第六章　数组 指针与字符串

清华大学　郑 莉

目录

数组的定义与使用

- 数组是具有一定顺序关系的若干相同类型变量的集合体，组成数组的变量称为该数组的元素。

数组的定义

类型说明符　数组名[常量表达式] [常量表达式]…… ；

数组名的构成方法与一般变量名相同。

例如：int a[10];
表示a为整型数组，有10个元素：a[0]...a[9]

例如: int a[5][3];
　　表示a为整型二维数组，其中第一维有5个下标（0~4），第二维有3个下标（0~2），数组的元素个数为15，可以用于存放5行3列的整型数据表格。

数组的使用

- 使用数组元素
  - 数组必须先定义，后使用。
  - 可以逐个引用数组元素。
  - 例如：

    a[0]=a[5]+a[7]-a[2*3]

    b[1][2]=a[2][3]/2

- 下面的例题演示了如何定义和使用数组，而且，我们可以从这个例题看出，用数组存储大批量数据，有利于用循环结构来处理数据
- 对于本身没有次序特征的一组数据，可以通过数组下标为之附加序号，进而可以用循环结构

例6-1

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
  int a[10], b[10];
  for(int i = 0; i < 10; i++) {
    a[i] = i * 2 - 1;
    b[10 - i - 1] = a[i];
  }
  for(int i = 0; i < 10; i++) {
    cout << "a[" << i << "] = " << a[i] << "   ";
    cout << "b[" << I << "] = " << b[i] << endl;
  }
  return 0;
}
```

数组的存储与初始化

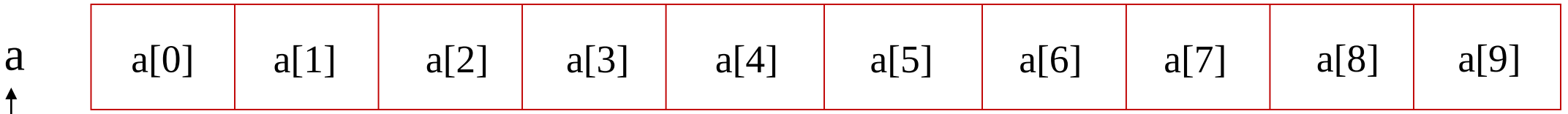
<6.1.2>

一维数组的存储

数组元素在内存中顺次存放，它们的地址是连续的。元素间物理地址上的相邻，对应着逻辑次序上的相邻。

例如：

```
int a[10];
```



数组名字是数组首元素的内存地址。

数组名是一个常量，不能被赋值。

一维数组的初始化

- 列出全部元素的初始值

  例如：static int a[10]={0,1,2,3,4,5,6,7,8,9};

- 可以只给一部分元素指定初值

  例如：static int a[10]={0,1,2,3,4};

- 在列出全部数组元素初值时，可以不指定数组长度

  例如：static int a[]={0,1,2,3,4,5,6,7,8,9}

二维数组的存储

- 按行存放

  例如： float a[3][4];

可以理解为：

a
- a[0]——a_{00} a_{01} a_{02} a_{03}
- a[1]——a_{10} a_{11} a_{12} a_{13}
- a[2]——a_{20} a_{21} a_{22} a_{23}

其中数组a的存储顺序为：

a_{00} a_{01} a_{02} a_{03} a_{10} a_{11} a_{12} a_{13} a_{20} a_{21} a_{22} a_{23}

二维数组的初始化

- 将所有初值写在一个{}内，按顺序初始化
  - 例如：static int a[3][4]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12};
- 分行列出二维数组元素的初值
  - 例如：static int a[3][4]={{1,2,3,4},{5,6,7,8},{9,10,11,12}};
- 可以只对部分元素初始化
  - 例如：static int a[3][4]={{1},{0,6},{0,0,11}};
- 列出全部初始值时，第1维下标个数可以省略
  - 例如：static int a[][4]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12};
  - 或：static int a[][4]={{1,2,3,4},{5,6,7,8},{9,10,11,12}};

- 如果不作任何初始化，局部作用域的非静态数组中会存在垃圾数据，static数组中的数据默认初始化为0
- 如果只对部分元素初始化，剩下的未显式初始化的元素，将自动被初始化为零

例: 求Fibonacci数列的前20项，将结果存放于数组中

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
  int f[20] = {1,1};          //初始化第0、1个数
  for (int i = 2; i < 20; i++) //求第2～19个数
    f[i] = f[i - 2] + f[i - 1];
  for (i=0;i<20;i++) {    //输出，每行5个数
    if (i % 5 == 0) cout << endl;
     cout.width(12);        //设置输出宽度为12
     cout << f[i];
  }
  return 0;
}
```

运行结果：

```
           1           1           2           3           5
           8          13          21          34          55
          89         144         233         377         610
         987        1597        2584        4181        6765
```

例: 一维数组应用举例

循环从键盘读入若干组选择题答案，计算并输出每组答案的正确率，直到输入ctrl+z为止。

每组连续输入5个答案，每个答案可以是'a'..'d'。

例: 一维数组应用举例

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
  const char key[ ] = {'a','c','b','a','d'};
  const int NUM_QUES = 5;
  char c;
  int ques = 0, numCorrect = 0;
  cout << "Enter the " << NUM_QUES << " question tests:" << endl;
  while(cin.get(c)) {
    if(c != '\n') {
       if(c == key[ques]) {
         numCorrect++; cout << " ";
       } else
         cout<<"*";
       ques++;
    } else {
      cout << " Score " << static_cast<float>(numCorrect)/NUM_QUES*100 << "%";
      ques = 0;  numCorrect = 0; cout << endl;
    }
  }
  return 0;
}
```

运行结果：

```
Enter the 5 question tests:
acbba
   ** Score 60%
acbad
     Score 100%
abbda
 * ** Score 40%
bdcba
***** Score 0%
```

数组作为函数参数

<6.1.3>

- 数组元素作实参，与单个变量一样。
- 数组名作参数，形、实参数都应是数组名（实质上是地址，关于地址详见6.2），类型要一样，传送的是数组首地址。对形参数组的改变会直接影响到实参数组。

例6-2 使用数组名作为函数参数

主函数中初始化一个二维数组，表示一个矩阵，并将每个元素都输出，然后调用子函数，分别计算每一行的元素之和，将和直接存放在每行的第一个元素中，返回主函数之后输出各行元素的和。

例6-2 使用数组名作为函数参数

```
#include <iostream>
using namespace std;
void rowSum(int a[][4], int nRow) {
   for (int i = 0; i < nRow; i++) {
         for(int j = 1; j < 4; j++)
                a[i][0] += a[i][j];
   }
}
int main() { //主函数
   //定义并初始化数组
  int table[3][4] = {{1, 2, 3, 4}, {2, 3, 4, 5}, {3, 4, 5, 6}};
```

技巧：多维数组通常用多重嵌套循环处理

例6-2 使用数组名作为函数参数

```
  //输出数组元素
   for (int i = 0; i < 3; i++)        {
         for (int j = 0; j < 4; j++)
                cout << table[i][j] << "    ";
         cout << endl;
   }
   rowSum(table, 3);        //调用子函数，计算各行和
  //输出计算结果
   for (int i = 0; i < 3; i++)
         cout << "Sum of row " << i << " is " << table[i][0] << endl;
   return 0;
}
```

运行结果：

```
1   2   3   4
2   3   4   5
3   4   5   6
Sum of row 0 is 10
Sum of row 1 is 14
Sum of row 2 is 18
```

对象数组

<6.1.4 >

对象数组的定义与访问

- 定义对象数组

  类名　数组名[元素个数]；

- 访问对象数组元素

  通过下标访问

  数组名[下标].成员名

对象数组初始化

- 数组中每一个元素对象被创建时，系统都会调用类构造函数初始化该对象。
- 通过初始化列表赋值。

  例：Point a[2]={Point(1,2),Point(3,4)};
- 如果没有为数组元素指定显式初始值，数组元素便使用默认值初始化（调用默认构造函数）。

数组元素所属类的构造函数

- 元素所属的类不声明构造函数，则采用默认构造函数。
- 各元素对象的初值要求为相同的值时，可以声明具有默认形参值的构造函数。
- 各元素对象的初值要求为不同的值时，需要声明带形参的构造函数。
- 当数组中每一个对象被删除时，系统都要调用一次析构函数。

例6-3 对象数组应用举例

```
//Point.h
#ifndef _POINT_H
#define _POINT_H
class Point {    //类的定义
public:                          //外部接口
   Point();
   Point(int x, int y);
   ~Point();
   void move(int newX,int newY);
   int getX() const { return x; }
   int getY() const { return y; }
   static void showCount();     //静态函数成员
private:                         //私有数据成员
   int x, y;
};
#endif//_POINT_H
```

例6-3 对象数组应用举例

```
//Point.cpp
#include <iostream>
#include "Point.h"
using namespace std;
Point::Point() : x(0), y(0) {
   cout << "Default Constructor called." << endl;
}
Point::Point(int x, int y) : x(x), y(y) {
   cout << "Constructor called." << endl;
}
Point::~Point() {
   cout << "Destructor called." << endl;
}
void Point::move(int newX,int newY) {
   cout << "Moving the point to (" << newX << ", " << newY << ")" << endl;
   x = newX;
   y = newY;
}
```

例6-3 对象数组应用举例

```
//6-3.cpp
#include "Point.h"
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   cout << "Entering main..." << endl;
   Point a[2];
   for(int i = 0; i < 2; i++)
         a[i].move(i + 10, i + 20);
   cout << "Exiting main..." << endl;
   return 0;
}
```

运行结果：

```
Entering main...
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Moving the point to (10, 20)
Moving the point to (11, 21)
Exiting main...
Destructor called.
Destructor called.
```

基于范围的for循环

<6.1.5>

基于范围的for循环举例

```
int main()
{
int array[3] = {1,2,3};
int *p;
for(p = array; p < array + sizeof(array) / sizeof(int); ++p)
{
    *p += 2;
    std::cout << *p << std::endl;
}

return 0;
}
```

```
int main()
{
int array[3] = {1,2,3};
for(int & e : array)
{
    e += 2;
    std::cout<<e<<std::endl;
}

return 0;
}
```

指针的概念和定义、与地址相关的运算

<6.2.1-6.2.3>

内存空间的访问方式

- 通过变量名访问
- 通过地址访问

指针的概念

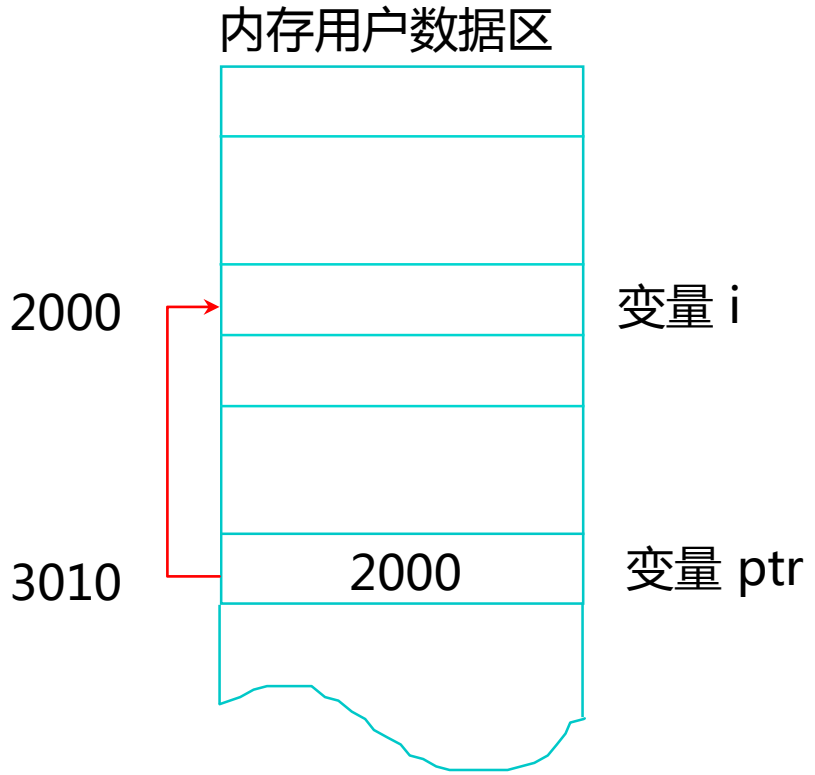
- 指针：内存地址，用于间接访问内存单元
- 指针变量：用于存放地址的变量

指针变量的定义

- 例：

```
static int i;
static int*  ptr = &i;
```

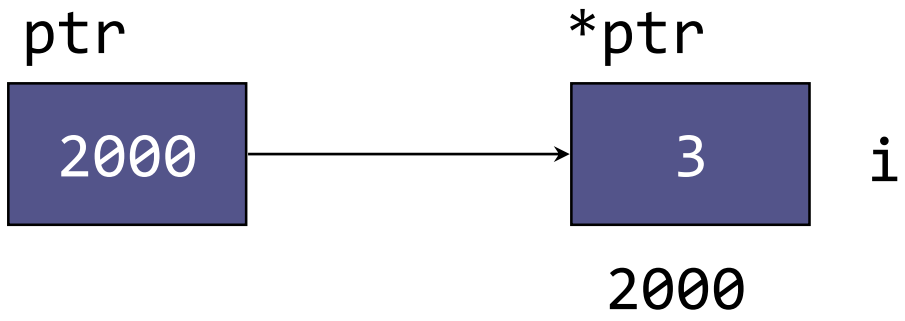
指向int变量的指针

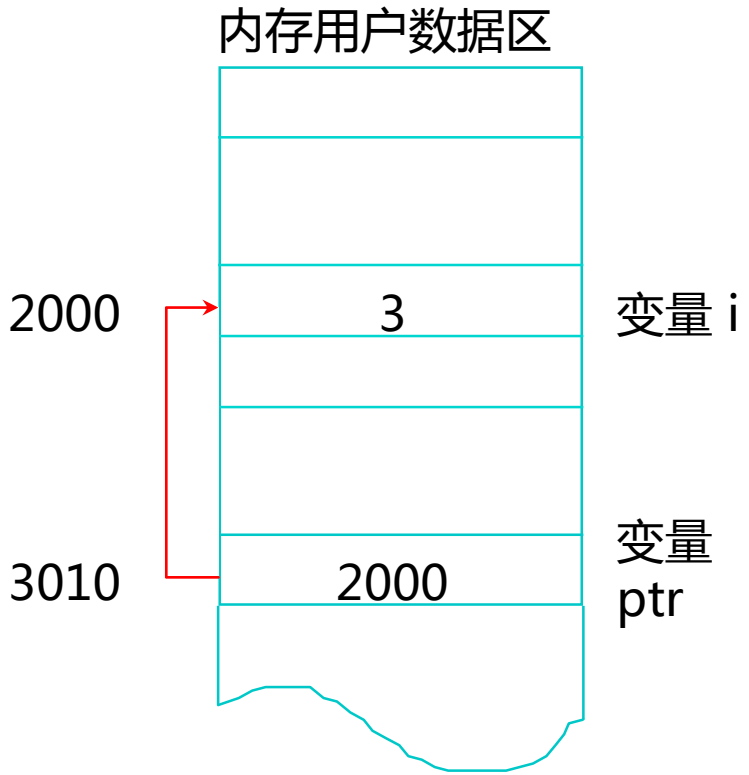


指针变量的使用

- 例：

  *ptr = 3;





与地址相关的运算——“*”和“&”

- 地址运算符：&

  例：int var;

  &var 表示变量 var 在内存中的起始地址

指针的初始化和赋值

< 6.2.4 >

指针变量的初始化

- 语法形式

  存储类型 数据类型 *指针名 = 初始地址；

- 例：

```
int *pa = &a;
```

- 注意事项
  - 用变量地址作为初值时，该变量必须在指针初始化之前已声明过，且变量类型应与指针类型一致。
  - 可以用一个已有合法值的指针去初始化另一个指针变量。
  - 不要用一个内部非静态变量去初始化 static 指针。

指针变量的赋值运算

- 语法形式
  指针名=地址
  注意：“地址”中存放的数据类型与指针类型必须相符
- 向指针变量赋的值必须是地址常量或变量，不能是普通整数。
  例如：
  - 通过地址运算“&”求得已定义的变量和对象的起始地址
  - 动态内存分配成功时返回的地址
- 例外：整数0可以赋给指针，表示空指针。
- 允许定义或声明指向 void 类型的指针。该指针可以被赋予任何类型对象的地址。
  例： `void *general;`

指针空值nullptr

- 以往用0或者NULL去表达空指针的问题：
  - C/C++的NULL宏是个被有很多潜在BUG的宏。因为有的库把其定义成整数0，有的定义成 (void*)0。在C的时代还好。但是在C++的时代，这就会引发很多问题。
- C++11使用nullptr关键字，是表达更准确，类型安全的空指针

例6-5 指针的定义、赋值与使用

```
//6_5.cpp
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
   int i;                          //定义int型数i
   int *ptr = &i;      //取i的地址赋给ptr
   i = 10;                         //int型数赋初值
   cout << "i = " << i << endl;            //输出int型数的值
   cout << "*ptr = " << *ptr << endl; //输出int型指针所指地址的内容
   return 0;
}
```

运行结果:

```
i = 10
*ptr = 10
```

例6-6 void类型指针的使用

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
   //!void voidObject;  错，不能声明void类型的变量
   void *pv;              //对，可以声明void类型的指针
   int i = 5;
   pv = &i;               //void类型指针指向整型变量
   int *pint = static_cast<int *>(pv);  //void指针转换为int指针
   cout << "*pint = " << *pint << endl;
   return 0;
}
```

指向常量的指针

- 不能通过指向常量的指针改变所指对象的值，但指针本身可以改变，可以指向另外的对象。
- 例

```
int a;
const int *p1 = &a;      //p1是指向常量的指针
int b;
p1 = &b;          //正确，p1本身的值可以改变
*p1 = 1;          //编译时出错，不能通过p1改变所指的对象
```

指针类型的常量

- 若声明指针常量，则指针本身的值不能被改变。
- 例

```
int a;
int * const p2 = &a;
p2 = &b;      //错误，p2是指针常量，值不能改变
```

指针的运算

<6.2.5>

指针的算术运算、关系运算

指针类型的算术运算

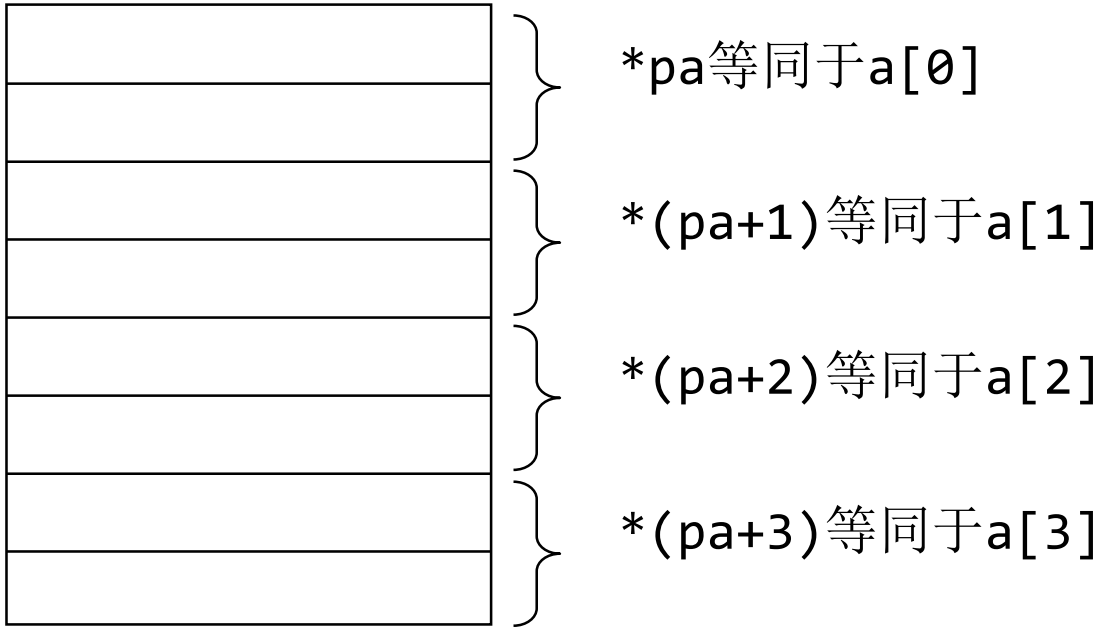
- 指针与整数的加减运算
- 指针++，--运算

指针类型的算术运算

- 指针p加上或减去n
  - 其意义是指针当前指向位置的前方或后方第n个数据的起始位置。
- 指针的++、--运算
  - 意义是指向下一个或前一个完整数据的起始。
- 运算的结果值取决于指针指向的数据类型，总是指向一个完整数据的起始位置。
- 当指针指向连续存储的同类型数据时，指针与整数的加减运和自增自减算才有意义。

指针与整数相加的含义

```
short a[4];
short *pa=a
```



指针类型的关系运算

- 指向相同类型数据的指针之间可以进行各种关系运算。
- 指向不同数据类型的指针，以及指针与一般整数变量之间的关系运算是无意义的。
- 指针可以和零之间进行等于或不等于的关系运算。

  例如：p==0或p!=0

用指针处理数组元素

<6.2.6>

数组是一组连续存储的同类型数据，可以通过指针的算术运算，使指针依次指向数组的各个元素，进而可以遍历数组。

定义指向数组元素的指针

- 定义与赋值

  例：int a[10], *pa;

  pa=&a[0]; 或 pa=a;

- 经过上述定义及赋值后
  - *pa就是a[0]，*(pa+1)就是a[1]，. . . ，*(pa+i)就是a[i].
  - a[i]，*(pa+i)，*(a+i)，pa[i]都是等效的。
- 注意：不能写 a++，因为a是数组首地址、是常量。

例6-7

设有一个int型数组a，有10个元素。用三种方法输出各元素：

- 使用数组名和下标
- 使用数组名和指针运算
- 使用指针变量

例6-7 (1) 使用数组名和下标访问数组元素

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
   int a[10] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 };
   for (int i = 0; i < 10; i++)
         cout << a[i] << "  ";
   cout << endl;
   return 0;
}
```

例6-7 (2) 使用数组名和指针运算访问数组元素

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
    int a[10] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 };
    for (int i = 0; i < 10; i++)
        cout << *(a+i) << "  ";
    cout << endl;
    return 0;
}
```

例6-7 (3) 使用指针变量访问数组元素

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
   int a[10] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 };
   for (int *p = a; p < (a + 10); p++)
         cout << *p << "  ";
   cout << endl;
   return 0;
}
```


<操作演示>

指针数组

< 6.2.7 >

指针数组

- 数组的元素是指针型

例：Point *pa[2];

由pa[0],pa[1]两个指针组成

例6-8 利用指针数组存放矩阵

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
    int line1[] = { 1, 0, 0 };          //矩阵的第一行
    int line2[] = { 0, 1, 0 };          //矩阵的第二行
    int line3[] = { 0, 0, 1 };          //矩阵的第三行

    //定义整型指针数组并初始化
    int *pLine[3] = { line1, line2, line3 };
    cout << "Matrix test:" << endl;
   //输出矩阵
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
      for (int j = 0; j < 3; j++)
        cout << pLine[i][j] << " ";
     cout << endl;
    }
    return 0;
}
```

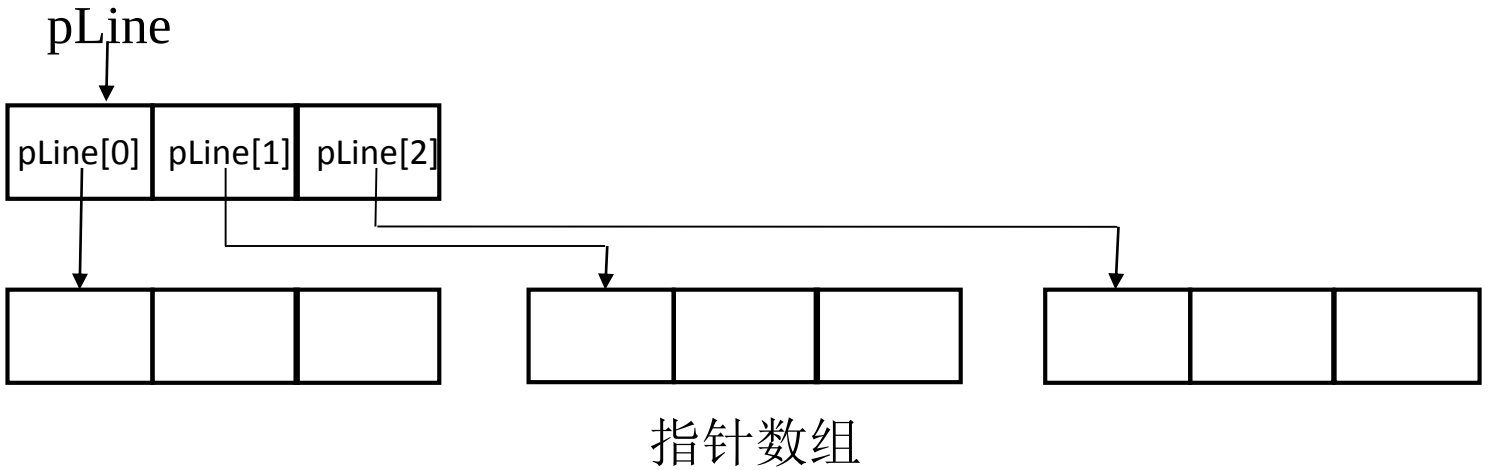
输出结果为：

```
Matrix test:
1,0,0
0,1,0
0,0,1
```

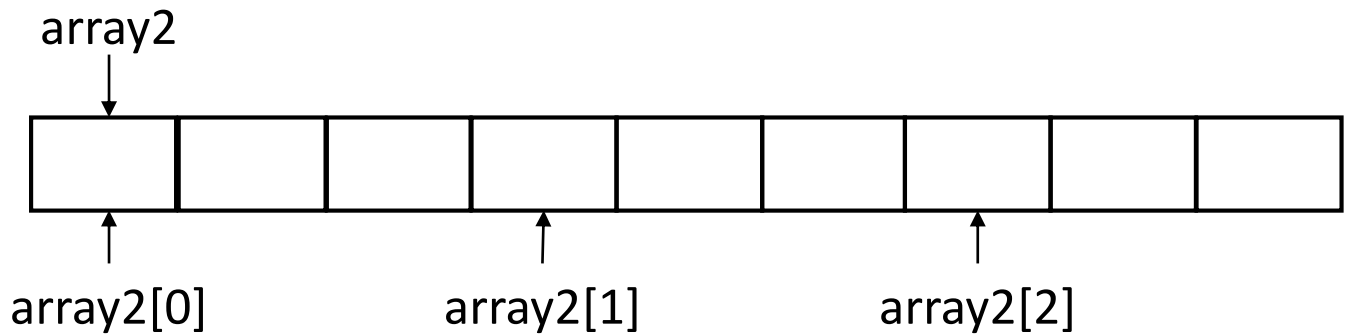
指针数组与二维数组对比

对比例6-8中的指针数组和如下二维数组

```
int array2[3][3] ={ { 1,0,0 }, { 0,1,0 }, { 0,0,1 } };
```



指针数组



二维数组

以指针作为函数参数

<6.2.8>

为什么需要用指针做参数？

- 需要数据双向传递时（引用也可以达到此效果）
  - 用指针作为函数的参数，可以使被调函数通过形参指针存取主调函数中实参指针指向的数据，实现数据的双向传递
- 需要传递一组数据，只传首地址运行效率比较高
  - 实参是数组名时形参可以是指针

例6-10 读入三个浮点数，将整数部分和小数部分分别输出

```
#include <iostream>
using namespace std;
void splitFloat(float x, int *intPart, float *fracPart) {
   *intPart = static_cast<int>(x); //取x的整数部分
   *fracPart = x - *intPart; //取x的小数部分
}
int main() {
  cout << "Enter 3 float point numbers:" << endl;
  for(int i = 0; i < 3; i++) {
    float x, f;
    int n;
    cin >> x;
    splitFloat(x, &n, &f);          //变量地址作为实参
    cout << "Integer Part = " << n << " Fraction Part = " << f << endl;
  }
  return 0;
}
```

例: 指向常量的指针做形参

```
#include<iostream>
using namespace std;
const int N = 6;
void print(const int *p, int n);
int main() {
  int array[N];
  for (int i = 0; i < N; i++)
        cin>>array[i];
  print(array, N);
  return 0;
}
void print(const int *p, int n) {
  cout << "{ " << *p;
  for (int i = 1; i < n; i++)
        cout << ", " << *(p+i);
  cout << " }" << endl;
}
```

指针类型的函数

< 6.2.9 >

指针函数的定义形式

```
存储类型  数据类型  *函数名()
{ //函数体语句
}
```

注意

- 不要将非静态局部地址用作函数的返回值
  - 错误的例子：在子函数中定义局部变量后将其地址返回给主函数，就是非法地址

错误的例子

```
int main(){
    int* function();
    int* ptr= function();
    *prt=5; //危险的访问！
    return 0;
}
int* function(){
    int local=0; //非静态局部变量作用域和寿命都仅限于本函数体内
    return &local;
}//函数运行结束时，变量local被释放
```

注意

- 返回的指针要确保在主调函数中是有效、合法的地址
  - 正确的例子：

    主函数中定义的数组，在子函数中对该数组元素进行某种操作后，返回其中一个元素的地址，这就是合法有效的地址

正确的例子1

```
#include<iostream>
using namespace std;
int main(){
    int array[10]; //主函数中定义的数组
    int* search(int* a, int num);
    for(int i=0; i<10; i++)
      cin>>array[i];
    int* zeroptr= search(array, 10);  //将主函数中数组的首地址传给子函数
    return 0;
}
int* search(int* a, int num){ //指针a指向主函数中定义的数组
    for(int i=0; i<num; i++)
      if(a[i]==0)
        return &a[i]; //返回的地址指向的元素是在主函数中定义的
}//函数运行结束时，a[i]的地址仍有效
```

注意

- 返回的指针要确保在主调函数中是有效、合法的地址
  - 正确的例子：

    在子函数中通过动态内存分配new操作取得的内存地址返回给主函数是合法有效的，但是内存分配和释放不在同一级别，要注意不能忘记释放，避免内存泄漏

正确的例子2

```
#include<iostream>
using namespace std;
int main(){
    int* newintvar();
    int* intptr= newintvar();
    *intptr=5; //访问的是合法有效的地址
    delete intptr; //如果忘记在这里释放，会造成内存泄漏
    return 0;
}
int* newintvar (){
    int* p=new int();
    return p; //返回的地址指向的是动态分配的空间
}//函数运行结束时，p中的地址仍有效
```

指向函数的指针

< 6.2.10 >

函数指针的定义

- 定义形式

  存储类型　数据类型　(*函数指针名)();

- 含义
  - 函数指针指向的是程序代码存储区。

函数指针的典型用途——实现函数回调

- 通过函数指针调用的函数
  - 例如将函数的指针作为参数传递给一个函数，使得在处理相似事件的时候可以灵活的使用不同的方法。
- 调用者不关心谁是被调用者
  - 需知道存在一个具有特定原型和限制条件的被调用函数。

函数指针举例

编写一个计算函数compute，对两个整数进行各种计算。有一个形参为指向具体算法函数的指针，根据不同的实参函数，用不同的算法进行计算

编写三个函数：求两个整数的最大值、最小值、和。分别用这三个函数作为实参，测试compute函数

函数指针举例

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

int compute(int a, int b, int(*func)(int, int))
{  return func(a, b);}

int max(int a, int b) // 求最大值
{  return ((a > b) ? a: b);}

int min(int a, int b) // 求最小值
{  return ((a < b) ? a: b);}

int sum(int a, int b) // 求和
{  return a + b;}
```

函数指针举例

```
int main()
{
    int a, b, res;
    cout << "请输入整数a："; cin >> a;
    cout << "请输入整数b："; cin >> b;

    res = compute(a, b, & max);
    cout << "Max of " << a << " and " << b << " is " << res << endl;
    res = compute(a, b, & min);
    cout << "Min of " << a << " and " << b << " is " << res << endl;
    res = compute(a, b, & sum);
    cout << "Sum of " << a << " and " << b << " is " << res << endl;
}
```

对象指针

< 6.2.11 >

对象指针

- 对象指针定义形式

  类名　*对象指针名；

  例:　Point a(5,10);

  Piont *ptr;

  ptr=&a;

- 通过指针访问对象成员

  对象指针名->成员名

  ptr->getx() 相当于 (*ptr).getx();

例6-12使用指针来访问Point类的成员

```
//6_12.cpp
#include <iostream>
using namespace std;
class Point {
public:
  Point(int x = 0, int y = 0) : x(x), y(y) { }
    int getX() const { return x; }
    int getY() const { return y; }
private:
    int x, y;
};
int main() {
    Point a(4, 5);
    Point *p1 = &a;      //定义对象指针，用a的地址初始化
    cout << p1->getX() << endl;//用指针访问对象成员
    cout << a.getX() << endl; //用对象名访问对象成员
    return 0;
}
```

this指针

- 隐含于类的每一个非静态成员函数中。
- 指出成员函数所操作的对象。
  - 当通过一个对象调用成员函数时，系统先将该对象的地址赋给this指针，然后调用成员函数，成员函数对对象的数据成员进行操作时，就隐含使用了this指针。
- 例如：Point类的getX函数中的语句：

```
return x;
```

相当于：

```
return this->x;
```

曾经出现过的错误例子

```
class Fred;   //前向引用声明
class Barney {
    Fred x;      //错误：类Fred的声明尚不完善
};
class Fred {
    Barney y;
};
```

正确的程序

```
class Fred;      //前向引用声明
class Barney {
    Fred *x;
 };
class Fred {
    Barney y;
 };
```

动态内存分配

< 6.3 >

动态申请内存操作符 new

- new 类型名T（初始化参数列表）
- 功能：在程序执行期间，申请用于存放T类型对象的内存空间，并依初值列表赋以初值。
- 结果值：成功：T类型的指针，指向新分配的内存；失败：抛出异常。

释放内存操作符delete

- delete 指针p
- 功能：释放指针p所指向的内存。p必须是new操作的返回值。

例6-16 动态创建对象举例

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Point {
public:
    Point() : x(0), y(0) {
        cout<<"Default Constructor called."<<endl;
    }
    Point(int x, int y) : x(x), y(y) {
        cout<< "Constructor called."<<endl;
    }
    ~Point() { cout<<"Destructor called."<<endl; }
    int getX() const { return x; }
    int getY() const { return y; }
    void move(int newX, int newY) {
        x = newX;
        y = newY;
    }
private:
    int x, y;
};
```

例6-16 动态创建对象举例

```
int main() {
   cout << "Step one: " << endl;
   Point *ptr1 = new Point;   //调用默认构造函数
   delete ptr1;   //删除对象，自动调用析构函数

   cout << "Step two: " << endl;
   ptr1 = new Point(1,2);
   delete ptr1;

   return 0;
}
```

运行结果：

```
Step One:
Default Constructor called.
Destructor called.
Step Two:
Constructor called.
Destructor called.
```

申请和释放动态数组

- 分配：new 类型名T [数组长度]
  - 数组长度可以是任何表达式，在运行时计算
- 释放：delete[] 数组名p
  - 释放指针p所指向的数组。
    p必须是用new分配得到的数组首地址。

例6-17 动态创建对象数组举例

```
#include<iostream>
using namespace std;
class Point {   //类的声明同例6-16，略 };
int main() {
   Point *ptr = new Point[2];      //创建对象数组
   ptr[0].move(5, 10);  //通过指针访问数组元素的成员
   ptr[1].move(15, 20); //通过指针访问数组元素的成员
   cout << "Deleting..." << endl;
   delete[] ptr;              //删除整个对象数组
   return 0;
}
```

运行结果：

```
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Deleting...
Destructor called.
Destructor called.
```

动态创建多维数组

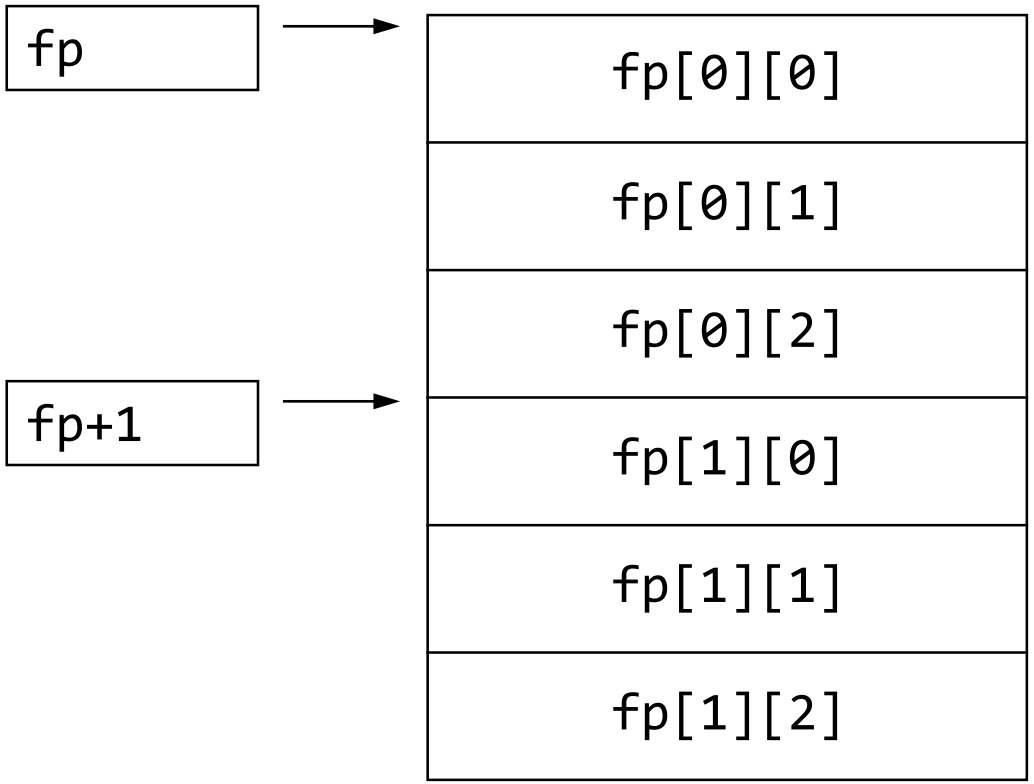
new 类型名T[第1维长度][第2维长度]…；

- 如果内存申请成功，new运算返回一个指向新分配内存首地址的指针。

例如：

```
char (*fp)[3];
fp = new char[2][3];
```

```
char (*fp)[3];
```



例6-19 动态创建多维数组

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
  int (*cp)[9][8] = new int[7][9][8];
  for (int i = 0; i < 7; i++)
     for (int j = 0; j < 9; j++)
        for (int k = 0; k < 8; k++)
           *(*(*(cp + i) + j) + k) = ( i * 100 + j * 10 + k);
  for (int i = 0; i < 7; i++) {
     for (int j = 0; j < 9; j++) {
        for (int k = 0; k < 8; k++)
           cout << cp[i][j][k] << "  ";
        cout << endl;
     }
     cout << endl;
   }
   delete[] cp;
   return 0;
}
```

将动态数组封装成类

- 更加简洁，便于管理
  - 建立和删除数组的过程比较繁琐
  - 封装成类后更加简洁，便于管理
- 可以在访问数组元素前检查下标是否越界
  - 用assert来检查，assert只在调试时生效

例6-18 动态数组类

```
#include <iostream>
#include <cassert>
using namespace std;
class Point {   //类的声明同例6-16 …  };
class ArrayOfPoints {        //动态数组类
public:
    ArrayOfPoints(int size) : size(size) {
            points = new Point[size];
    }
    ~ArrayOfPoints() {
            cout << "Deleting..." << endl;
            delete[] points;
    }
    Point& element(int index) {
            assert(index >= 0 && index < size);
            return points[index];
    }
private:
    Point *points; //指向动态数组首地址
    int size;                    //数组大小
};
```

例6-18 动态数组类

```
int main() {
   int count;
   cout << "Please enter the count of points: ";
   cin >> count;
   ArrayOfPoints points(count); //创建数组对象
   points.element(0).move(5, 0);   //访问数组元素的成员
   points.element(1).move(15, 20);  //访问数组元素的成员
   return 0;
}
```

思考：为什么element函数返回对象的引用？

- **返回“引用”可以用来操作封装数组对象内部的数组元素。如果返回“值”则只是返回了一个“副本”，通过“副本”是无法操作原来数组中的元素的**

运行结果：

```
Please enter the number of points:2
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Deleting...
Destructor called.
Destructor called.
```

智能指针

- 显式管理内存在是能上有优势，但容易出错。
- C++11提供智能指针的数据类型，对垃圾回收技术提供了一些支持，实现一定程度的内存管理

C++11的智能指针

- unique_ptr ：不允许多个指针共享资源，可以用标准库中的move函数转移指针
- shared_ptr ：多个指针共享资源
- weak_ptr ：可复制shared_ptr，但其构造或者释放对资源不产生影响

vector对象

<6.4>

为什么需要vector？

- 封装任何类型的动态数组，自动创建和删除。
- 数组下标越界检查。
- 例6-18中封装的ArrayOfPoints也提供了类似功能，但只适用于一种类型的数组。

vector对象的定义

- vector<元素类型> 数组对象名(数组长度);
- 例：

  vector<int> arr(5)
  建立大小为5的int数组

vector对象的使用

- 对数组元素的引用
  - 与普通数组具有相同形式：
    - vector对象名 [下标表达式]
  - vector数组对象名不表示数组首地址
- 获得数组长度
  - 用size函数
    - 数组对象名.size()

例6-20 vector应用举例

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

//计算数组arr中元素的平均值
double average(const vector<double> &arr)
{
   double sum = 0;
   for (unsigned i = 0; i<arr.size(); i++)
         sum += arr[i];
   return sum / arr.size();
}
```

例6-20 vector应用举例

```
int main() {
    unsigned n;
    cout << "n = ";
    cin >> n;

    vector<double> arr(n);          //创建数组对象
    cout << "Please input " << n << " real numbers:" << endl;
    for (unsigned i = 0; i < n; i++)
        cin >> arr[i];

    cout << "Average = " << average(arr) << endl;
    return 0;
}
```

基于范围的for循环配合auto举例

```
#include <vector>
#include <iostream>
int main()
{
std::vector<int> v = {1,2,3};
for(auto i = v.begin(); i != v.end(); ++i)
    std::cout << *i << std::endl;

for(auto e : v)
    std::cout << e << std::endl;
}
```

对象复制与移动

< 6.5 >

深层复制与浅层复制

- 浅层复制
  - 实现对象间数据元素的一一对应复制。
- 深层复制
  - 当被复制的对象数据成员是指针类型时，不是复制该指针成员本身，而是将指针所指对象进行复制。

例6-21 对象的浅层复制

```
#include <iostream>
#include <cassert>
using namespace std;
class Point {
   //类的声明同例6-16
   //……
};
class ArrayOfPoints {
   //类的声明同例6-18
   //……
};
```

例6-21 对象的浅层复制

```
int main() {
    int count;
    cout << "Please enter the count of points: ";
    cin >> count;
    ArrayOfPoints pointsArray1(count); //创建对象数组
    pointsArray1.element(0).move(5,10);
    pointsArray1.element(1).move(15,20);

    ArrayOfPoints pointsArray2(pointsArray1); //创建副本

   cout << "Copy of pointsArray1:" << endl;
    cout << "Point_0 of array2: " << pointsArray2.element(0).getX() << ", "
         << pointsArray2.element(0).getY() << endl;
    cout << "Point_1 of array2: " << pointsArray2.element(1).getX() << ", "
         << pointsArray2.element(1).getY() << endl;
```

例6-21 对象的浅层复制

```
    pointsArray1.element(0).move(25, 30);
    pointsArray1.element(1).move(35, 40);

   cout<<"After the moving of pointsArray1:"<<endl;

    cout << "Point_0 of array2: " << pointsArray2.element(0).getX() << ", "
         << pointsArray2.element(0).getY() << endl;
    cout << "Point_1 of array2: " << pointsArray2.element(1).getX() << ", "
         << pointsArray2.element(1).getY() << endl;

    return 0;
}
```

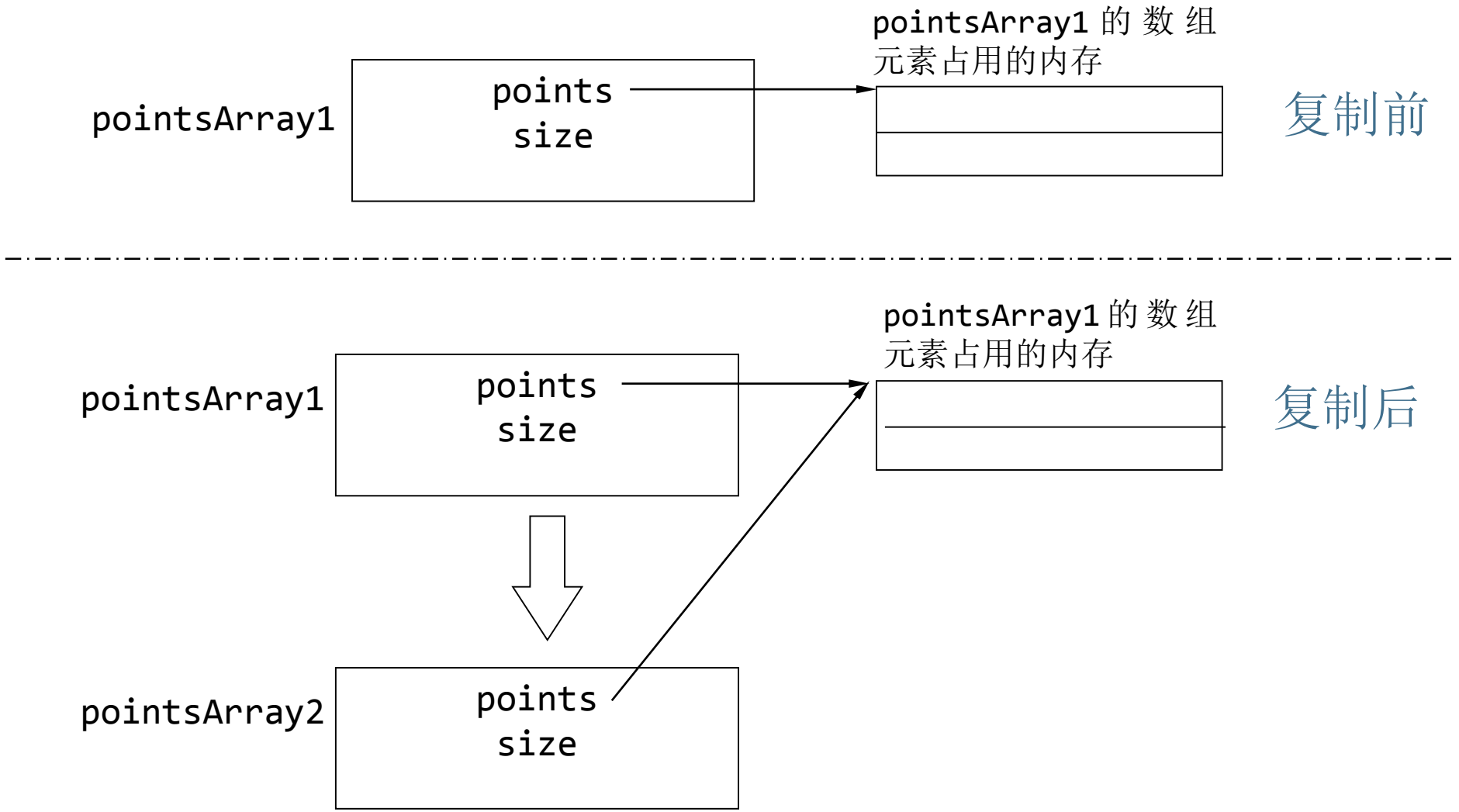
例6-21 对象的浅层复制

运行结果如下：

```
Please enter the number of points:2
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Copy of pointsArray1:
Point_0 of array2: 5, 10
Point_1 of array2: 15, 20
After the moving of pointsArray1:
Point_0 of array2: 25, 30
Point_1 of array2: 35, 40
Deleting...
Destructor called.
Destructor called.
Deleting...
```

接下来程序出现运行错误。

例6-21 对象的浅层复制



例6-22 对象的深层复制

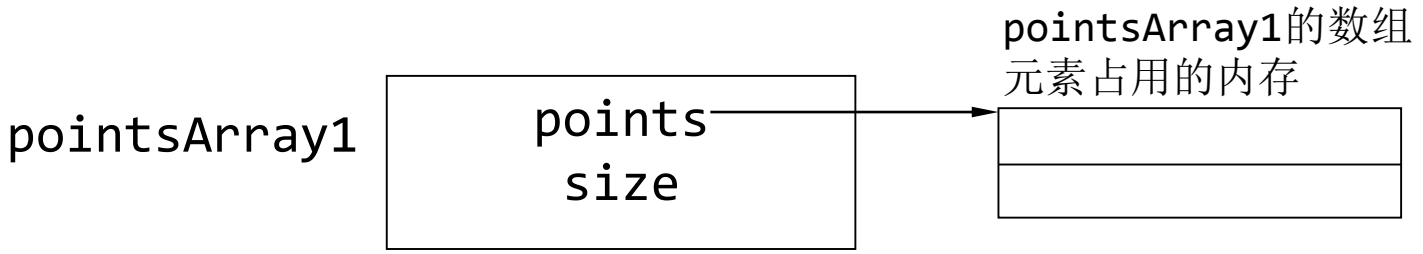
```
#include <iostream>
#include <cassert>
using namespace std;
class Point { //类的声明同例6-16
};
class ArrayOfPoints {
public:
   ArrayOfPoints(const ArrayOfPoints& pointsArray);
    //其他成员同例6-18
};
ArrayOfPoints::ArrayOfPoints(const ArrayOfPoints& v) {
    size = v.size;
    points = new Point[size];
    for (int i = 0; i < size; i++)
            points[i] = v.points[i];
}
int main() {
    //同例6-20
}
```

例6-22 对象的深层复制

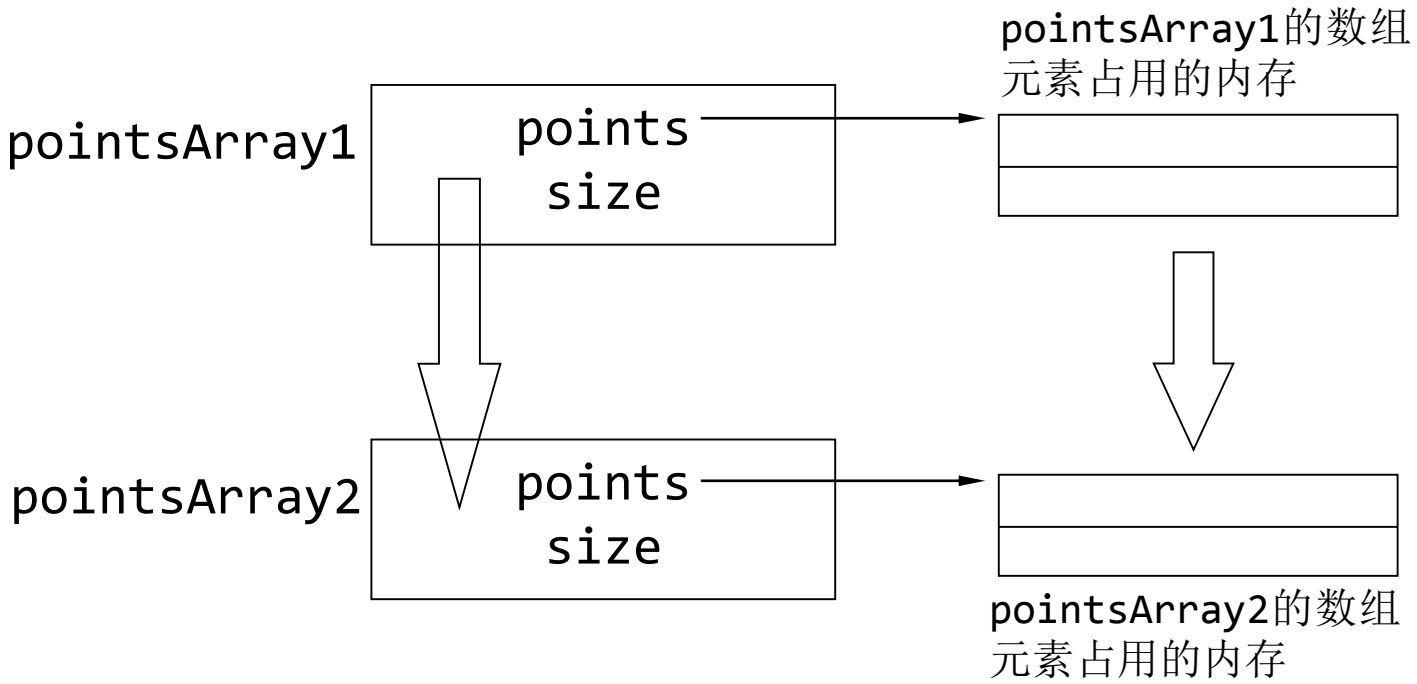
程序的运行结果如下：

```
Please enter the number of points:2
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Default Constructor called.
Copy of pointsArray1:
Point_0 of array2: 5, 10
Point_1 of array2: 15, 20
After the moving of pointsArray1:
Point_0 of array2: 5, 10
Point_1 of array2: 15, 20
Deleting...
Destructor called.
Destructor called.
Deleting...
Destructor called.
Destructor called.
```

例6-22 对象的深层复制



复制前



复制后

移动构造

在现实中有很多这样的例子，我们将钱从一个账号转移到另一个账号，将手机SIM卡转移到另一台手机，将文件从一个位置剪切到另一个位置……移动构造可以减少不必要的复制，带来性能上的提升。

移动构造

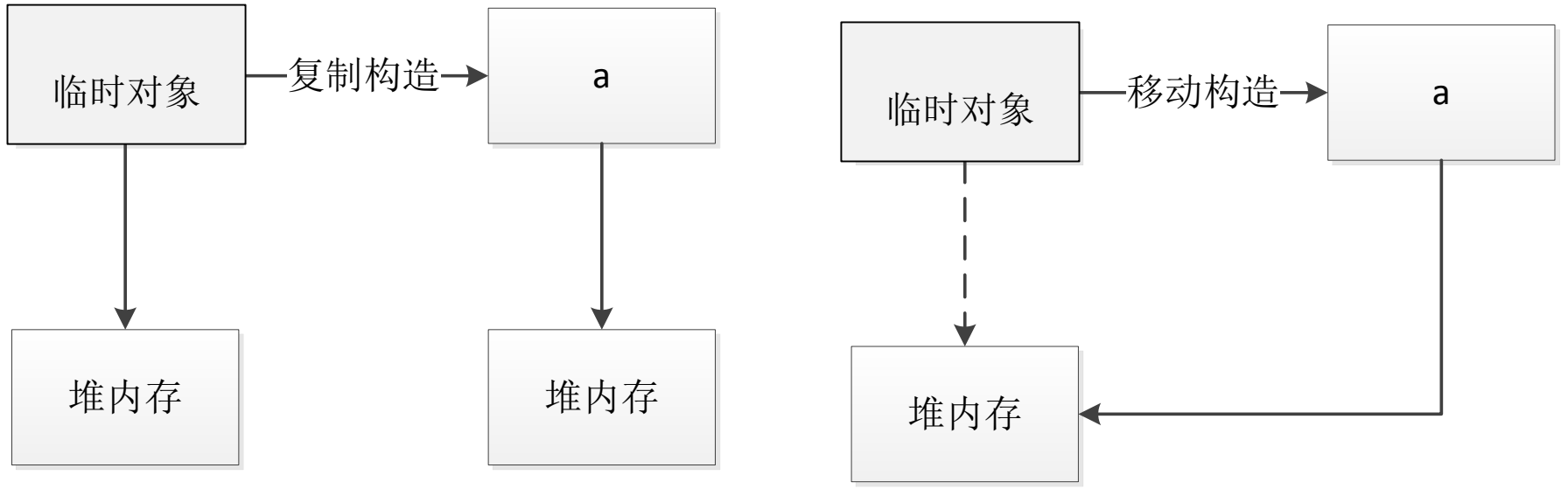
- C++11标准中提供了一种新的构造方法——移动构造。
- C++11之前，如果要将源对象的状态转移到目标对象只能通过复制。在某些情况，我们没有必要复制对象——只需要移动它们。

移动构造

- C++11引入移动语义：
  - 源对象资源的控制权全部交给目标对象
- 两个移动相关的函数：
  - 移动构造函数
  - 移动赋值运算符（在第8章介绍）

问题与解决

- 当临时对象在被复制后，就不再被利用了。我们完全可以把临时对象的资源直接移动，这样就避免了多余的复制操作。



移动构造

- 什么时候该触发移动构造？
  - 有可被利用的临时对象

移动构造

- **移动构造函数:**
  - class_name (class_name &&)

例：函数返回含有指针成员的对象

- 版本一：使用深层复制构造函数
  - 返回时构造临时对象，动态分配将临时对象返回到主调函数，然后删除临时对象。
- 版本二：使用移动构造函数
  - 将要返回的局部对象转移到主调函数，省去了构造和删除临时对象的过程。

版本一：使用复制构造

```
#include<iostream>
using namespace std;
class IntNum {
public:
        IntNum(int x = 0) : xptr(new int(x)){ //构造函数
                cout << "Calling constructor..." << endl;
        }
        IntNum(const IntNum & n) : xptr(new int(*n.xptr)){//复制构造函数
                cout << "Calling copy constructor..." << endl;
        };
        ~IntNum(){ //析构函数
                delete xptr;
                cout << "Destructing..." << endl;
        }
        int getInt() {   return *xptr;   }
private:
        int *xptr;
};
```

版本一：使用复制构造

```
//返回值为IntNum类对象
IntNum getNum() {
        IntNum a;
        return a;
}
int main() {
        cout<<getNum().getInt()<<endl;
        return 0;
}
```

运行结果：
Calling constructor...
Calling copy constructor...
Destructing...
0
Destructing...

版本二：使用移动构造

```
#include<iostream>
using namespace std;
class IntNum {
public:
        IntNum(int x = 0) : xptr(new int(x)){ //构造函数
                cout << "Calling constructor..." << endl;
        }
        IntNum(const IntNum & n) : xptr(new int(*n.xptr)){//复制构造函数
                cout << "Calling copy constructor..." << endl;
        }
        IntNum(IntNum && n): xptr( n.xptr){   //移动构造函数
                n.xptr = nullptr;
                cout << "Calling move constructor..." << endl;
        }
        ~IntNum(){ //析构函数
                delete xptr;
                cout << "Destructing..." << endl;
        }
private:
        int *xptr;
};
```

注：
- &&是右值引用
- 函数返回的临时变量是右值

版本二：使用移动构造

```
//返回值为IntNum类对象
IntNum getNum() {
IntNum a;
return a;
}
int main() {
cout << getNum().getInt() << endl; return 0;
}
```

运行结果：
Calling constructor...
Calling move constructor...
Destructing...
0
Destructing...

字符串

< 6.6 >

字符串常量

- 例："program"
- 各字符连续、顺序存放，每个字符占一个字节，以‘\0’结尾，相当于一个隐含创建的字符常量数组
- “program”出现在表达式中，表示这一char数组的首地址
- 首地址可以赋给char常量指针：
- const char *STRING1 = "program";

用字符数组存储字符串（C风格字符串）

- 例如

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

p	r	o	g	r	a	m	\0

用字符数组表示字符串的缺点

- 执行连接、拷贝、比较等操作，都需要显式调用库函数，很麻烦
- 当字符串长度很不确定时，需要用new动态创建字符数组，最后要用delete释放，很繁琐
- 字符串实际长度大于为它分配的空间时，会产生数组下标越界的错误

string类

<6.6.2 >

使用字符串类string表示字符串

string实际上是对字符数组操作的封装

string类常用的构造函数

- string();　　//默认构造函数，建立一个长度为0的串
  例：
  string s1;
- string(const char *s);　//用指针s所指向的字符串常量初始化string对象
  例：
  string s2 = “abc”;
- string(const string& rhs);　//复制构造函数
  例：
  string s3 = s2;

string类常用操作

- s + t　　将串s和t连接成一个新串
- s = t　　用t更新s
- s == t　　判断s与t是否相等
- s != t　　判断s与t是否不等
- s < t　　判断s是否小于t（按字典顺序比较）
- s <= t　　判断s是否小于或等于t（按字典顺序比较）
- s > t　　判断s是否大于t（按字典顺序比较）
- s >= t　　判断s是否大于或等于t（按字典顺序比较）
- s[i] 访问串中下标为i的字符
- 例：
  - string s1 = "abc", s2 = "def";
  - string s3 = s1 + s2;　　//结果是"abcdef"
  - bool s4 = (s1 < s2);　　//结果是true
  - char s5 = s2[1];　　//结果是'e'

例6-23 string类应用举例

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

//根据value的值输出true或false
//title为提示文字
inline void test(const char *title, bool
   value)
{
   cout << title << " returns "
     << (value ? "true" : "false") << endl;
}
```

```
int main() {
   string s1 = "DEF";
   cout << "s1 is " << s1 << endl;
   string s2;
   cout << "Please enter s2: ";
   cin >> s2;
   cout << "length of s2: " << s2.length() << endl;

   //比较运算符的测试
   test("s1 <= \"ABC\"", s1 <= "ABC");
   test("\"DEF\" <= s1", "DEF" <= s1);

  //连接运算符的测试
   s2 += s1;
   cout << "s2 = s2 + s1: " << s2 << endl;
   cout << "length of s2: " << s2.length() << endl;
   return 0;
}
```

考虑：如何输入整行字符串？

- 用cin的>>操作符输入字符串，会以空格作为分隔符，空格后的内容会在下一回输入时被读取

输入整行字符串

- getline可以输入整行字符串（要包string头文件），例如：
  - getline(cin, s2);
- 输入字符串时，可以使用其它分隔符作为字符串结束的标志（例如逗号、分号），将分隔符作为getline的第3个参数即可，例如：
  - getline(cin, s2, ',');

例6-24 用getline输入字符串

```
include <iostream>
#include <string>
using namespace std;
int main() {
   for (int i = 0; i < 2; i++){
         string city, state;
         getline(cin, city, ',');
         getline(cin, state);
         cout << "City:" << city <<   “  State:" << state << endl;
   }
   return 0;
}
```

运行结果：
Beijing,China
City: Beijing State: China
San Francisco,the United States
City: San Francisco State: the United States

小结

本章主要内容

- 数组
- 指针
- 动态存储分配
- 指针与数组
- 指针与函数
- 字符串