# 第1章

# C++回顾

# 本章内容：

- C++特性：
  - 参数传递方式（如值传递、引用传递和常量引用传递）。
  - 函数返回方式（如值返回、引用返回和常量引用返回）。
  - 模板函数。
  - 递归函数。
  - 常量函数。
  - 内存分配和释放函数：new与delete。
  - 异常处理结构：try, catch和throw。
  - 类与模板类。
  - 类的共享成员、保护成员和私有成员。
  - 友元。
  - 操作符重载。
  - 标准模板库。

# 函数与参数

- 参数传递方式
  - 值传递
  - 引用传递
  - 常量引用传递
- 函数返回方式
  - 值返回
  - 引用返回
  - 常量引用返回

# 传值参数

*程序1-1*

```
int abc(int a, int b, int c)
{
return a+b*c;
}
```

函数执行前：实际参数的值→形式参数（由形式参数类型的复制构造函数(copy constructor)完成；

例：z=abc(2, x, y)

2 →a; x →b; y→c;

函数执行后：形式参数类型的析构函数(destructor)负责释放形式参数(实际参数的值不会修改)。

# 模板函数

*程序1-1*

```
int abc(int a, int b, int c)
{
return a+b*c;
}
```

*程序1-2*

```
float abc(float a, float b, float c)
{
return a+b*c;
}
```

# 模板函数

*程序1-3*

```
template<class T>
T abc(T a, T b, T c)
  {
    return a+b*c;
  }
```

*将参数的数据类型作为一个变量，它的值由编译器来确定。*

# 引用参数

```
template<class T>
T abc(T a, T b, T c)
{
return a+b*c;
}
```

T : matrix(10*100)

*abc 被调用时 :3000次操作 (copy constructors)*

*abc 返回时: 3000 次操作 (destructors)*

# 引用参数

*程序1-4*

```
 template<class T>
T abc(T&  a, T&  b, T&  c)
{
return a+b*c;
}
```

*abc(x,y,z):*
*abc 被调用时 :实际参数（x、y 和z）将被分别赋予名称a，b 和c*
*abc(x,y,z):在函数abc 执行期间，x、y 和z 被用来替换对应的a，b 和c。*
*与传值参数的情况不同，在函数被调用时，本程序并没有复制实际参数的值，在函数返回时也没有调用析构函数。*

# 常量引用参数

*程序1-6*

```
template<class Ta, class Tb , class Tc >
Ta abc(const Ta&  a, const Tb&  b, const Tc&  c)
{
return a+b*c;
}
```

函数不得修改引用参数。

# 习题

- 编写一个函数，使用指针形参交换两个整数的值。在代码中调用该函数并输出交换后的结果，以此验证函数的正确性。

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

}
int main()
{
    int a = 5, b = 10;
    int *r = &a, *s = &b;
    cout << "交换前： a = " << a << ", b = " << b << endl;
    mySWAP(r, s);
    cout << "交换后： a = " << a << ", b = " << b << endl;
    return 0;
}
```

运行结果：

```
交换前: a = 5, b = 10
交换后: a = 10, b = 5
```

# 习题

- 编写一个函数，使用指针形参交换两个整数的值。在代码中调用该函数并输出交换后的结果，以此验证函数的正确性。

```
#include <iostream>
using namespace std;
//在函数体内部通过解引用操作改变指针所指的内容
void mySWAP(int *p, int *q)
{
    int temp = *p;   //temp是一个整数
    *p = *q;
    *q = temp;
}
int main()
{
    int a = 5, b = 10;
    int *r = &a, *s = &b;
    cout << "交换前：a = " << a << ", b = " << b << endl;
    mySWAP(r, s);
    cout << "交换后：a = " << a << ", b = " << b << endl;
    return 0;
}
```

使用指针作为参数时，在函数内部交换指针的值只改变局部变量，不会影响实参原本的值，无法满足题目要求。我们应该在函数内部通过解引用操作改变指针所指的内容。

# 返回值

- **值返回**
  被返回的对象均被复制到调用（或返回）环境中。
- **引用返回**
  T &X(int i,T& z)
  {……
  Return z;
  }
  Z 是对一个实际参数的引用，不会把*z* 的值复制到返回环境中。
- **常量引用返回**
  Const T &X(int i,T& z)
  返回的结果是一个不变化的对象。

# 重载函数

- **函数重载：定义多个同名函数的机制。**
- C++允许定义多个同名函数，但同名函数不能有同样的签名。
- **函数签名：**
  - **函数的形参类型和形参个数确定。**

*程序1-1* 函数abc的签名（int,int,int）；
*程序1-2* 函数abc的签名（float, float, float）；

*程序1-1*

```
int abc(int a, int b, int c)
{
return a+b*c;
}
```

*程序1-2*

```
float abc(float a, float b, float c)
{
return a+b*c;
}
```

# 异常

- **抛出异常**

- 异常：程序出现错误的信息。

程序1-8 抛出一个类型为char*的异常

```
int abc(int a, int b, int c)
{
  if(a<=0 ||b<=0 ||c<=0 )
       throw “All parameters should be >0”  ;
  return a+b*c;
}
```

# 异常

- 处理异常

- try-catch结构:

程序1-9 捕获一个类型为char*的异常

```
int main()
{
   try (cout<<abc(2,0,4)<<endl; )
     catch (char* e)
       {cout<<  “The parameters to abc were 2,0,4 ”<<endl;
        cout<<  “An exception has been thrown”<<endl;
        cout<< e )<<endl;
       return 1;
       }
return 0;
}
```

# 动态存储空间分配

- **C++内存分配**
- C/C++定义了4个内存区间:
  - 1. 代码区
  - 2. 全局变量与静态变量区
  - 3. 局部变量区(栈区)
  - 4. 动态存储区，即堆(heap)区或自由存储区(free store)

# C++内存分配

- 通常定义变量(或对象)，编译器在**编译时**都可以根据该变量(或对象)的类型知道所需内存空间的大小，从而系统在适当的时候为它们分配确定的存储空间。这种内存分配称为**静态存储分配**；

- 有些操作对象只在程序运行时才能确定，这样编译时就无法为它们预定存储空间，只能在**程序运行时**，系统根据运行时的要求进行内存分配，这种方法称为**动态存储分配**。
- 所有动态存储分配都在堆区(动态存储区)中进行。

# C++内存分配

- 当程序运行到需要一个动态分配的变量或对象时，必须向系统**申请**取得堆中的一块所需大小的存贮空间，用于存贮该变量或对象。

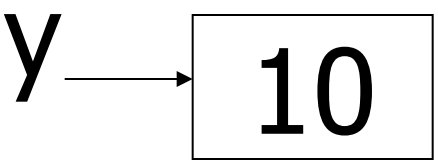
- 当不再使用该变量或对象时，也就是它的生命结束时，要**显式释放**它所占用的存贮空间，这样系统就能对该堆空间进行再次分配，做到重复使用有限的资源。

# 操作符 new

- new—C++操作符new可用来进行动态存储分配，该操作符返回一个指向所分配空间的**指针**。

```
int *y ;
y=new int;
*y = 10;
```

```
int *y = new int;
*y = 10;
```



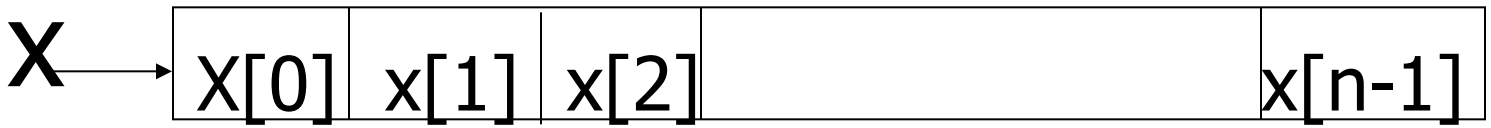

```
int *y = new int (10);
```

```
int *y;
y = new int (10);
```

# 一维数组

如果数组的大小在编译时是未知的，必须进行动态存储分配。

float *x=new float[n];




可以使用x[0], x[1], ..., x[n-1] 来访问每个数组元素。

# 异常处理

float *x=new float[n]

如果计算机不能分配足够的空间怎么办？在这种情况下， new 不能够分配所需数量的存储空间，将会引发一个异常 .

```
float *x;
try {x = new float [n];}
catch (bad_alloc) { //仅当new 失败时才会进入
        cerr << "Out of Memory" << endl;
        exit (1) ; }
```

# 操作符 delete

- Delete：

  释放由操作符new所分配的空间

```
int *y = new int (10);
Delete  y;

float *x=new float[n];
Delete []x;
```

# 二维数组

- 二维数组每一维的大小在编译时都是已知时：

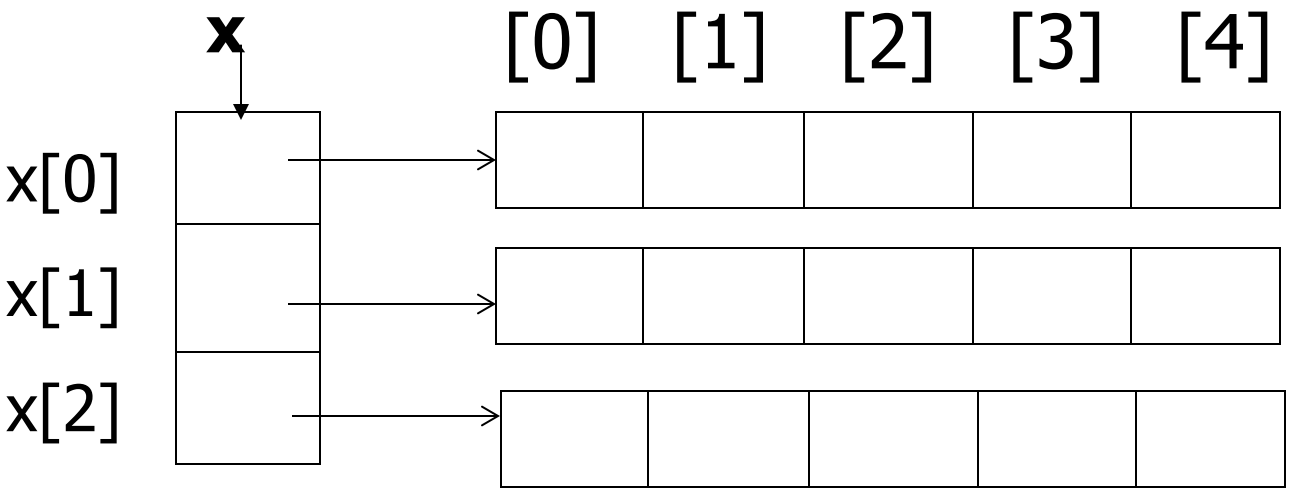
```
char  c[7][5];
```

- 在编译时数组的行数未知:

```
char (*c)[5];
try { c = new char [n][5];}
catch (bad_alloc) {//仅当new 失败时才会进入
    cerr << "Out of Memory" << endl;
    exit (1);}
```

# 二维数组

- 在编译时数组的列数未知：
  char **x;



# 二维数组

为一个二维数组分配存储空间（程序 1-10）

```
template <class T>
bool make2dArray (T** &x, int numberOfRows, int numberOfcolumns)
{//创建一个二维数组
  try {
     //创建行指针
     x = new T* [numberOfRows];

    //为每一行分配空间
     for (int i = 0 ; i < numberOfRows; i++)
           x[i] = new T [numberOfcolumns];
     return true;
    }
catch (bad_alloc) {return false;}
}
```

# 二维数组

程序 1-11 创建一个二维数组但不处理异常.

```
template <class T>
Void  make2dArray ( T** &x, int numberOfRows, int
numberOfcolumns)
{//创建一个二维数组

  //创建行指针
  x = new T*[numberOfRows];

 //为每一行分配空间 .
  for (int i = 0 ; i < numberOfRows; i++)
      x[i] = new T [numberOfcolumns];
}
```

# 二维数组

程序 1-13——不捕获异常

- 简化了函数的代码设计
- 可以使异常捕获落在一个更适合报告错误或或修改错误的地方.

```
try { make2dArray (x, r, c);}
catch (bad_alloc) {cerr<< "Could not create x" << endl;
                   exit (1) ; }
```

# 二维数组

程序 1-12 释放程序1 - 10中为二维数组所分配的空间

```
template <class T>
void delete2dArray( T** &x, int numberOfRows)
{// 删除二维数组x

      //释放为每一行所分配的空间
      for (int i = 0 ; i < numberOfRows ; i++)
            delete [ ] x[i];

     //删除行指针
      delete [] x;
      x = NULL;
}
```

# 自有数据类型

- **类currency**

类型currency的对象(实例)：

$2.35　　-$6.05　　-$10.00

成员：符号（＋或－），美元，美分

对currency类型对象我们想要执行的操作：

- 设置成员值
- 确定各成员值
  （即符号，美元数目和美分数目）
- 两个对象相加
- 增加成员的值
- 输出

```
enum signType {plus, minus};
```

# currency类声明

```
class currency {
public:
    //构造函数
    currency(signType theSign = plus, unsigned long theDollars = 0, unsigned int
    theCents = 0);
    //析构函数
    ~currency() {}
    bool setValue(signType, unsigned long, unsigned int);
    bool setValue(double);
    signType getSign() const {return sign;}
    unsigned long getDollars() const {return dollars;}
    unsigned int getCents() const {return cents;}
    currency add(const currency&) const;
    currency& increment(const currency&);
    void output() const;
private:
    signType sign;                  //对象的符号
    unsigned long dollars;          //美元的数量
    unsigned int cents;             //美分的数量
```

# 创建对象、同名函数的调用

- 创建currency类对象两种方式:
  - ✓ currency f, g(plus,3,45), h(minus,10);
    f: $0.00,  g: $3.45,  h: -$10.00
  - ✓ currency  *m=new currency (plus,8,12)

setValue:设置成员的值

```
g.setValue(minus,33,0);        //g=-$33.00
h.setValue(20.52);        //h=$20.52
```

# 常量函数、复制构造函数

- **常量函数:**函数不会修改调用对象的值

```
signType getSign() const {return sign;}
unsigned long getDollars() const {return dollars;}
unsigned int getCents() const {return cents;}
```

- **复制构造函数:**
  - 被用来执行返回值的复制及传值参数的复制。
  - C++中缺省的复制构造函数：仅进行数据成员的复制。

# 类currency的构造函数

程序1-14

```
currency::currency(signType theSign, unsigned long theDollars,
unsigned int theCents)

{//创建一个currency类对象  .
    if (theCents > 99)        //美分太多
          throw illegalParameterValue("Cents should be < 100" );

    sign = theSign;
    dollars = theDollars;
    cents = theCents;
}
```

# 函数setValue

程序1-15

```
bool currency::setValue((signType theSign, unsigned long
theDollars, unsigned int theCents))
{//给调用对象的数据成员赋值
   if (theCents > 99)        //美分太多
         throw illegalParameterValue("Cents should be < 100" );

   sign = theSign;
   dollars = theDollars;
   cents = theCents;
   return true;
 }
```

# 函数setValue

程序1-15

```
bool currency::setValue(double theAmount)
{//给调用对象的数据成员赋值
  if (theAmount < 0) {sign = minus; theAmount = -theAmount;}
   else sign = plus;
        dollars = (unsigned long) theAmount;       //提取整数部分
        cents = (unsigned int) ((theAmount+0.001-dollars)*100);  //提取两个小数位
    return true;
}
```

# 函数add

程序1-16（1）

```
currency currency::add(const currency& x) const
{//把x和   *this相加.
      long a1, a2, a3;
     currency result;

     //把调用对象转换成符号整数
    a1 = dollars * 100 + cents;
     if (sign = = minus)  a1 = -a1;

    //把x转换成符号整数
    a2 = x.dollars * 100 + x.cents;
    if (x.sign = = minus)  a2 = -a2 ;

   a3 = a1 + a2;
```

# 函数add

程序1-16（2）

```
    //转换为currency 对象的表达形式
    if (a3 < 0) {result.sign = minus; a3 = -a3 ; }
     else result.sign = plus;
     result.dollars = a3/100;
     result.cents = a3 - result.dollars * 100;
     return result;
}
```

# 函数increment和output

程序1-17

```
currency& currency::increment(const currency& x)
    {//增加量 x .
    *this = add(x);
    return *this;
    }

void currency::output ( ) const
    {//输出调用对象的值
    if (sign = = minus) cout << '-';
    cout << '$' << dollars << '.';
    if (cents < 10) cout << "0";
    cout << cents;
    }
```

# 类currency的应用

- currency类声明和类实现都在文件currency.h中

程序1-18(1)

```
#include <iostream>
#include "currency.h "
using namespace std;
int main ()
{
    currency g, h(plus, 3, 50), i, j;

    //使用两种形式的setValue来赋值
     g.setValue(minus, 2, 25);
     i.setValue ( - 6. 45 ) ;
```

# 类currency的应用

程序1-18(2)

```
//调用add和output
   j = h.add(g);
   h.output( );
   cout <<  " + ";
   g.output( );
   cout <<  " = ";
   j.output( ); cout << endl;

 //连续调用两次函数add
   j = i.add(g).add(h);
   ……//省略输出语句

//调用函数increment和add
   j = i. increment(g).add(h);
   ……//省略输出语句
```

# 类currency的应用

程序1-18(3)

```
    //测试异常
    cout<< " Attempting to inatialize with cents =152" << endl;
    try {i.setValue(plus, 3, 152); }
    catch (illegalParameterValue e)
      {
       cout<< “Caught thrown exception" << endl;
      e.outputMessage();
     }
    return 0;
}
```

# 一种不同的描述方法

- 已经有许多应用程序采用currency类；
- 修改currency类，使其应用频率最高的两个函数add和increment可以运行得更快
- **对私有部分的修改不影响应用代码的正确性**
- 下述代码放在文件currency.h中，程序1-18的代码依然可以运行

```
class currency
{
public:
      //构造函数
      currency(signType theSign = plus, unsigned long theDollars = 0, unsigned int
      theCents = 0);
      //析构函数
      ~currency() {}
      bool setValue(signType, unsigned long, unsigned int);
      bool setValue(double);
            signType getSign() const
            {if (amount < 0) return minus;
              else return plus;}
            unsigned long getDollars() const
             {if (amount < 0) return (-amount) / 100;
              else return amount / 100;}
            unsigned int getCents() const
             {if (amount < 0)
                  return -amount - Dollars() * 100;
            else return amount - Dollars() * 100;;}
      currency add(const currency&) const;
      currency& increment(const currency&);
       {amount += x.amount; return *this;}

      void output() const;
private:
       long amount;
}
```

# 操作符重载

程序1-22　包含操作符重载的类声明

```
class currency {
public :
    //构造函数
    currency(signType theSign = plus, unsigned long theDollars = 0,
    unsigned int theCents = 0);
        •
        •
        •
    currency operator+(const currency& ) const;
    currency& operator+=(const currency& x)
        {amount += x.amount; return *this;}
    void output(ostream& out) const;
Private:
    long amount;
} ;
```

程序1-23

```
currency currency::operator+(const currency& x) const
{//把参数对象x 和调用对象 *this相加.
      currency result;
      result.amount = amount + x.amount;
      return result;
}
void currency::output(ostream& out) const
{//将货币值插入到输出流 .
      long theAmount = amount;
      if (theAmount < 0) {out << '-' ; theAmount = -theAmount ; }
      long dollars = theAmount / 100;       // dollars
      out << '$' << dollars << '.' ;
      int cents = theAmount - dollars * 100;      // cents
      if (cents < 10)   out << "0";
      out << cents;
}
//重载  <<
ostream& operator<<(ostream& out, const currency& x)
{x.output(out); return out;}
```

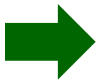
# 类currency的应用

- 使用操作符重载，程序1-18（类currency的应用）：

```
……
//调用add和output
 j = h.add(g);
 h.output( );
 cout <<  " + ";
 g.output( );
 cout <<  " = ";
 j.output( ); cout << endl;
```

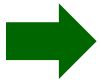
```
//调用add和output
j = h+g;
cout << h << " + " << g << " = " << j << endl;
```

```
//连续调用两次函数add
 j = i.add(g).add(h);
 ……//省略输出语句
```



```
//连续调用两次函数add
j = i+g+h;
cout << i << " + " << g <<  " + " << h << " = "
        << j << endl;
```

```
//调用函数increment和add
 j = i. increment(g).add(h);
 ……//省略输出语句
```



```
//调用函数increment和add
j = (i+=g)+h;
……
```

# 友元和保护性类成员

- 对一个类的私有成员，仅有类的成员函数才能直接访问

- 在一些应用程序中，必须给予别的类和函数直接访问该类私有成员的权利。这就需要把这些类和函数声明为该类的友元（friend）

# 友元和保护性类成员

- 把ostream& operator<<描述为currency类的友元

```
class currency {
friend ostream& operator <<(ostream&, const currency&);
Public:
    ……
```

程序1-25

```
//重载 <<
ostream& operator<<(ostream& out, const currency& x)
{//把货币值插入到输出流
 long theAmount = x.amount;
 if (theAmount < 0) {out << '-' ; theAmount = -theAmount;}
 long dollars = theAmount / 100; //dollars
 out << '$' << dollars << '.' ;
 int cents = theAmount - dollars * 100; // cents
 if (cents < 10) out << "0";
 out << cents;
 return out;
}
```

- 不用另外定义成员函数output

# 保护性类成员

```
class currency
{
friend ostream& operator <<(ostream&, const currency&);
Public:
    …
Protected:
    …
Private:
    …
}
```

- 派生类可以访问保护性类成员 .

# 增加 #ifndef, #define,and #endif 语句

- 在文件头，必须放上语句：
  #ifndef currency_
  #define currency_
- 在文件尾需要放上语句：

  #endif

- 确保currency的代码仅被程序包含和编译一次

# 异常类illegalParameterValue

- 当一个函数的实参值无意义时，要抛出的异常就是这个类型

```
class illegalParameterValue
 {
   public:
       illegalParameterValue():message("Illegal Parameter Value"){}
       illegalParameterValue(char* theMessage)
                          {message= theMessage;}
       void outputmessage()  {cout<<message<<endl;
  private:
      string message;
};
```

# 递归函数

- 递归函数：递归函数是一个自己调用自己的函数。

- 直接递归：　f—— f

  函数f的代码中直接包含了调用f的语句.

- 间接递归: f——g——h——f

  函数f调用了函数g，g又调用了h，如此进行下去，直到f又被调用。

# 数学函数的递归定义

*阶乘函数* $f(n)=n!$

$$f(n)=\begin{cases}1 & n\leqslant 1\\ nf(n-1) & n>1\end{cases}$$

- 完整的递归定义，必须包含：

1. 基本部分 （一般包含了$n\leq k$的情况）

f(n)=1　　n⩽ 1

f(n) 是直接定义的（即非递归）

2. 递归部分：（右侧所出现的所有*f*的参数都必须有一个比*n*小 ）

f(n)=nf(n-1)　　n>1

- 重复运用递归部分来改变右侧出现的f，直至出现f的基本部分。

# 数学函数的递归定义

- 例如：
- f(5)=5f(4)=20f(3)=60f(2)=120f(1)
- 每次应用递归部分的结果是更趋近于基本部分，最后，根据基本部分的定义可以得到f(5)=120。

# C++递归函数

- 一个正确的递归函数必须包含：
  - 一个基本部分
  - 递归调用部分
    所使用的参数值应比函数的参数值要小

例 1-1 （程序 1-29）

```
int factorial(int n)
{ //计算 n!
   if (n<=1) return 1;
   else   return n*factorial(n-1);
}
```

# 求n个元素之和的非递归实现

例1-2 模板函数Sum
计算元素a[0]至a[n-1] 的和

程序 1-30

```
template<class T>
T Sum(T a[], int n)
  { //返回数组元素a[0]至a[n-1] 的和
    T thesum=0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
          thesum += a[i];
    return  thesum;
  }
```

# 求n个元素之和的递归实现

例1-2　模板函数Sum

计算元素a [0]至a[n-1] 的和

当n=0时，和为0；当n>0时，n个元素的和是前面n-1个元素的和加上最后一个元素。

程序 1-31

```
template<class T>
T rSum(T a[], int n)
{
    if (n > 0)
        return  rSum(a, n-1) + a[n-1];
    return  0;
}
```

# 例1-3 排列

例1-3 排列

*n*个不同元素的所有排列方式。

- 例：a，b和c的排列方式有：

  abc,acb,bac,bca,cab,cba

# 例1-3 排列

$E=\{e_1, e_2, \ldots\ldots e_{n-1}, e_n\}$

$E_i= \{e_1, \ldots e_{i-1}, e_{i+1}, \ldots e_{n-1}, e_n\}$

perm(X)=集合*X*中元素的排列方式 。

$e_i$• perm(X)=在*perm (X)* 中的每个排列方式的前面均加上$e_i$以后所得到的排列方式。

# 例1-3 排列

E={a,b,c}

$E_1$= {b,c}, $E_2$= {a,c}, $E_3$= {a,b}

perm($E_1$)=(bc,cb)

perm($E_2$)=(ac,ca)

perm($E_3$)=(ab,ba)

a·perm($E_1$)=(abc,acb)

b.perm($E_2$)=(bac, bca)

c.perm($E_3$)=(cab, cba)

perm(E)= a .perm($E_1$)+ b .perm($E_2$)+c. perm($E_3$)

# 例1-3 排列

$$perm(E)=\begin{cases}(e) & n=1\\ e_1.perm(E_1)+e_2.perm(E_2)+\dots e_n.perm(E_n) & n>1\end{cases}$$

基本部分，采用n=1。当只有一个元素时，只可能产生一种排列方式，所以perm(E)=(e)，其中e是E中的唯一元素。

递归部分:当n>1时，采用n个perm(X)来定义perm(E),其中每个X包含n-1个元素。

程序 1-32

```
template<class T>
void permutations(T list[], int k, int m)
{ //生成list[k:m]的所有排列方式 , 输出前缀是 list[0:k-1] 后缀是
list[k:m]的所有排列方式
   int i;
   if (k = =m) {// list[k:m]只有一个排列
       copy(list,list+m+1,ostream_iterator<T>(cout, " "))  ;
            cout << endl;
         }
   else // list[k:m ]有多个排列方式，递归地产生这些排列方式
        for (i=k; i <= m; i++) {
              swap (list[k], list[i]);
              permutations (list, k+1, m);
              swap (list[k], list[i]);
            }
}
```

# C++标准模板库(STL)

- C++标准模板库(STL)是一个容器、适配器、迭代器、函数对象和算法的集合，使用STL，应用程序的设计会简单很多。
- copy(start,end,to)
- 对范围在[start,end)内的元素复制到to开始的另一个位置。
- 即：元素从位置start, start+1,…,end-1依次复制到to, to+1,…,to+end-start
- 例:copy(list,list+m+1,ostream_iterator<T>(cout, " ")) ;
- 等价于： for (i = 0; i <= m; i++)　cout << list [i];

# 测试与调试

- 正确性是一个程序的重要属性.
- 采用严格的数学证明方法来证明一个程序的正确性是非常困难的。
- 程序测试
  - 是指在目标计算机上利用输入数据，也称之为测试数据（ test data）来实际运行该程序，把程序的实际行为与所期望的行为进行比较。如果两种行为不同，就可判定程序中有问题存在。
  - 即使两种行为相同，也不能够断定程序就是正确的，因为对于其他的测试数据，两种行为又可能不一样。

# 程序测试

- 通过使用**所用可能的测试数据**，可以验证一个程序是否正确。
- **不可能进行穷尽测试；**
- 实际用来测试的输入数据空间的子集称之为测试集（test set）。
- 测试的目的
  - 不是去建立正确性认证，而是为了发现尽可能多的缺陷(功能错误/性能低下/易用性差)
  - 一个成功的测试示例在于发现了至今尚未发现的缺陷。

# 程序测试

- 测试数据选择条件：
  - 这个数据能够发现错误的潜力如何？
  - 能否验证采用这个数据时程序的正确性？

- 设计测试数据的方法
  - 黑盒法
    - 考察程序的功能
  - 白盒法
    - 考察程序的结构

# 课后作业

- P23 16
- P29 23 24