    for (int i = 7; i >= 0; i--) {
        char ch;
        cin >> ch;
        if (ch == '1')
            value += static_cast<int>(power(2, i));
    }
    cout << "Decimal value is " << value << endl;
    return 0;
}

double power (double x, int n) {
    double val = 1.0;
    while (n-- > 0)
        val *= x;
    return val;
}
```

运行结果：

Enter an 8 bit binary number 01101001
Decimal value is 105



例3-3 编写程序求 π 的值

π 的计算公式如下：

$$\pi = 16 \arctan\left(\frac{1}{5}\right) - 4 \arctan\left(\frac{1}{239}\right)$$

其中 \arctan 用如下形式的级数计算：

$$\arctan x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \dots$$

直到级数某项绝对值不大于 10^{-15} 为止； π 和 x 均为double型。


```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
double arctan(double x) {
    double sqr = x * x;
    double e = x;
    double r = 0;
    int i = 1;
    while (e / i > 1e-15) {
        double f = e / i;
        r = (i % 4 == 1) ? r + f : r - f;
        e = e * sqr;
        i += 2;
    }
    return r;
}
```

- 累加和arctan x: **r**
- 累加项**f**: 初始x/1
- 每项**分子**: 在前一项基础上 $\times x^2$
- 每项**分母**: 在前一项基础上+2
- 每项**符号**: $i \% 4 == 1$ 时为正, 其他情况为负



```
int main() {  
    double a = 16.0 * arctan(1/5.0);  
    double b = 4.0 * arctan(1/239.0);  
    //注意：因为整数相除结果取整，如果参数写1/5，1/239，结果就都是0  
  
    cout << "PI = " << a - b << endl;  
    return 0;  
}
```

运行结果：
PI=3.14159

例3-4

- 寻找并输出11~999之间的数 m ，它满足 m 、 m^2 和 m^3 均为回文数。
 - 回文：各位数字左右对称的整数。
例如：11满足上述条件
 $11^2=121$ ， $11^3=1331$ 。
- 分析：
 - 用除以10取余的方法，从最低位开始，依次取出该数的各位数字。按反序重新构成新的数，比较与原数是否相等，若相等，则原数为回文。

例3-4 (续)

```
#include <iostream>
using namespace std;
//判断n是否为回文数
bool symm(unsigned n) {
    unsigned i = n;
    unsigned m = 0;
    while (i > 0) {
        m = m * 10 + i % 10;
        i /= 10;
    }
    return m == n;
}
```



```
int main() {  
    for(unsigned m = 11; m < 1000; m++)  
        if (symm(m) && symm(m * m) && symm(m * m * m)) {  
            cout << "m = " << m;  
            cout << "  m * m = " << m * m;  
            cout << "  m * m * m = "  
                << m * m * m << endl;  
        }  
    return 0;  
}
```

运行结果：

$m=11$ $m*m=121$ $m*m*m=1331$

$m=101$ $m*m=10201$ $m*m*m=1030301$

$m=111$ $m*m=12321$ $m*m*m=1367631$

例3-5

- 计算如下公式，并输出结果：

$$k = \begin{cases} \sqrt{\sin^2 r + \sin^2 s} & \text{当 } r^2 \leq s^2 \\ \frac{1}{2} \sin(rs) & \text{当 } r^2 > s^2 \end{cases}$$

- 其中r、s的值由键盘输入。sin x的近似值按如下公式计算，计算精度为 10^{-10} ：

$$\sin x = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \cdots = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{x^{2n-1}}{(2n-1)!}$$

```
#include <iostream>
#include <cmath> //对标准库中数学函数的说明
using namespace std;
```

```
const double TINY_VALUE = 1e-10; ← 计算精度为 $10^{-10}$ 
```

```
double tsin(double x) {
    double g = 0;
    double t = x;
    int n = 1;
    do {
        g += t;
        n++;
        t = -t * x * x / (2 * n - 1) / (2 * n - 2);
    } while (fabs(t) >= TINY_VALUE);
    return g;
}
```

$$\sin x = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + K = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{x^{2n-1}}{(2n-1)!}$$


```
int main() {
    double k, r, s;
    cout << "r = ";
    cin >> r;
    cout << "s = ";
    cin >> s;
    if (r * r <= s * s)
        k=sqrt(tsin(r)*tsin(r)+tsin(s)*tsin(s));
    else
        k = tsin(r * s) / 2;
    cout << k << endl;
    return 0;
}
```

$$k = \begin{cases} \sqrt{\sin^2 r + \sin^2 s} & \text{当 } r^2 \leq s^2 \\ \frac{1}{2} \sin(rs) & \text{当 } r^2 > s^2 \end{cases}$$



运行结果：

r=5
s=8
1.37781

例3-6 投骰子的随机游戏

每个骰子有六面，点数分别为1、2、3、4、5、6。游戏者在程序开始时输入一个无符号整数，作为产生随机数的种子。

每轮投两次骰子，第一轮如果和数为7或11则为胜，游戏结束；和数为2、3或12则为负，游戏结束；和数为其它值则将此值作为自己的点数，继续第二轮、第三轮...直到某轮的和数等于点数则取胜，若在此前出现和数为7则为负。

由rolldice函数负责模拟投骰子、计算和数并输出和数。

例3-6（续）

- rand

函数原型：int rand(void);

所需头文件：<cstdlib>

功能和返回值：求出并返回一个伪随机数

- srand

函数原型：void srand(unsigned int seed);

参数：seed产生随机数的种子。

所需头文件：<cstdlib>

功能：为使rand()产生一序列伪随机整数而设置起始点。使用1作为seed参数，可以重新初始化rand()。

例3-6 (续)

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
using namespace std;

enum GameStatus { WIN, LOSE, PLAYING };
int main() {
    int sum, myPoint;
    GameStatus status;
    unsigned seed;
    int rollDice();
    cout<<"Please enter an unsigned integer: ";
    cin >> seed; //输入随机数种子
    srand(seed); //将种子传递给rand()
```



例3-6 (续)

```
sum = rollDice(); //第一轮投骰子、计算和数
switch (sum) {
    case 7: //如果和数为7或11则为胜,状态为WIN
    case 11:
        status = WIN;
        break;
    case 2: //和数为2、3或12则为负,状态为LOSE
    case 3:
    case 12:
        status = LOSE;
        break;
    default: //其它情况,尚无结果,状态为PLAYING,记下点数
        status = PLAYING;
        myPoint = sum;
        cout << "point is " << myPoint << endl;
        break;
}
```



例3-6 (续)

```
while (status == PLAYING) { //只要状态为PLAYING，继续
    sum = rollDice();
    if (sum == myPoint)    //某轮的和数等于点数则取胜
        status = WIN;
    else if (sum == 7)    //出现和数为7则为负
        status = LOSE;
}
```

```
//当状态不为PLAYING时循环结束，输出游戏结果
if (status == WIN)
    cout << "player wins" << endl;
else
    cout << "player loses" << endl;
return 0;
}
```



例3-6 (续)

//投骰子、计算和数、输出和数

```
int rollDice() {  
    int die1 = 1 + rand() % 6;  
    int die2 = 1 + rand() % 6;  
    int sum = die1 + die2;  
    cout << "player rolled " << die1 << " + " << die2 << " = "  
    << sum << endl;  
    return sum;  
}
```



运行结果：

Please enter an unsigned integer:23

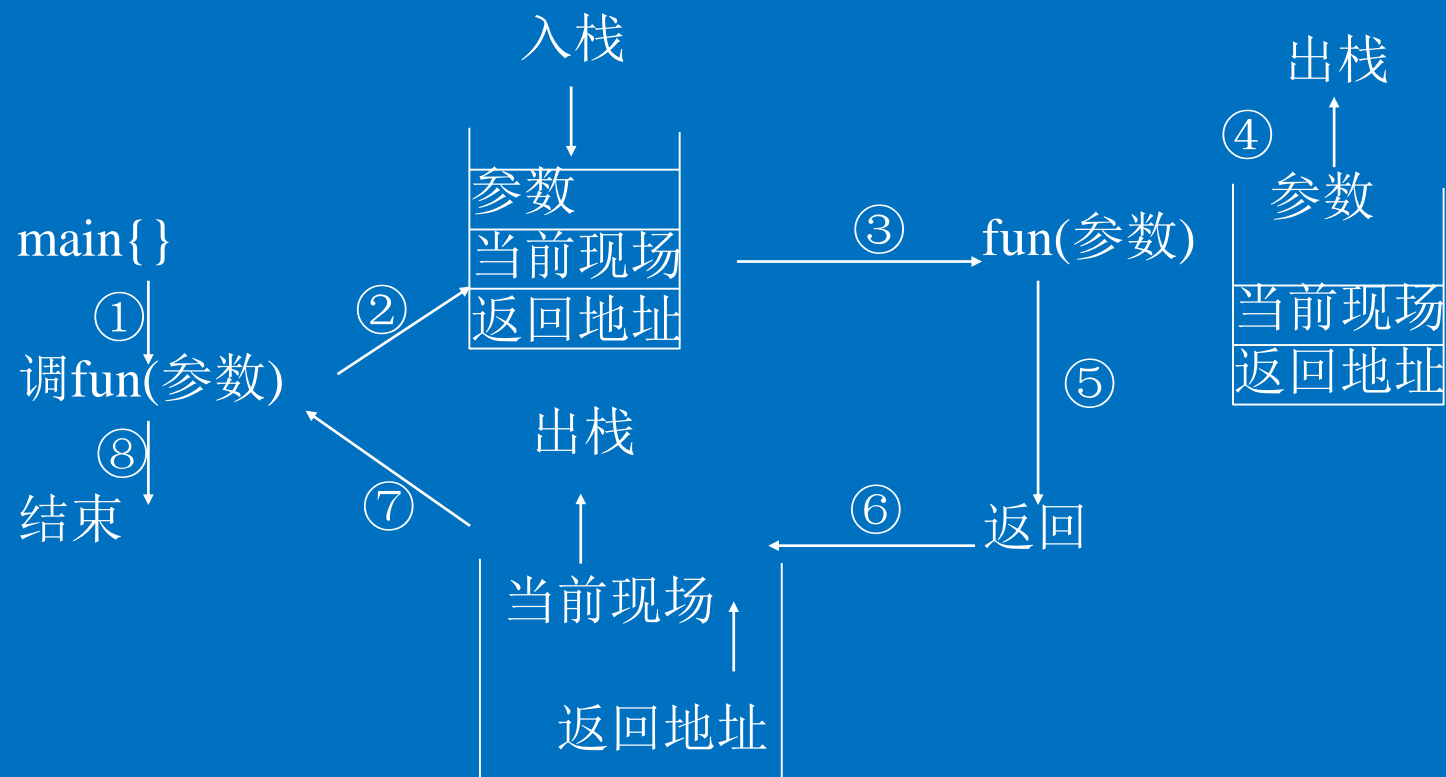
player rolled $6 + 3 = 9$

point is 9

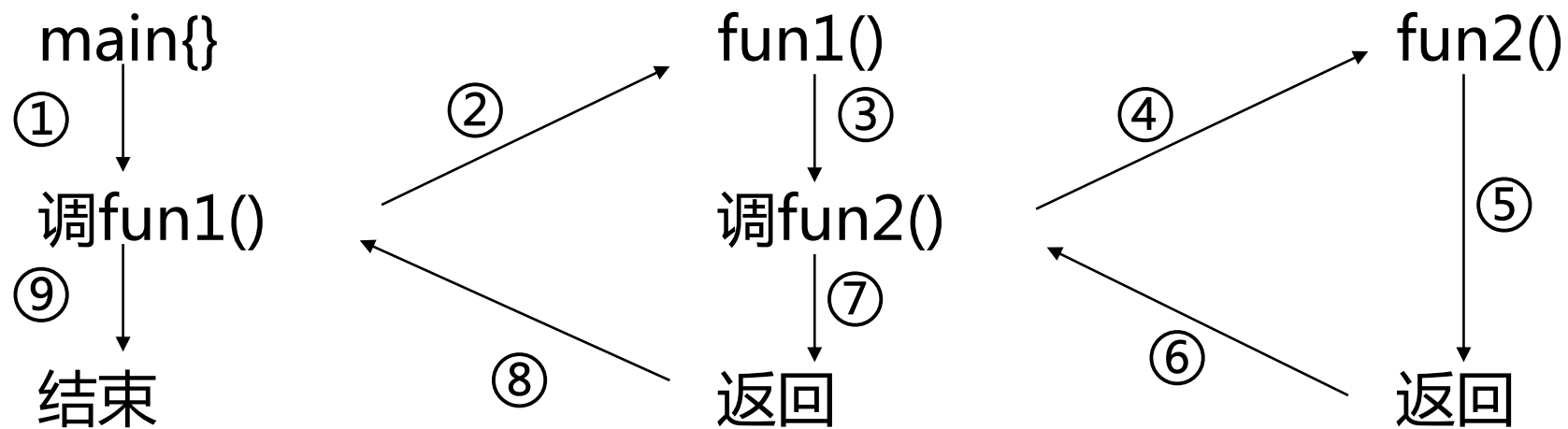
player rolled $5 + 4 = 9$

player wins

函数调用栈



嵌套调用



例3-7 输入两个整数，求平方和

```
#include <iostream>
using namespace std;
int fun2(int m) {
    return m * m;
}
int fun1(int x,int y) {
    return fun2(x) + fun2(y);
}
int main() {
    int a, b;
    cout<<"Please enter two integers (a and b): ";
    cin >> a >> b;
    cout << "The sum of square of a and b: "
    << fun1(a, b) << endl;
    return 0;
}
```

运行结果：

```
Please enter two integers(a and b): 3 4
The sum of square of a and b: 25
```



例3-8 求 $n!$

分析：计算 $n!$ 的公式如下：

$$n! = \begin{cases} 1 & (n = 0) \\ n(n-1)! & (n > 0) \end{cases}$$

这是一个递归形式的公式，应该用递归函数实现。

递归调用过程

- 函数直接或间接地调用自身，称为递归调用。
- 例如：计算 $n!$ 递归算法执行的两个阶段：

—递推：

$$4! = 4 \times 3! \rightarrow 3! = 3 \times 2! \rightarrow 2! = 2 \times 1! \rightarrow 1! = 1 \times 0! \rightarrow 0! = 1$$

未知 \longrightarrow 已知

—回归：

$$4! = 4 \times 3! = 24 \leftarrow 3! = 3 \times 2! = 6 \leftarrow 2! = 2 \times 1! = 2 \leftarrow 1! = 1 \times 0! = 1 \leftarrow 0! = 1$$

未知 \longleftarrow 已知

例3-8 (续)

```
#include <iostream>
using namespace std;
unsigned fac(int n){
    unsigned f;
    if (n == 0)
        f = 1;
    else
        f = fac(n - 1) * n;
    return f;
}
int main() {
    unsigned n;
    cout << "Enter a positive integer:";
    cin >> n;
    unsigned y = fac(n);
    cout << n << "! = " << y << endl;
    return 0;
}
```

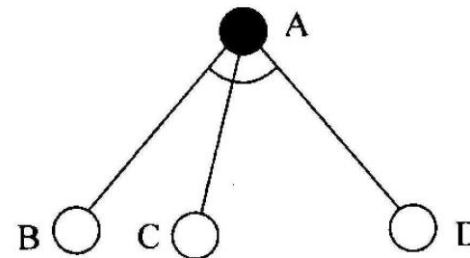
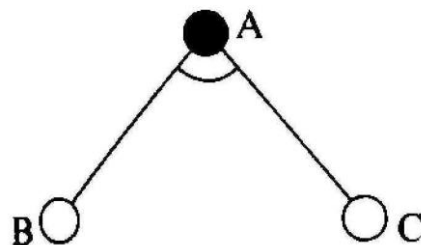
运行结果：

Enter a positive integer:8
8! = 40320

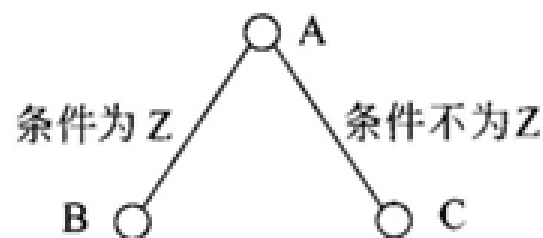


递归问题的描述与跟踪

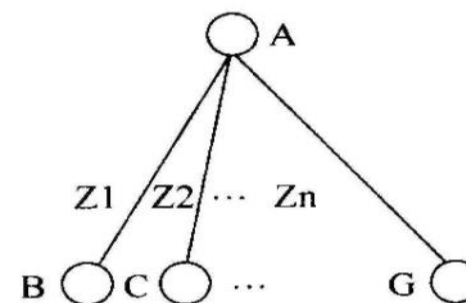
- 定义两个结点：
 - 与结点



- 或结点



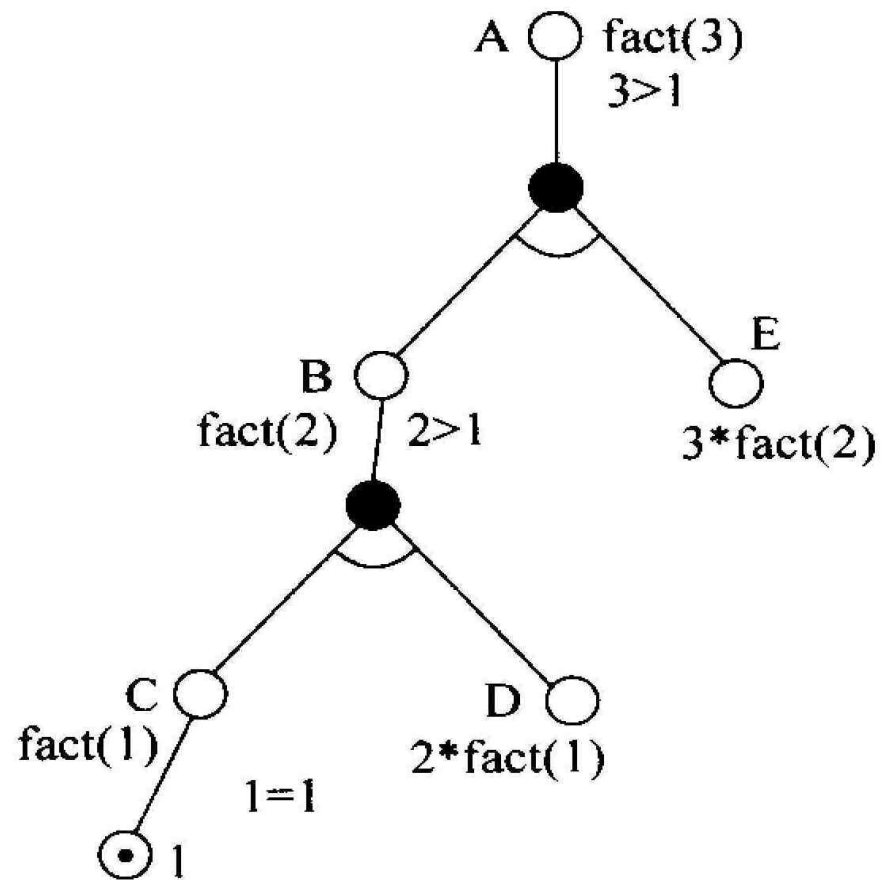
$$A = \begin{cases} B, & Z = \text{true (真)} \\ C, & Z = \text{false (假)} \end{cases}$$



条件为 Z_1, Z_2, \dots, Z_n ,
A 取值为 B 或 C, ..., 或 G

递归问题的描述与跟踪

- 阶乘问题与或图：



$C = 1$
 $D = 2 * C = 2$
 $B = D = 2$
 $E = 3 * B = 3 * 2 = 6$
 $A = E = 6$

例3-9

- 题目：用递归法计算从n个人中选择k个人组成一个委员会的不同组合数。
- 分析：
 - 由n个人里选k个人的组合数
 - = 由n-1个人里选k个人的组合数+由n-1个人里选k-1个人的组合数
 - 当 $n = k$ 或 $k = 0$ 时，组合数为1

例3-9 (续)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int comm(int n, int k) {
    if (k > n)
        return 0;
    else if (n == k || k == 0)
        return 1;
    else
        return comm(n - 1, k) + comm(n - 1, k - 1);
}

int main() {
    int n, k;
    cout << "Please enter two integers n and k: ";
    cin >> n >> k;
    cout << "C(n, k) = " << comm(n, k) << endl;
    return 0;
}
```

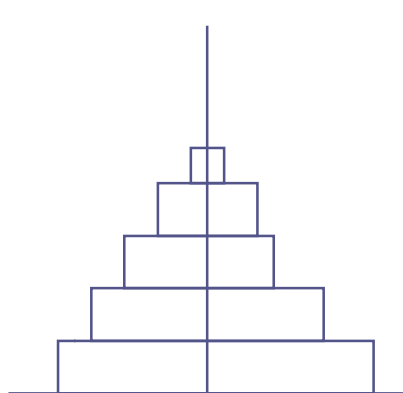
运行结果：

18 5
8568

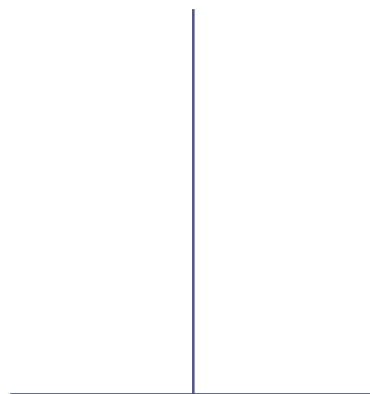


例3-10

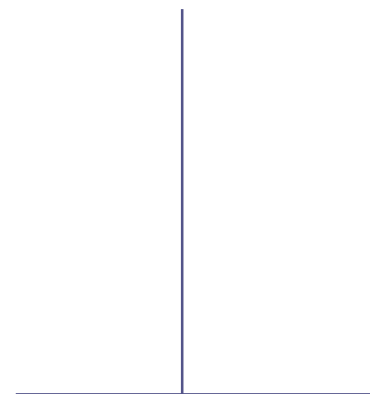
- 有三根针A、B、C。A针上有N个盘子，大的在下，小的在上，要求把这N个盘子从A针移到C针，在移动过程中可以借助B针，每次只允许移动一个盘，且在移动过程中在三根针上都保持大盘在下，小盘在上。



A



B



C

例3-10（续）

将 n 个盘子从A针移到C针可以分解为三个步骤：

- ①将A 上 $n-1$ 个盘子移到 B针上（借助C针）；
- ②把A针上剩下的一个盘子移到C针上；
- ③将 $n-1$ 个盘子从B针移到C针上（借助A针）；

上面三个步骤包含两种操作：

- ①将多个盘子从一个针移到另一个针上，这是一个递归的过程。 hanoi函数实现。
- ②将1个盘子从一个针上移到另一针上。用move函数实现。

例3-10 (续)

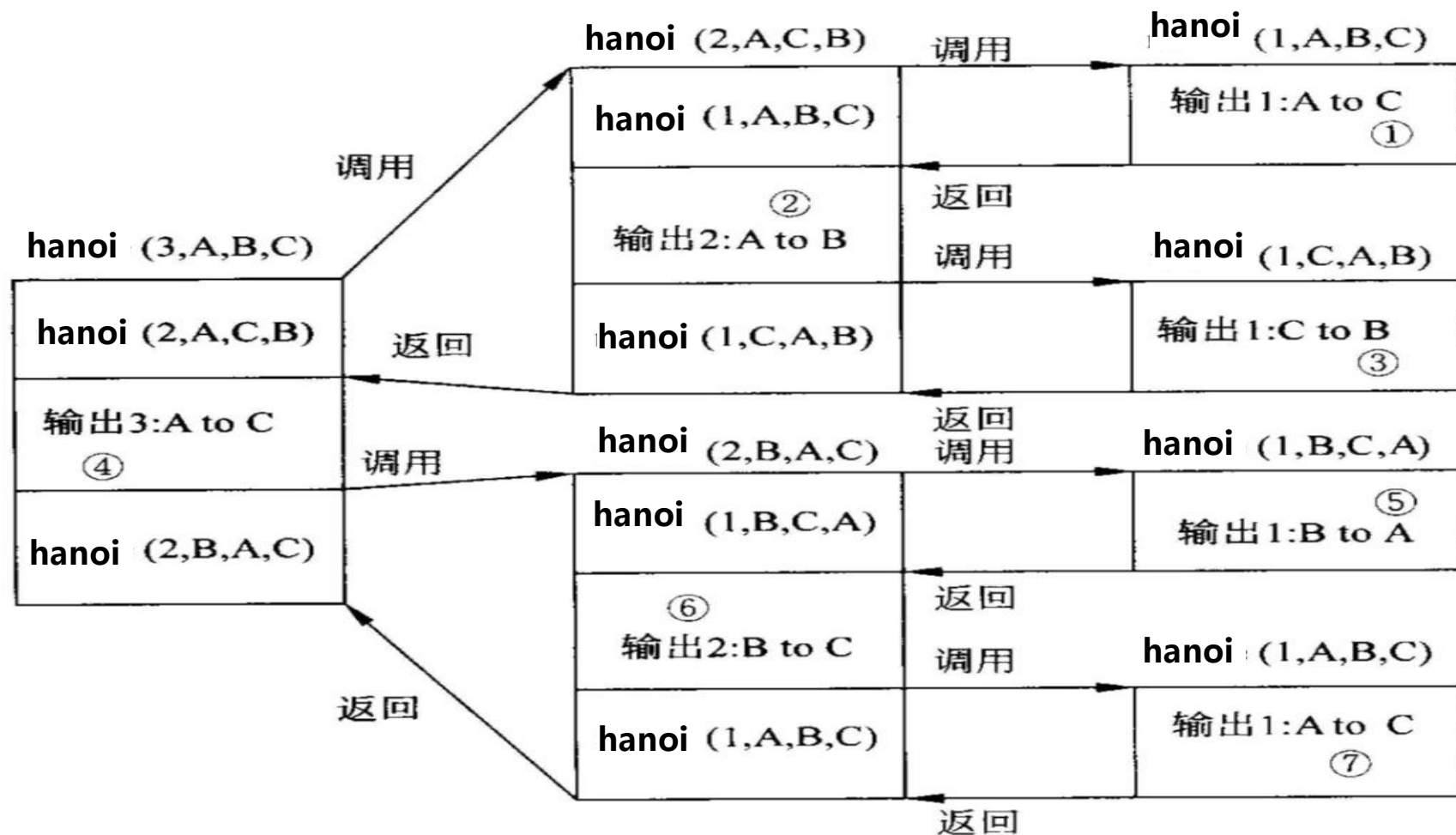
```
#include <iostream>
using namespace std;
//将src针的最上面一个盘子移动到dest针上
void move(char src, char dest) {
    cout << src << " --> " << dest << endl;
}
//将n个盘子从src针移动到dest针，以medium针作为中转
void hanoi(int n, char src, char medium, char dest)
{
    if (n == 1)
        move(src, dest);
    else {
        hanoi(n - 1, src, dest, medium);
        move(src, dest);
        hanoi(n - 1, medium, src, dest);
    }
}
```



```
int main() {  
    int m;  
    cout << "Enter the number of disks: ";  
    cin >> m;  
    cout << "the steps to moving " << m << " disks:" << endl;  
    hanoi(m,'A','B','C');  
    return 0;  
}
```

递归问题的描述与跟踪

- 汉诺塔问题的执行过程



运行结果：

Enter the number of disks:3
the steps to moving 3 disks:

A --> C

A --> B

C --> B

A --> C

B --> A

B --> C

A --> C

函数的参数传递

- 在函数被调用时才分配形参的存储单元
- 实参可以是常量、变量或表达式
- 实参类型必须与形参相符或可隐式转换为形参类型
- 值传递是传递参数值，即单向传递
- 引用传递可以实现双向传递
- 常引用作参数可以保障实参数据的安全

例3-11 输入两个整数并交换（值传递）

```
#include<iostream>
using namespace std;
void swap(int a, int b) {
    int t = a;
    a = b;
    b = t;
}
int main() {
    int x = 5, y = 10;
    cout<<"x = "<<x<<" y = "<<y<<endl;
    swap(x, y);
    cout<<"x = "<<x<<" y = "<<y<<endl;
    return 0;
}
```

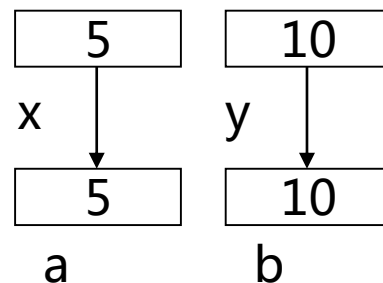
运行结果：

x = 5 y = 10
x = 5 y = 10

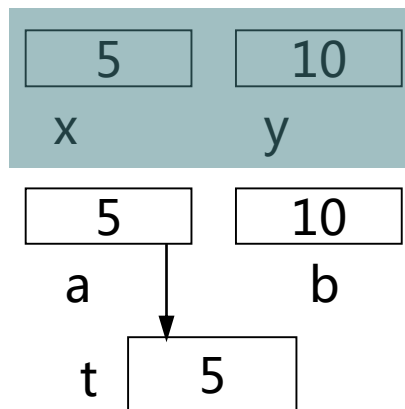


例3-11 输入两个整数并交换（值传递）

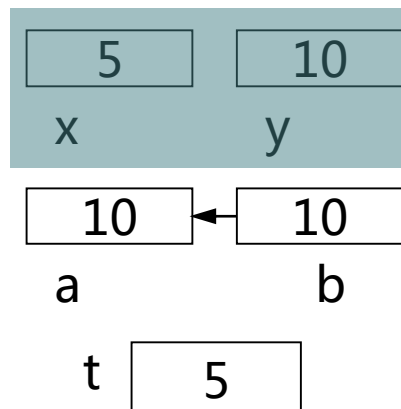
执行主函数中的函数调用
swap(x,y);



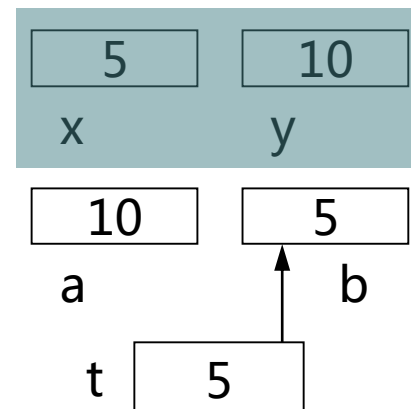
在swap子函数中
t=a;



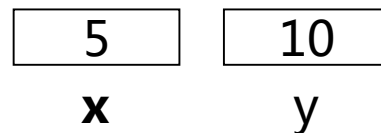
a=b;



b=t;



返回主函数以后



例3-12 输入两个整数交换后输出（引用传递）

```
#include<iostream>
using namespace std;
void swap(int& a, int& b) {
    int t = a;
    a = b;
    b = t;
}
int main() {
    int x = 5, y = 10;
    cout<<"x = "<<x<<" y = "<<y<<endl;
    swap(x, y);
    cout<<"x = "<<x<<" y = "<<y<< endl;
    return 0;
}
```

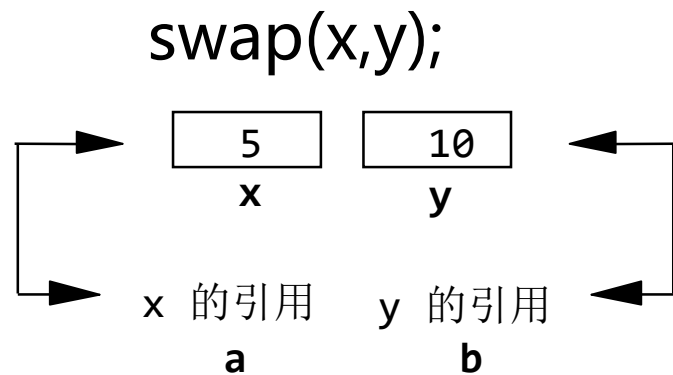
运行结果:

x = 5 y = 10

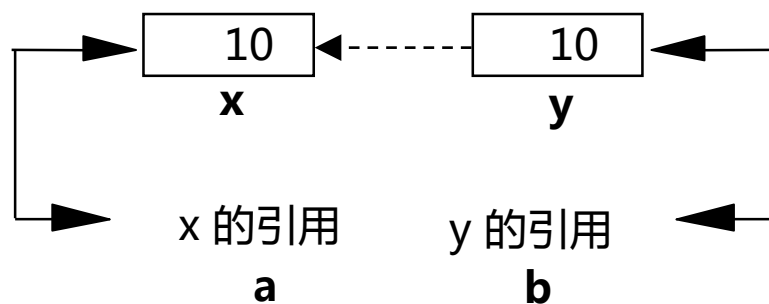
x = 10 y = 5



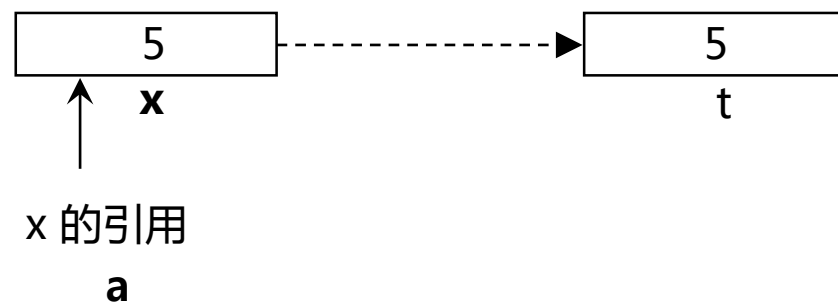
例3-12 (续)



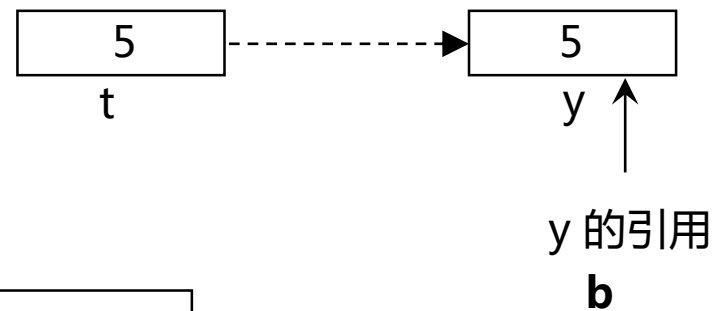
`a=b`



`t=a;`



`b=t;`



10
`x`

5
`y`

引用类型

- 引用(&)是标识符的别名,例如:

```
int i, j;  
int &ri = i; //定义int引用ri, 并初始化为变量i的引用  
j = 10;  
ri = j; //相当于 i = j;
```

- 声明一个引用时, 必须同时对它进行初始化, 使它指向一个已存在的对象。
- 一旦一个引用被初始化后, 就不能改为指向其它对象。
- 引用可以作为形参
void swap(int &a, int &b) {...}

可变数量形参

- 使用模板类 `initializer_list<T>` (`T` 为类模板, 模板将于第9章介绍) 可向函数传递同类型不定个数参数, 例如:

```
void log_info(initializer_list<string> lst) {  
    for (auto &info: lst)  
        cout << info << ' ' ;  
    cout << endl;  
}  
log_info({"Hello", "world", "!"});
```

- `initializer_list<string> lst` 接受不定个数字符串实参
- 注意, 实参以大括号列表方式给出
- 使用范围 `for` 语句遍历 `lst`, `auto` 自动推断元素为 `string` 类型

内联函数

- 声明时使用关键字 `inline`。
- 编译时在调用处用函数体进行替换,节省了参数传递、控制转移等开销。
- 注意：
 - 内联函数体内不能有循环语句和switch语句；
 - 内联函数的定义必须出现在内联函数第一次被调用之前；
 - 对内联函数不能进行异常接口声明。

例3-14 内联函数应用举例

```
#include <iostream>
using namespace std;

const double PI = 3.14159265358979;
inline double calArea(double radius) {
    return PI * radius * radius;
}

int main() {
    double r = 3.0;
    double area = calArea(r);
    cout << area << endl;
    return 0;
}
```



带默认参数值的函数

- 可以预先设置默认的参数值，调用时如给出实参，则采用实参值，否则采用预先设置的默认参数值。
- 例如：

```
int add(int x = 5,int y = 6) {  
    return x + y;  
}  
  
int main() {  
    add(10,20); //10+20  
    add(10);    //10+6  
    add();      //5+6  
}
```

默认参数值的说明次序

- 有默认参数的形参必须列在形参列表的最右，即默认参数值的右面不能有无默认值的参数
- 调用时实参与形参的结合次序是从左向右
- 例：

```
int add(int x, int y = 5, int z = 6);//正确
```

```
int add(int x = 1, int y = 5, int z);//错误
```

```
int add(int x = 1, int y, int z = 6);//错误
```

默认参数值与函数的调用位置

- 如果一个函数有原型声明，且原型声明在定义之前，则默认参数值必须在函数原型声明中给出；而如果只有函数的定义，或函数定义在前，则默认参数值需在函数定义中给出。
- 例：

```
int add(int x = 5,int y = 6);  
//原型声明在前  
int main() {  
    add();  
}  
int add(int x,int y) {  
    //此处不能再指定默认值  
    return x + y;  
}
```

```
int add(int x = 5,int y = 6) {  
    //只有定义，没有原型声明  
    return x + y;  
}  
int main() {  
    add();  
}
```

例3-15计算长方体的体积

- 函数getVolume计算体积
 - 有三个形参：length（长）、width（宽）、height（高），其中width和height带有默认值。
- 主函数中以不同形式调用getVolume函数

```
//3_15.cpp
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;

int getVolume(int length, int width = 2, int height = 3);

int main() {
    const int X = 10, Y = 12, Z = 15;
    cout << "Some box data is " ;
    cout << getVolume(X, Y, Z) << endl;
    cout << "Some box data is " ;
    cout << getVolume(X, Y) << endl;
    cout << "Some box data is " ;
    cout << getVolume(X) << endl;
    return 0;
}

int getVolume(int length, int width, int height) {
    cout << setw(5) << length << setw(5) << width << setw(5)
        << height << '\t';
    return length * width * height;
}
```



函数重载

- C++允许功能相近的函数在相同的作用域内以相同函数名声明，从而形成重载。方便使用，便于记忆。
- 例：

```
int add(int x, int y);  
float add(float x, float y);
```



形参类型不同

```
int add(int x, int y);  
int add(int x, int y, int z);
```



形参个数不同

注意事项

- 重载函数的形参必须不同: **个数**不同或**类型**不同。
- 编译程序将根据实参和形参的类型及个数的最佳匹配来选择调用哪一个函数。

```
int add(int x,int y);
```

```
int add(int a,int b);
```

编译器不以**形参名**来区分



```
int add(int x,int y);
```

```
void add(int x,int y);
```

编译器不以**返回值**来区分



- 不要将不同功能的函数声明为重载函数，以免出现调用结果的误解、混淆。这样不好：

```
int add(int x, int y)
{ return x + y; }
```

⋮

```
float add(float x,float y)
{ return x - y; }
```


例3-16重载函数应用举例

编写两个名为`sumOfSquare`的重载函数，分别求两整数的平方和及两实数的平方和。

例3-16 (续)

```
#include <iostream>
using namespace std;
int sumOfSquare(int a, int b) {
    return a * a + b * b;
}
double sumOfSquare(double a, double b) {
    return a * a + b * b;
}
int main() {
    int m, n;
    cout << "Enter two integer: ";
    cin >> m >> n;
    cout<<"Their sum of square: "<<sumOfSquare(m, n)<<endl;
    double x, y;
    cout << "Enter two real number: ";
    cin >> x >> y;
    cout<<"Their sum of square: "<<sumOfSquare(x, y)<<endl;
    return 0;
}
```



运行结果：

Enter two integer: 3 5

Their sum of square: 34

Enter two real number: 2.3 5.8

Their sum of square: 38.93

使用C++系统函数

- C++的系统库中提供了几百个函数可供程序员使用，例如：
 - 求平方根函数（`sqrt`）
 - 求绝对值函数（`abs`）
- 使用系统函数时要包含相应的头文件，例如：
 - `cmath`

例3-17 系统函数应用举例

- 题目：

从键盘输入一个角度值，求出该角度的正弦值、余弦值和正切值。

- 分析：

系统函数中提供了求正弦值、余弦值和正切值的函数：`sin()`、`cos()`、`tan()`，函数的说明在头文件`cmath`中。

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;
const double PI = 3.14159265358979;

int main() {
    double angle;
    cout << "Please enter an angle: ";
    cin >> angle;      //输入角度值
    double radian = angle * PI / 180; //转为弧度
    cout << "sin(" << angle << ") = " << sin(radian) << endl;
    cout << "cos(" << angle << ") = " << cos(radian) << endl;
    cout << "tan(" << angle << ") = " << tan(radian) << endl;
    return 0;
}
```

运行结果：

30

sin(30)=0.5

cos(30)=0.866025

tan(30)=0.57735



C++语言程序设计（第5版），郑莉，清华大学

小结

- 主要内容
 - 函数的声明和调用、函数间的参数传递、内联函数、带默认参数值的函数、函数重载、C++系统函数
- 达到的目标
 - 学会将一段功能相对独立的程序写成一个函数，为下一章学习类和对象打好必要的基础。
- 本周作业
 - 复习巩固语法，自己运行和观察本章所有例题，跟踪函数调用过程、递归过程。——无需提交；
 - SPOC：视频后面的小题、第三章最后的编程题；
 - 学生用书上面的“实验三”。