step further

专题

起步：

认知与体验（硬件、软件、程序与C语言）

进阶：

判断与推理（流程控制方法、语句）

抽象与联系（模块设计方法、函数）

表达与转换（基本操作、数据类型）

提高：

构造与访问（**数组**、指针、结构）

归纳与推广（程序设计的本质）

数组及其应用

- 一维数组
- 二维数组
- 多维数组

，又如，对于较大的数组（参见第5章），
尽量用float型代替double型以节省存储空间

- **数组的应用**
  - 可以利用数组存储**一组有序数据**
    - 基于数组的排序
    - 斐波那契数求解
    - 矩阵相乘（二维数组）
    - 杨辉三角（二维数组）
    - …
  - 可以利用数组存储**一组有序标志，以对应一组数据的状态**
    - 用筛法求素数
    - 约瑟夫问题求解
    - 鞍点（二维数组）
    - …

- **向量**：线性代数中，指 n 个实数组成的有序数据群体

  $\alpha = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$，其中 a_i 称为向量 α 的第 i 个分量，i 为**下标**

  （物理中，只有大小没有方向的量称为标量；既有大小又有方向的量叫做向量/矢量）

- **矩阵**：用来表示具有位置关系的同类数据，一般是由方程组的系数及常数所构成的方阵，通过矩阵变换来解线性方程组既方便，又直观，例如对于方程组：
  - $a_1x+b_1y+c_1z=d_1$
  - $a_2x+b_2y+c_2z=d_2$
  - $a_3x+b_3y+c_3z=d_3$

  可构造一个矩阵：

  $$\begin{matrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 \end{matrix}$$

- 如何表示向量和矩阵这样的数据？用基本类型来表示数据的各个分量？

  - 变量数量太多；
  - 独立的变量之间缺乏显式的联系，从而降低了程序的可读性和可维护性，不利于数据操作流程的设计。

```
int u, v, w, x, y, s = 0;
scanf("%d…", &u, &v, &w, &x, &y);
s = u + v + w + x + y;
printf("%.2f \n", s / 5.0);
```

  - 不能保留各个分量

```
int z, s = 0;
for(int i = 0; i < 5; ++i)
{
      scanf("%d", &z);
      s += z;
}
printf("%.2f \n", s / 5.0);
```

- C语言用数组类型（简称数组，array）描述这种由多个同类分量构成的数据群体。

```
int a_group[5], s = 0;
for(int i=0; i < 5; ++i)
{
  scanf("%d", &a_group[i]);
  s += a_group[i];
}
printf("%.2f \n", s / 5.0);
```

```
#define N 5

int a_group[N], s = 0;
for(int i=0; i < N; ++i)
{
     scanf("%d", &a_group[i]);
     s += a_group[i];
}
printf("%.2f \n", (float)s / N);
```

- 它是一种由程序员构造出来的派生类型，具体包括一维数组、二维数组和多维数组，可用来定义相应的数组变量（通常也简称为数组）。

- 一个数组包括多个**类型相同**的**元素**。元素的类型为数组的**基类型**。每个元素由一个或多个索引（index，即**下标**）唯一标识。

- 一个数组中的所有元素在内存中占据**连续的空间**。

- 元素的个数为**数组的长度**，一般为大于1的常量。从C99标准开始允许数组的长度为变量，不过必须在定义数组前确定该变量的值，以便分配空间。VC6、VS2008、TC等开发环境中，数组长度需为常量，DevC++等开发环境允许数组长度为变量。

- 通常情况下，对数组**不能进行整体操作**。

一维数组

- 一维数组是常见的数组形式，用来表示向量这类数据。

- 一维数组类型的构造
  - 一维数组类型由元素类型关键字、一个中括号和一个整数（表示数组的长度）构造而成。
  - 可以给构造好的数组类型取一个别名，作为数组类型标识符，C语言规定该别名写在中括号前边。
  - 比如，

```
typedef int A[6];
//A是由6个int型元素所构成的一维数组类型标识符
```

一维数组变量的定义

```
typedef int [6] A;
```

- 先构造类型，再定义变量，便于定义多个同类型变量

```
typedef int A[6];
A a;              //定义了一个一维数组a
```

- 构造类型的同时定义变量

```
int a[6];     // int、[]和6构造了一个一维数组类型
              //并用该类型定义了一个一维数组a
```

  - 一维数组名（标识符a），可以代表第一个元素在内存的地址

```
printf("%d \n", a);
```

2293416

```
printf("%x \n", a);
```

22fea8

- 程序执行到数组定义处，即意味着系统要在内存为该数组分配一定大小的空间，以准备存储其各元素的值。

```
int a[6];
```

- 数组所占内存空间的大小可以用sizeof操作符来计算。比如，

```
int a[6];
printf("%d \n", sizeof(a)); //输出数组a所占内存字节数24
```

一维数组的初始化

- 用一对花括号把元素的初始值括起来
  - 比如，`int a[6] = {1, 2, 3, 4, 5, 6};`

- 如果每个元素都进行了初始化，则数组长度可以省略
  - 比如， `int a[] = {1, 2, 3, 4, 5, 6};`

- 初始化表中的初始值个数可以少于数组长度，这种情况下，后部分数组元素初始化成0
  - 比如，`int a[6] = {1, 2, 3};`

```
//前三个元素为1、2、3，后三个元素均为0
```

一维数组的操作

- 不能进行整体操作
  - `s += a;` //不能这样求和

```
int a[6] = {1, 2, 3, 4, 5, 6};
```

- **一般采用循环流程依次操作数组的元素。**
  - 访问数组元素的格式为：　　<数组名>**[<下标>]**
    - 比如，a[i]表示自a开始的第i+1个元素（i：0~5）

      int a[6];

      a[0]、a[1]、a[2]、a[3]、a[4]、a[5]
    - [ ]　为下标操作符，不表示数组的长度
    - <下标>　为整型表达式，常常表现为循环变量，下标为**0**时表示第一个元素，下标为N-1时表示长度为N的数组的最后一个元素。
    - 如果下标为N则不表示长度为N的数组中的某个元素，即**越界**。C语言一般不对下标是否越界进行检查，程序员必须仔细处置这个问题。

- **对于数组元素的依次访问通常又叫数组的遍历**（travel）

例5.1 求某班50位同学某门课的平均成绩。

```
…
#define N 50
int main( )
{    int sum = 0, score[N];
     float average;
     for(int i = 0; i < N; ++i)
     { printf("Input a score: ");
       scanf("%d", &score[i]);
       sum += score[i];
     }
     average = (float)sum / N;
     printf("%f \n", average);
     return 0; }
```

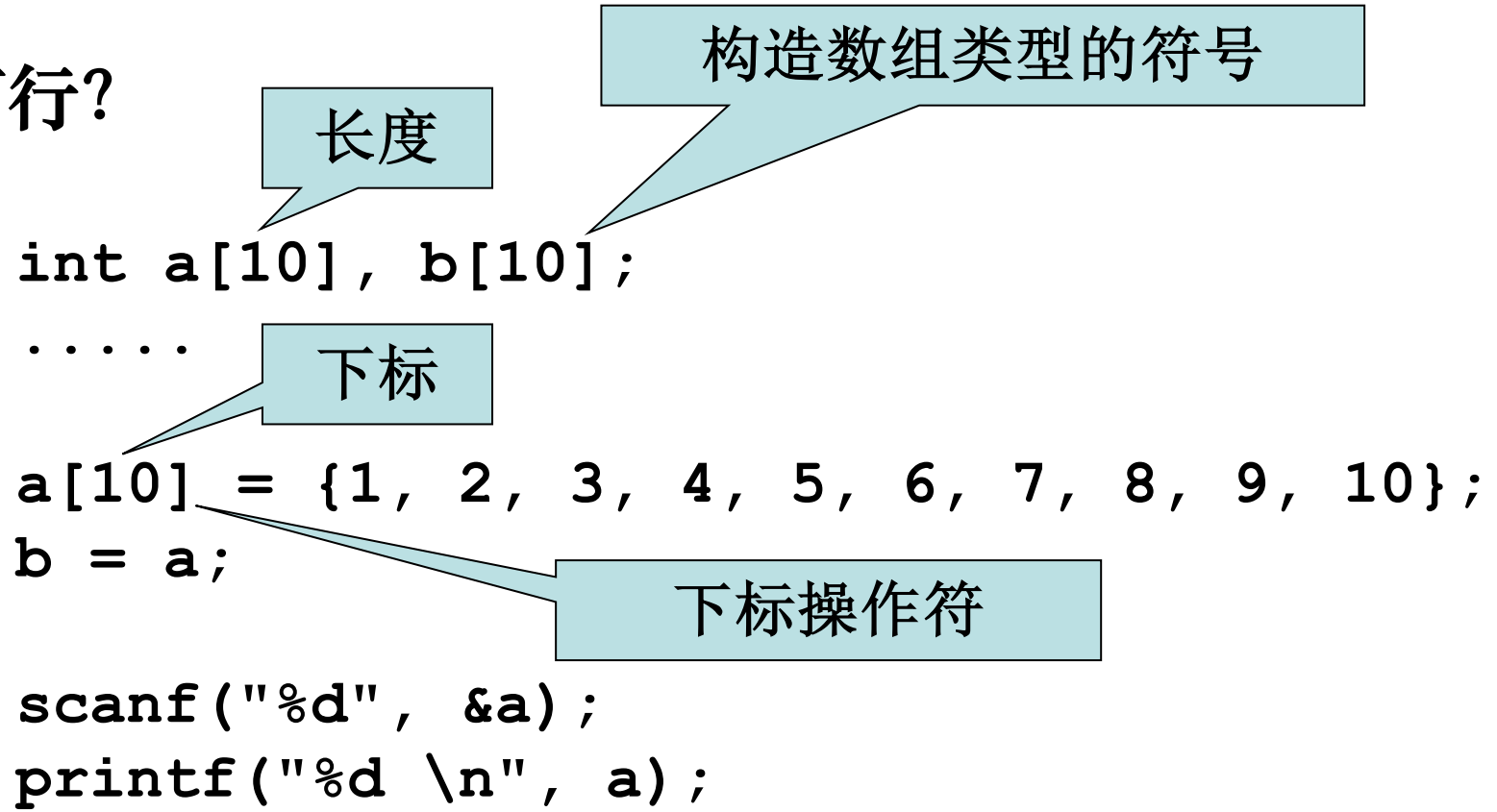
score[i]表示数组的任一元素，i是数组的下标，取值范围是0~49，即数组score有50个元素：score[0]、score[1]、…、score[49]

用符号常量表示数组的长度，易于维护，调试程序时可以将其值修改为5，以便减少输入的工作量。

用数组存储多个成绩，不仅可以使用循环流程实现每个元素的输入与累加，还可以保证后续程序可以继续访问每个成绩

思考：

- 可行?


构造数组类型的符号
长度
int a[10], b[10];
.....
下标
a[10] = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
b = a;
下标操作符
scanf("%d", &a);
printf("%d \n", a);

重点

- 当一维数组作为函数的参数在函数之间传递数据时，一般的做法是用**一维数组的声明**（不必指定长度）和**一个整型变量**的定义作为被调用函数的形参，调用者需要把一个**一维数组的名称**以及数组**元素的个数**传给被调用函数。

例5.2 求一维数组的最大值。

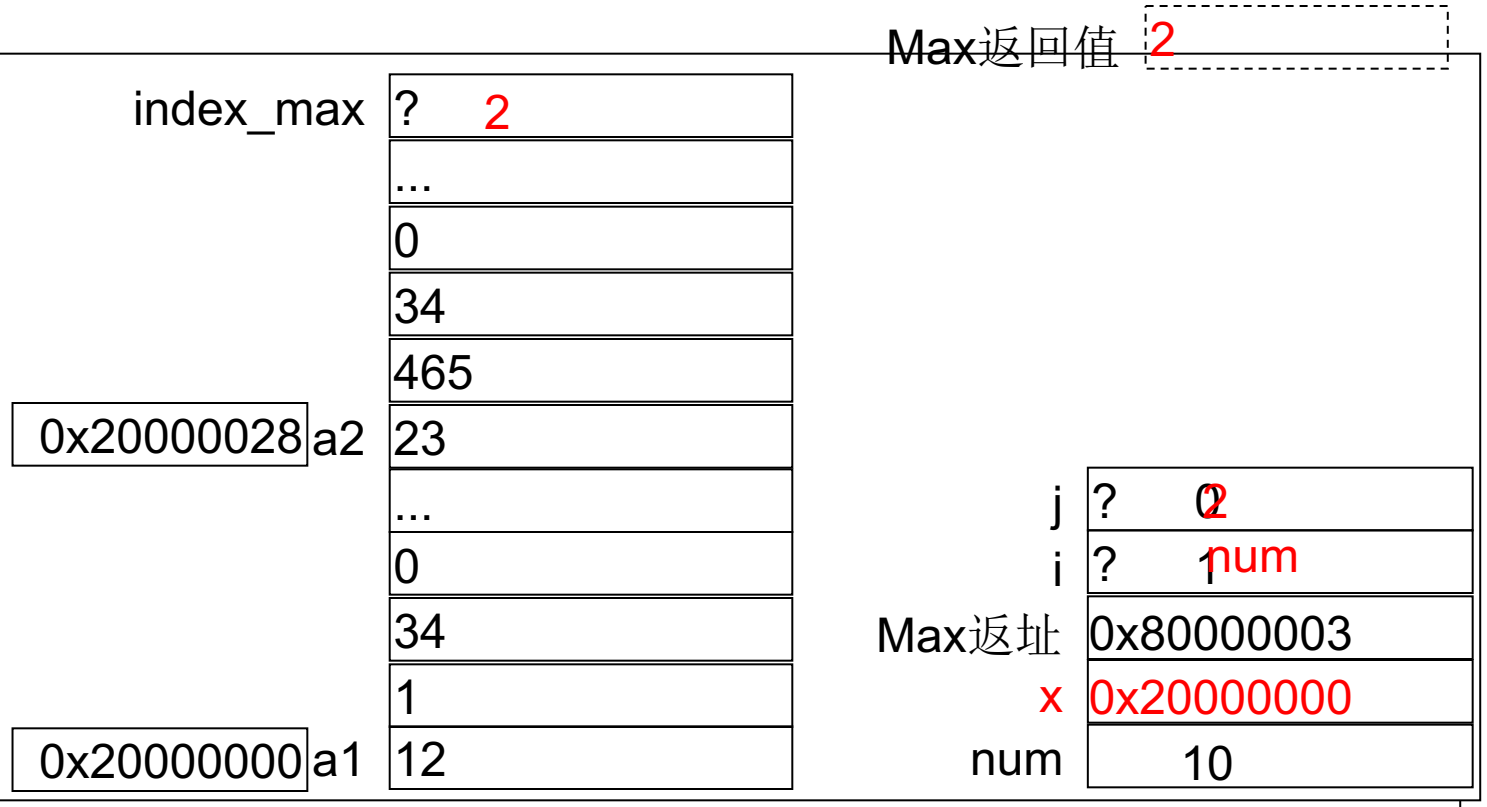
```
…
int Max(int x[ ], int num);
int main( )
{
  int a1[10] = {12,1,34}, a2[20] = {23,465,34}, index_max;
  index_max = Max(a1, 10);
  printf("数组a1的最大元素是: %d \n", a1[index_max]);
  index_max = Max(a2, 20);
  printf("数组a2的最大元素是: %d \n", a2[index_max]);
  return 0;
}
```

```
int Max(int x[ ], int num)
{     int j = 0;
      for(int i = 1; i < num; ++i)
            if(x[i] > x[j]) j = i;
      return j;
}
```

```
int Max(int x[ ], int num)
{ int i, j;
  j = 0;
  for(i=1; i<num; ++i)
     if(x[i] > x[j]) j = i;
  return j;
}
int main( )
{ int a1[10]={12,1,34}, a2[20]={23,465,34}, index_max;
  index_max = Max(a1, 10);
  printf("数组a1的最大元素是: %d \n", a1[index_max]);
  index_max = Max(a2, 20);
  printf("数组a2的最大元素是: %d \n", a2[index_max]);
  return 0;
}
```

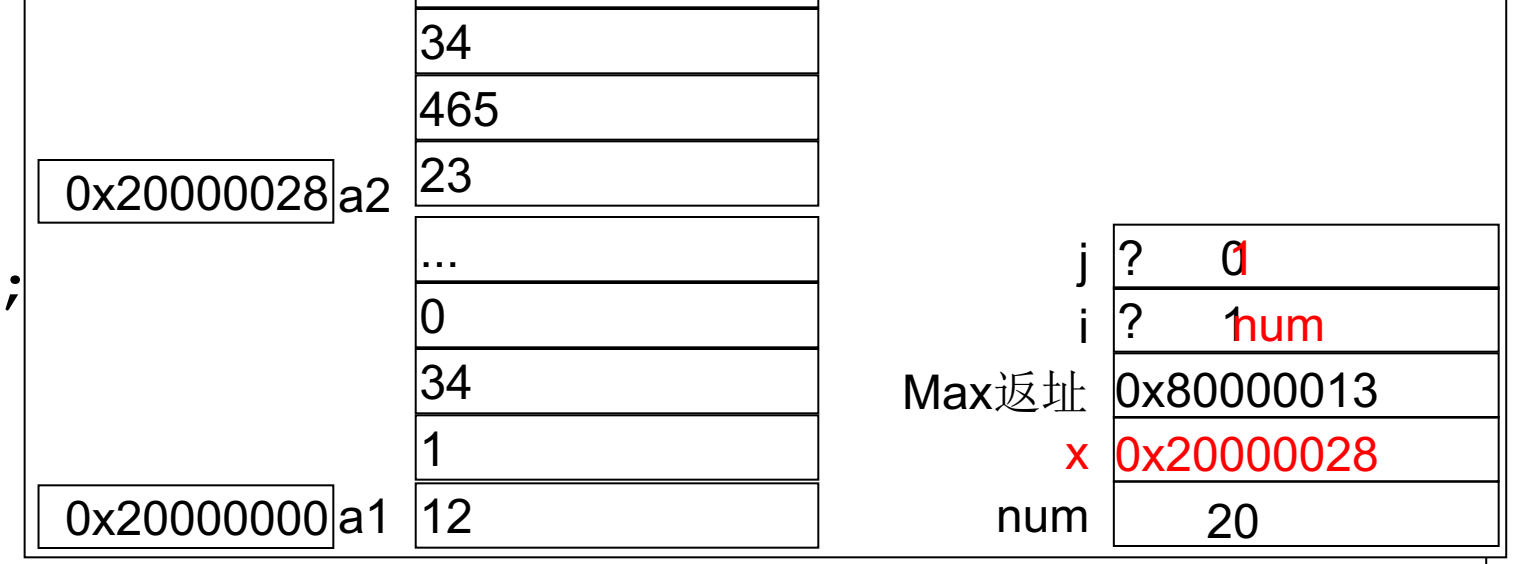
0x80000003

0x80000013



```
int Max(int x[ ], int num)
{ int i, j;
  j = 0;
  for(i=1; i<num; ++i)
     if(x[i] > x[j]) j = i;
  return j;
}
int main( )
{ int a1[10]={12,1,34}, a2[20]={23,465,34}, index_max;
  index_max = Max(a1, 10);
  printf("数组a1的最大元素是: %d \n", a1[index_max]);
  index_max = Max(a2, 20);
  printf("数组a2的最大元素是: %d \n", a2[index_max]);
  return 0;
}
```

0x80000013



- **数组作为函数参数传递数据时，实际传递的是数组在内存的起始位置，而不是实参数组的所有元素，函数的形参并不会得到足够的存储空间存放所有数据，而只是接收、存储实参数组的起始位置，以便执行被调函数体时，可以到实参数组所在存储空间获取数据。这种方式可提高程序的执行效率，节省存储空间。**

- **返回值类型不能是数组。**
  - 可以返回数组的下标、数组的某个元素或数组的起始位置

特殊的做法（根据具体需求）

```
index_max = Max(a1, N);
index_max = Max(a1, N/2);
```

```
int Max(int x[ ], int num)
{     int j = 0;
      for(int i = 1; i < num; ++i)
            if(x[i] > x[j]) j = i;
      return j;
}
```

```
if(n1+n2 <= N)
      index_max = Max(a1, n1, n2);
```

```
int Max(int x[ ], int a, int b)
{     int j = 0;
      for(int i = 1; i < a + b; ++i)
            if(x[i] > x[j]) j = i;
      return j;
}
```

二维数组

- 二维数组也是一种常见的数组类型，用来描述矩阵等具有二维结构的数据，第一维称为行，第二维称为列，二维数组的每个元素由其所在的行和列唯一确定。

- 二维数组类型的构造
  - 二维数组类型由元素类型标识符、两个中括号和两个整数（分别表示二维数组的行数与列数，行数与列数的乘积为二维数组的长度）构造而成。
  - 比如，

```
typedef int B[3][2];
//B是由6个int型元素所构成的二维数组类型标识符
```

二维数组变量的定义

- 先构造类型，再定义变量，便于定义多个同类型变量

```
typedef int B[3][2];
B b;      //定义了一个二维数组b
```

- 构造类型的同时定义变量

```
int b[3][2]; //  int、[]和3、2构造了一个二维数组类型
             //并用该类型定义了一个二维数组b
```

```
int b[3][2];
```

- C语言按行优先策略存储二维数组，即先存储第一行的元素，再存储第二行的元素，等等。

- 标识符b是二维数组名，可以代表第一行元素在内存的地址。

二维数组的初始化

自行上机验证

- `int b[3][2] = {0, 1, 2, 3, 4, 5};`

- 分行初始化：`int b[3][2] = {{0,1}, {2,3}, {4,5}};`
  - 可以省略行数：
    - 比如，`int b[][2] = {{0,1}, {2,3}, {4,5}};`

- 如果二维数组初始化表中的初始值个数少于二维数组的长度，或者某一行初始值的个数少于列数，则未指定的部分元素被初始化成0。
  - 比如，

```
int b[3][2] = {0, 1, 2, 4, 5};          //第3行第2列元素为0
int b[3][2] = {{0,1}, {2}, {4,5}};      //第2行第2列元素为0
```

二维数组的操作

- **不能进行整体操作**
- **对二维数组的遍历，通常要采用嵌套的循环流程。**
  - 访问数组元素的格式为：<数组名>**[<行下标>][<列下标>]**
    - 比如， b[i][j]表示自b开始的第i+1行的第j+1个元素（i:0~2, j:0~1）

      int b[3][2];

      b[0][0]、b[0][1]、b[1][0]、b[1][1]、b[2][0] 、b[2][1]
    - [ ] 为下标操作符，不表示数组的长度
    - <行下标>和<列下标>均为整型表达式，常常表现为循环变量。行下标、列下标均为0时表示第一行的第一个元素；行下标为0、列下标为N-1时表示列数为N的二维数组第一行的最后一个元素；行下标为M-1、列下标为N-1时表示行数为M、列数为N的二维数组的最后一行的最后一个元素。
    - 如果行下标为M或列下标为N，则不表示数组中的某个元素，即越界了。

```
int b[3][2];  //   共有6个元素:
```

```
b[i][j]        (i: 0~2,  j: 0~1)
b[0][0] (i=0, j=0)     b[0][1] (i=0, j=1)
b[1][0] (i=1, j=0)     b[1][1] (i=1, j=1)
b[2][0] (i=2, j=0)     b[2][1] (i=2, j=1)
```

```
for(int i = 0; i < 3; ++i)
    for(int j = 0; j < 2; ++j)
        scanf("%d", &b[i][j]);
```

例5.3 求矩阵的和。

```
…
#define M 10
#define N 5
int main( )
{     int sum = 0, mtrx[M][N];
      for(int i = 0; i < M; ++i)
            for(int j = 0; j < N; ++j)
            {     printf("Input a number: ");
                  scanf("%d", &mtrx[i][j]);
                  sum += mtrx[i][j];
            }
      printf("sum = %d \n", sum);
      return 0;
}
```

- eg.

```
int MonthDays[][13] = {{0,31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31},
                       {1,31,29,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31}};
```

```
MonthDays[leap][month]
```

重点

- 当二维数组作为函数的参数在函数之间传递数据时，通常用**二维数组的声明**（不必指定行数）和**一个整型变量**的定义作为被调用函数的形参，调用者需要把一个**二维数组的名称**以及**数组的行数**传给被调用函数。

例5.4 用函数实现求矩阵的和。

形参二维数组的列数必须确定，否则，与实参类型不匹配。
实参：第一行（N个）元素在内存的地址；
形参：一个可以存放某行（N个元素）地址的空间。

```
…
#define N 5
int Sum(int x[ ][N], int lin);
int main( )
{    int mtrx[10][N] = {……};
     printf("sum = %d \n", Sum(mtrx, 10));
     return 0;
}
```

```
int Sum(int x[ ][N], int lin)
{ int s = 0;
  for(int i = 0; i < lin; ++i)
     for(int j = 0; j < N; ++j)
          s += x[i][j];
  return s;
}
```

实参：第一行（N个）元素在内存的地址；
形参：？

```
…
#define N 5
int Sum(int x[ ][ ], int lin, int col); //×
int main( )
{    int mtrx[10][N] = {……};
     printf("sum = %d \n", Sum(mtrx, 10, N));
     return 0;
}
```

```
int Sum(int x[ ][ ], int lin, int col) //×
{ int s = 0;
  for(int i = 0; i < lin; ++i)
     for(int j = 0; j < col; ++j)
          s += x[i][j];
  return s;
}
```

```
…
#define N 5
int Sum(int x[ ][N], int lin);
int main( )
{    int m[40][20] = {……};
     printf("sum = %d \n", Sum(m, 40));   //×  因为m与x的类型不同
     return 0;
}
```

```
int Sum(int x[ ][N], int lin)
{ int s = 0;
  for(int i = 0; i < lin; ++i)
     for(int j = 0; j < N; ++j)
          s += x[i][j];
  return s;
}
```

二维数组可以看成一个特殊的一维数组

例如，

```
int b[3][2];
```

b这个二维数组看成一维数组时，有3个元素，
每个元素又是一个一维数组（对应二维数组的一行元素），名为b[i]，
数组名b[i]可以代表自b开始的第i+1行第一个元素在内存的地址（i：0~2），
b[i][j]表示自b[i]开始的第j+1个元素（j：0~1），也即第i+1行第j+1个元素。

int b[3][2]; // 有3个元素，每个元素都是一个小数组：

b[i] (i: 0~2)

b[0]	b[0][0]	b[0][1]	(j:0~1)
b[1]	b[1][0]	b[1][1]	(j:0~1)
b[2]	b[2][0]	b[2][1]	(j:0~1)


```
for(int i = 0; i < 3; ++i)
    for(int j = 0; j < 2; ++j)
        scanf("%d", &b[i][j]);
```

- 二维数组可以看成另一种特殊的一维数组。
  - 又例如，可以将b看作长度为6的一维数组，用b[0][2*i+j]（等价于b[i][j]）表示自b[0]开始的第2×i+j+1个元素。

```
int b[3][2];   //    共有6个元素:
```

```
b[0][2*i + j]   (i: 0~2,   j: 0~1)
b[0][0]     (i=0,   j=0)
b[0][1]     (i=0,   j=1)
b[0][2]     (i=1,   j=0)
b[0][3]     (i=1,   j=1)
b[0][4]     (i=2,   j=0)
b[0][5]     (i=2,   j=1)
```


```
for(int i = 0; i < 3; ++i)
     for(int j = 0; j < 2; ++j)
          scanf("%d", &b[0][2*i + j]);
```

…

```
#define N 5
int Sum(int x[ ][N], int lin);
int main( )
{    int mtrx[10][N] = {……};
     printf("sum = %d \n", Sum(mtrx, 10));
     return 0;
}
```

```
int Sum(int x[ ][N], int lin)
{ int s = 0;
  for(int i = 0; i < lin; ++i)
     for(int j = 0; j < N; ++j)
          s += x[i][j];
  return s;
}
```

也可写成 `s += x[0][N * i + j]`

□ 如果要提高前述Sum函数的通用性，可以将二维数组降为一维数组处理：

```
int Sum(int x[ ], int num)
{ int s = 0;
  for(int i = 0; i < num; ++i)
      s += x[i];
  return s;
}
......
int m1[10][5], m2[20][6], m3[40][20];
......
printf("sum = %d \n", Sum(m1[0], 10 * 5));
printf("sum = %d \n", Sum(m2[0], 20 * 6));
printf("sum = %d \n", Sum(m3[0], 40 * 20));
```

- 二维数组作为函数参数传递数据时，实际传递的也是数组在内存的起始位置，函数的形参数组不再为整个数组分配内存空间，它共享实参数组的内存空间。

- 返回值不能是二维数组类型，因为数组不能整体操作。

多维数组

- 多维数组可以用来表示数据立方体等高维数据，应用于图像处理、销售记录分析等领域。

- 多维数组类型由元素类型关键字、多个中括号和多个整数（分别表示每一维的元素个数）构造而成。可以用构造好的多维数组类型定义多维数组，也可以在构造多维数组类型的同时直接定义多维数组。
  - 比如，

```
int d[2][3][4];
//定义了一个三维数组，元素个数为24（= 2×3×4）
```

数组及其应用

- 一维数组
- 二维数组
- 多维数组
- **数组的应用**
  - 可以利用数组存储**一组有序数据**
    - **基于数组的排序**
    - 斐波那契数求解
    - **矩阵相乘（二维数组）**
    - 杨辉三角（二维数组）
    - …
  - 可以利用数组存储**一组有序标志，**以对应一组数据的状态
    - 用筛法求素数
    - **约瑟夫问题求解**
    - **鞍点（二维数组）**
    - …

基于一维数组的排序程序

- 排序问题是一种常见的非数值计算问题。
- 解决排序问题的算法有很多，比如冒泡排序、选择排序、插入排序、快速排序等等，以及它们的变种。
- 如果待排序数据存在数组中，则用程序实现这些排序算法时，需要实现
  - 数组的遍历、两个元素的比较、交换、一个元素的插入等操作，
  - 这些操作往往是通过综合运用循环、分支流程控制及赋值操作等技术来完成的。

C++ 有这样的库函数 sort！

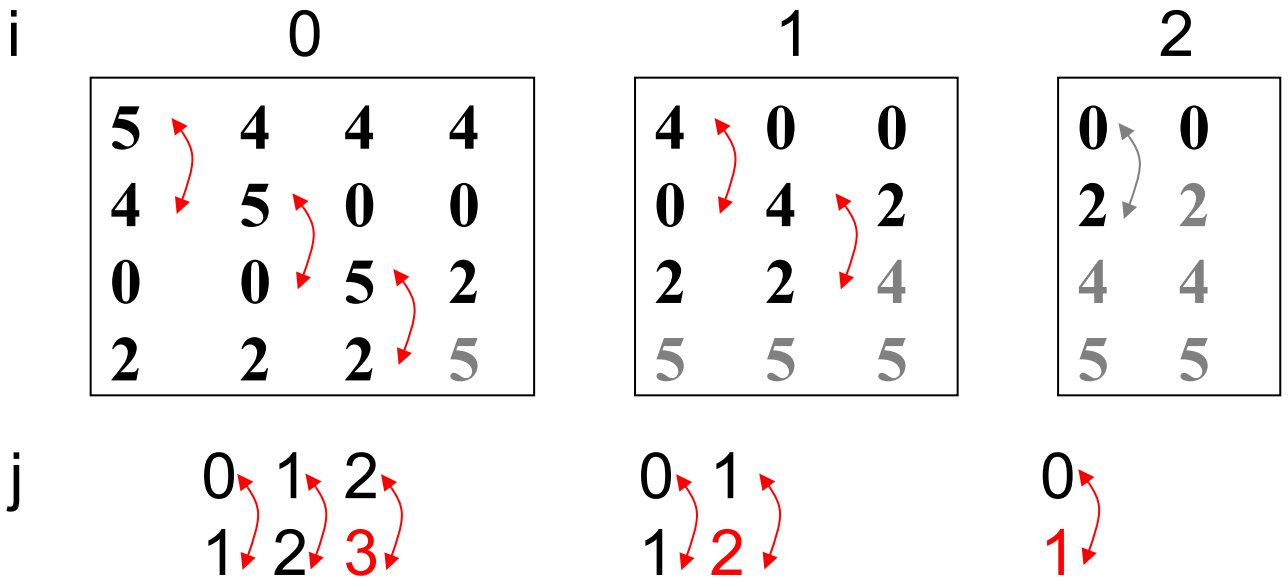
◘ 例5.5 基于数组的排序。

…

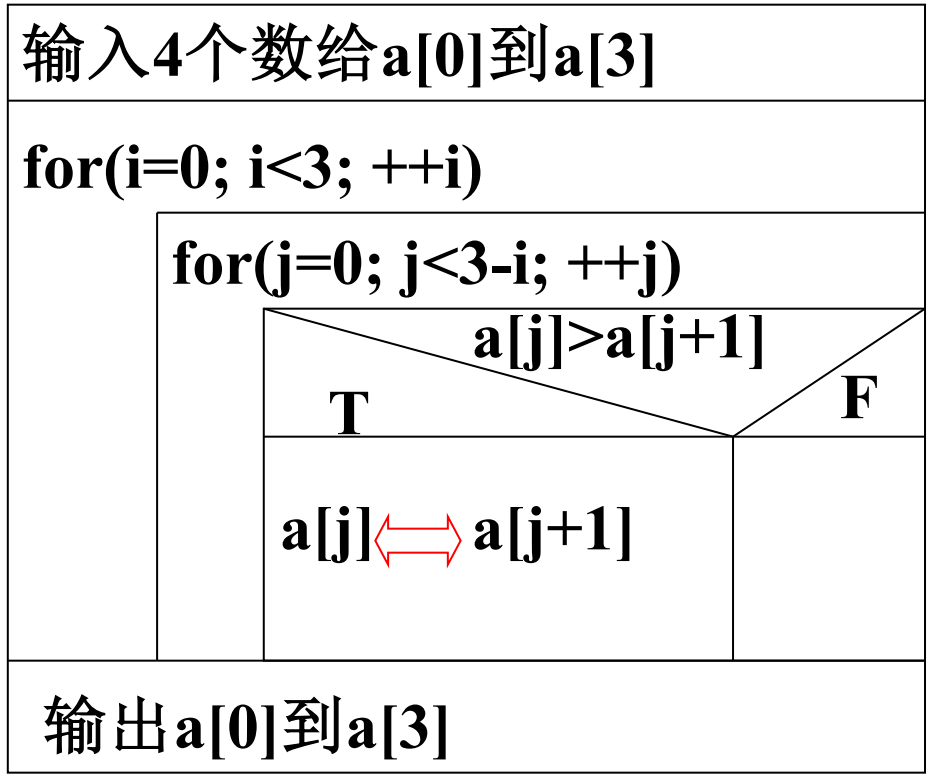
```
#define N 4
void Sort(int sdata[ ], int count);
int main( )
{
  int a[N];
  for(int i = 0; i < N; ++i)
     scanf("%d", &a[i]);
  Sort(a, N);   //对4个数(5、4、0、2)从小到大排序
  for(int i = 0; i < N; ++i)
     printf("%d \t", a[i]);
  return 0;
}
```

冒泡法排序

- 比较相邻两个数，大的调到后头
- N个数排N-1趟，每趟内比较的次数随趟数递减。



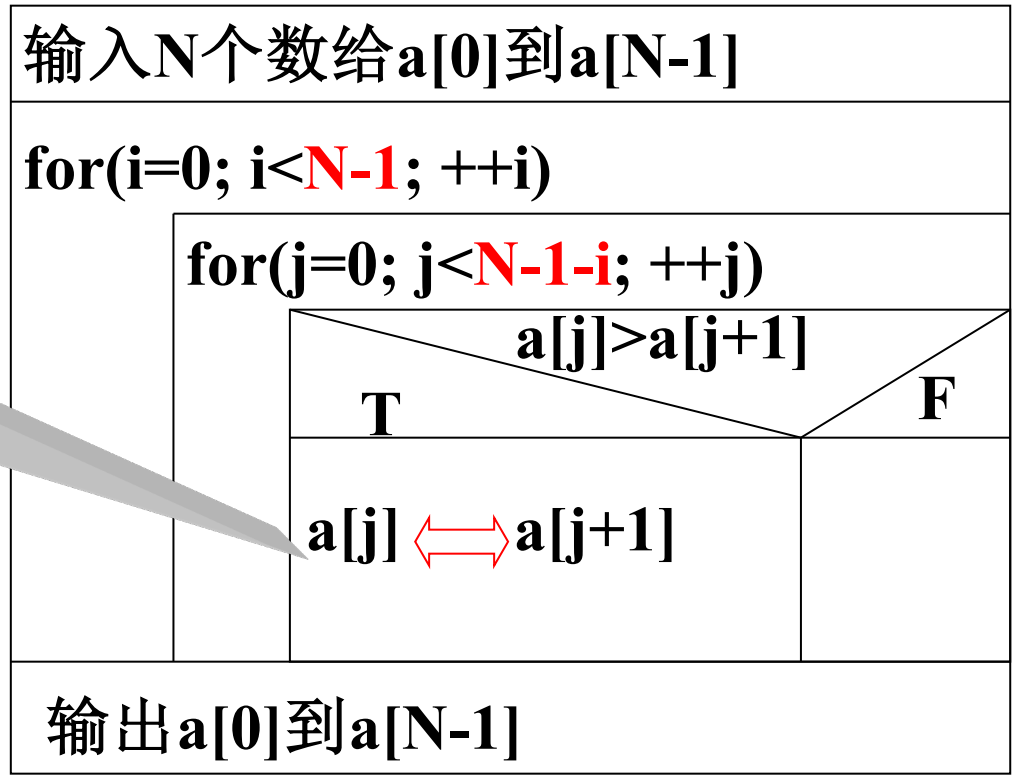
int a[4]



推广到N个数

int a[N]

```
交换
    temp = a[j];
    a[j] = a[j+1];
    a[j+1] = temp;
```



```
#define N 4
int main( )
{
  int a[N];
  for(int i = 0; i < N; ++i)
     scanf("%d", &a[i]);


  for(int i = 0; i < N; ++i)
     printf("%d \t", a[i]);
  return 0;
}
```

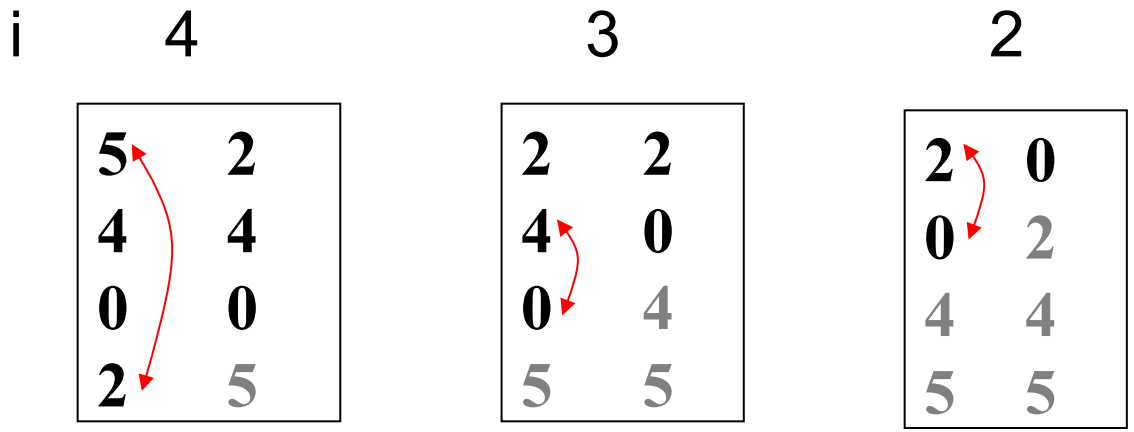
```
for(i=0; i<N-1; ++i)
    for(j=0; j<N-1-i; ++j)
        if(a[j]>a[j+1])
        {
            int temp=a[j];
            a[j]=a[j+1];
            a[j+1]=temp;
        }
```

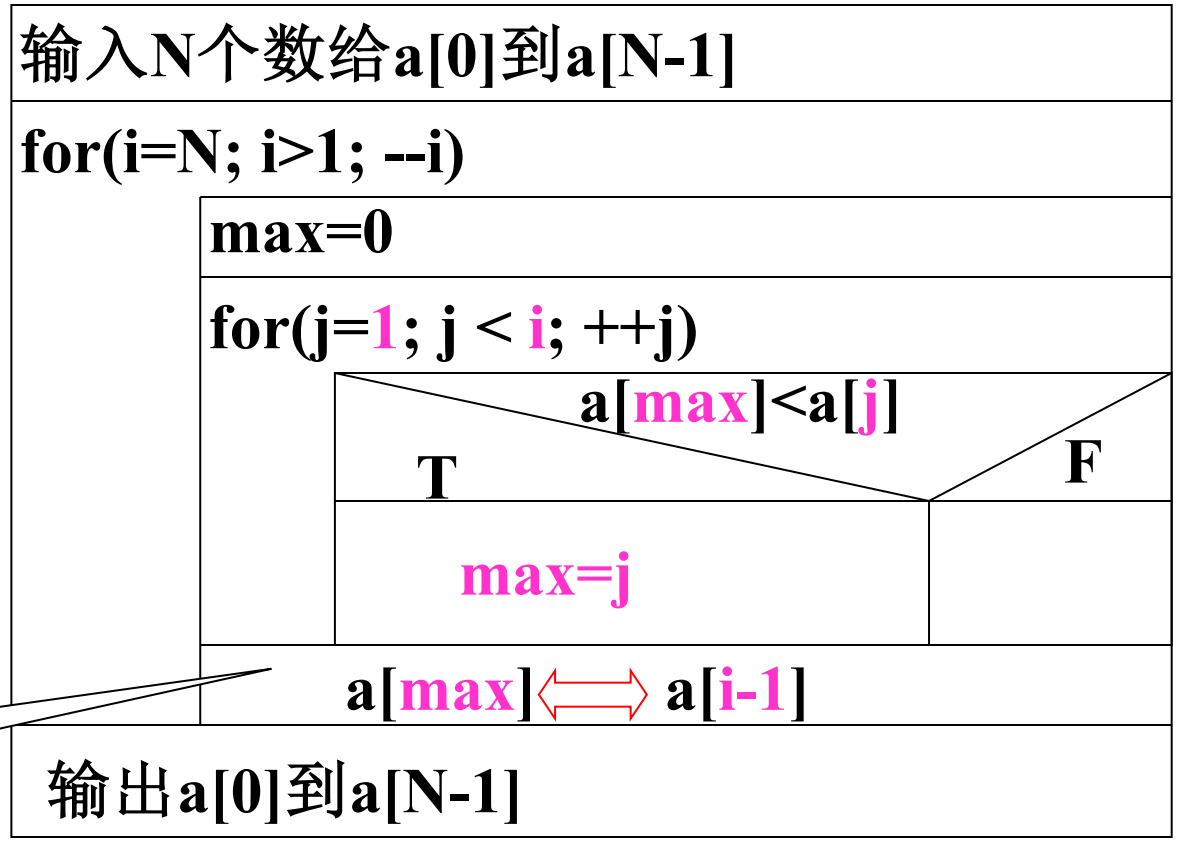
```
#define N 4
int main( )
{     int a[N];
      for(int i=0; i < N; ++i)
            scanf("%d", &a[i]);

      BubbleSort(a, N);

      …
}
```

```
void BubbleSort(int sdata[ ], int count)
{
    for(int i = 0; i < count-1; ++i)
        for(int j = 0; j < count-1-i; ++j)
            if(sdata[j] > sdata[j+1])
            {
                int temp = sdata[j];
                sdata[j] = sdata[j+1];
                sdata[j+1] = temp;
            }
}
```

选择法排序

- 从N个数中找出最大者，与第N个数交换位置；然后从剩余的N-1个数中再找出最大者，与第N-1个数交换位置；…；直到只剩下一个数为止
- N个数选择N-1趟，每趟内比较的次数随趟数递减，且**不是每次比较都进行元素交换操作**。





```
void SelSort(int sdata[ ], int count)
{
    for(int i = count; i > 1; --i)
    {
        int max = 0;
        for(int j = 1; j < i; ++j)
            if(sdata[max] < sdata[j])
                max = j;
        if(max != i-1)
        {
            int temp = sdata[max];
            sdata[max] = sdata[i-1];
            sdata[i-1] = temp;
        }
    }
}
```

若改为“for(int i = 1; i < count; ++i)”，程序中的其他代码应做哪些相应修改，可以实现原功能？

交换

```
sdata[max] = sdata[max] + sdata[i-1];
sdata[i-1] = sdata[max] - sdata[i-1];
sdata[max] = sdata[max] - sdata[i-1];
```

同一个的变量？

交换

```
sdata[max] = sdata[max] ^ sdata[i-1];
sdata[i-1] = sdata[max] ^ sdata[i-1];
sdata[max] = sdata[max] ^ sdata[i-1];
```

快速法排序*

- 是对冒泡法的一种改进
- 基本思想：通过一趟排序将待排数据分隔成独立的两部分，其中一部分数据均比另一部分数据小，然后对这两部分数据分别进行快速排序，整个排序过程可以递归进行，以达到整个序列有序
- 即，设两个下标变量first和last，它们的初始值分别为0和N-1，然后寻找分割点split_point，再将分割点±1分别作为右半部分的first和左半部分的last，对两部分重复上述步骤，每部分直至first==last为止。

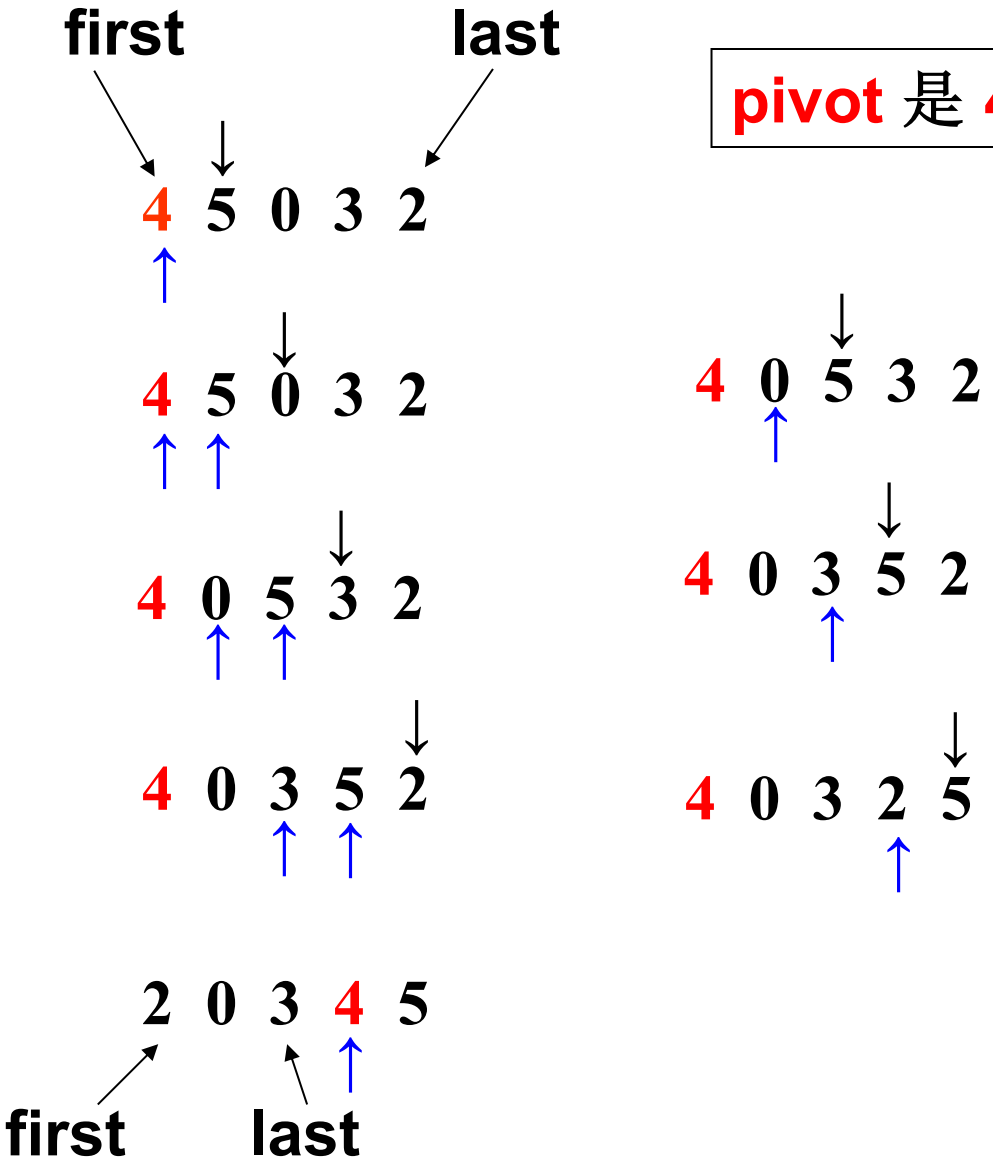
- 一趟快速排序的思想：

首先任意选取一个数据（通常选第一个数据）作为关键数据（转换值），然后将所有比它小的元素都放到它前面，所有比它大的元素都放到它后面。

即，设分割点split_point的初始值为0，其对应元素推选为pivot（转换值），从first所指位置后起，向后搜索，每遇到小于转换值的元素，就将分割点右移一次，并将那个小元素和分割点元素互换，最后将分割点元素与first元素交换，此时以分割点split_point为分界线，将序列分隔成了符合要求的两个子序列。

```
int Split(int sdata[ ], int first, int last);

void QuickSort(int sdata[ ], int first, int last)
{
     if(first < last)
     {
          int split_point = Split(sdata, first, last);
                    //寻找分割点
          QuickSort(sdata, first, split_point-1);
                    //对分割点以左的部分进行排序
          QuickSort(sdata, split_point+1, last);
                    //对分割点以右的部分进行排序
     }
}
```

快速法排序



pivot 是 4，其下标是 split_point

```
int Split(int sdata[ ], int first, int last)
{
     int pivot = sdata[first];
     int split_point = first;
     for(int unknown = first+1; unknown <= last; ++unknown)
          if(sdata[unknown] < pivot)
          {
               ++split_point;
               int t = sdata[split_point];
               sdata[split_point] = sdata[unknown];
               sdata[unknown] = t;
          }
     sdata[first] = sdata[split_point];
     sdata[split_point] = pivot;
     return split_point;
}
```

令第一个元素为 pivot

```
int Split(int sdata[ ], int first, int last)
{
      int pivot = sdata[first];
      int split_point = first;
      for(int unknown = first+1; unknown <= last; ++unknown)
            if(sdata[unknown] < pivot)
            {
                  ++split_point;
                  int t = sdata[split_point];
                  sdata[split_point] = sdata[unknown];
                  sdata[unknown] = t;
            }
      sdata[first] = sdata[split_point];
      sdata[split_point] = pivot;
      return split_point;
}
```

- 实现一维数组上的排序功能涉及哪些程序设计要素?
  - 循环流程控制
  - 分支流程控制
  - 赋值操作
  - 比较操作
  - 算术操作

例5.6 求矩阵的乘积。

- 设有两个矩阵A_{mn}、B_{np}，

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} 4 & 4 \\ 5 & 5 \\ 6 & 6 \\ 7 & 7 \end{pmatrix}$$

乘积矩阵$C_{mp} = A_{mn} \times B_{np}$，$C_{mp}$中每一项的计算公式为：

$$C_{ij} = \sum_{k=0}^{n-1} A_{ik} \times B_{kj}$$

$i=0, \ldots, m-1$，$j=0, \ldots, p-1$

$$\begin{pmatrix} 4+5+6+7 & 4+5+6+7 \\ 8+10+12+14 & 8+10+12+14 \\ 12+15+18+21 & 12+15+18+21 \end{pmatrix}$$

…

```
#define N 4
#define M 3
#define P 2
void prod(int ma[ ][N], int mb[ ][P], int mc[ ][P], int m);
int main( )
{ int ma[M][N] = {{1, 1, 1, 1}, {2, 2, 2, 2}, {3, 3, 3, 3}};
  int mb[N][P] = {{4, 4}, {5, 5}, {6, 6}, {7, 7}};
  int mc[M][P];
  prod(ma, mb, mc, M);
  for(int i = 0; i < M; ++i)
     for(int j = 0; j < P; ++j)
     {    printf("%d \t", mc[i][j]);
          if((j + 1) % P == 0) printf("\n"); //换行
     }
  return 0; }
```

```
22    22
44    44
66    66
```

```
void prod(int ma[ ][N], int mb[ ][P], int mc[ ][P], int m)
{
  for(int i = 0; i < m; ++i)
     for(int j = 0; j < P; ++j)
     {
          int s = 0;
          for(int k = 0; k < N; ++k)
               s += ma[i][k] * mb[k][j];
          mc[i][j] = s;
     }
}
```

- **例5.7 求解约瑟夫斯（Josephus）问题**：有n个囚犯站成一圈，准备被处决。从某个人开始顺时针报数，报到k的囚犯从圈子离开，被处决；然后，从下一个人开始重新报数，每报到k，相应的囚犯从圈子离开，被处决；最后只剩下一个人，该囚犯可以继续活着；这位幸运的囚犯一开始站在什么位置?

- **分析**：
  - 采用一维数组`in_circle[n]`表示n个囚犯围成一圈
  - `in_circle[index]`为`true`表示编号为`index`的囚犯在圈子里
  - 剩下的人数 `numRemained: n → 1`
  - 从`index`为`0`的囚犯开始报数，圈子中`index`的下一个位置为`(index+1)%n`（下一圈连续报数）

…

```
#define N 20
#define K 5
int Josephus(int n, int k);
int main( )
{
  printf("The survival is No.%d \n", Josephus(N, K));
  return 0;
}
```

```
int Josephus(int n, int k)
{
  bool in_circle[n];      //bool in_circle[N];
  int index;

  for(index = 0; index < n; ++index)
     in_circle[index] = true;       //给数组in_circle置初值
```

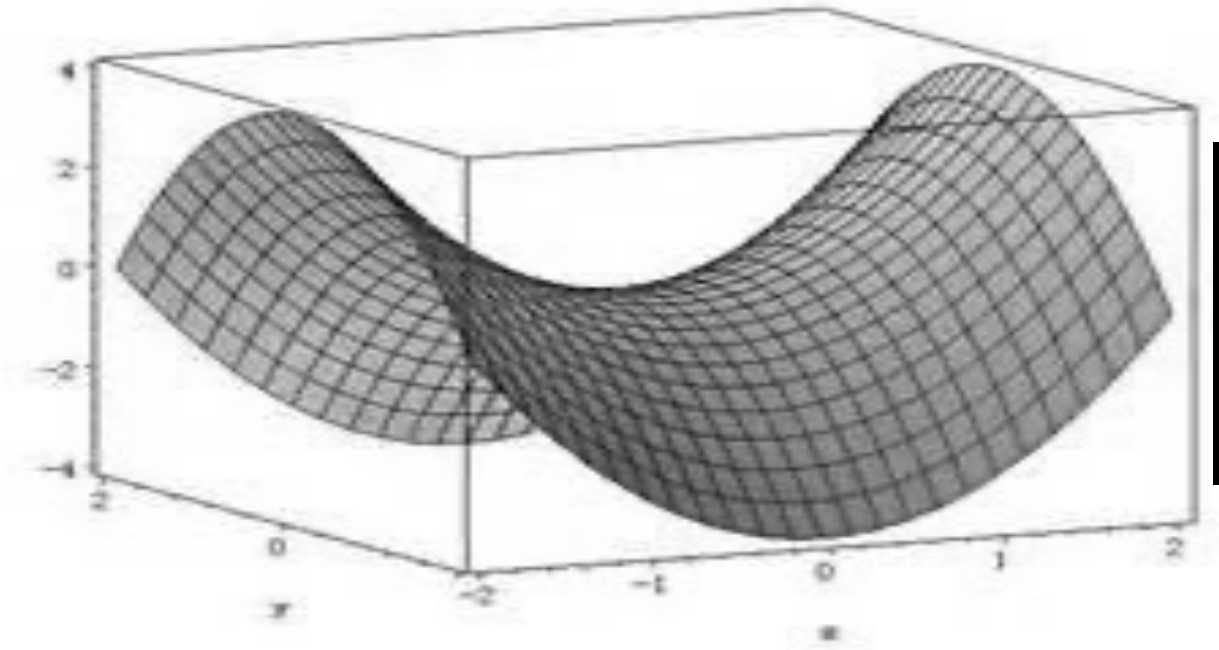
```
int numRemained = n;
index = 0; n-1
while(numRemained > 1)
{
   int count = 0;
   while(count < k)
   {
      index = (index+1)%n;
      if(in_circle[index])
         ++count;
      index = (index+1)%n;
   }
   in_circle[index] = false;  //囚犯离开圈子
   numRemained--; //圈中人数减1
}
```

```
in_circle[index-1] = false;
//可能会出现-1
```

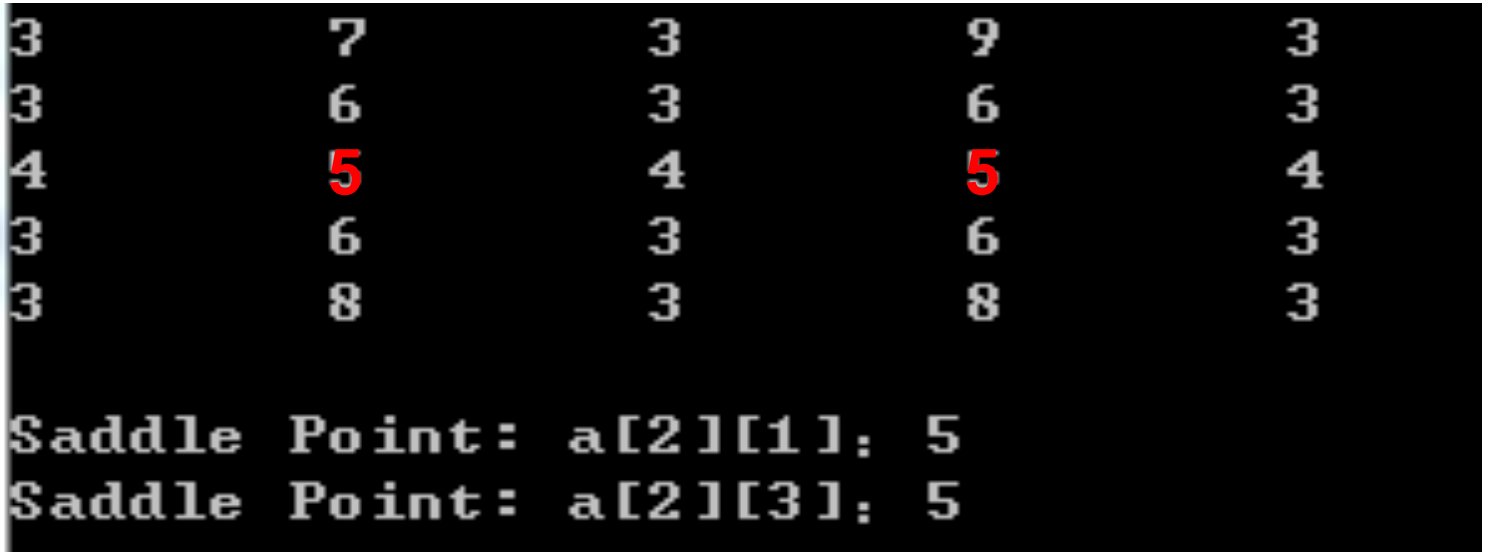
```
//找最后一个囚犯
for(index = 0; index < n; ++index)
      if(in_circle[index])
            break;

return index;
}
```

注意：
break;

- 例5.8：编写一个程序，计算一个矩阵的鞍点。（矩阵的鞍点是指矩阵中的一个位置，该位置上的元素是其所在行上的最大值且是一个极大值，所在列的最小值且是一个极小值。一个矩阵可能有多个鞍点，也可能没有鞍点。）



3	7	7	9	3
3	6	3	6	3
4	5	4	5	4
3	6	3	6	3
3	8	3	8	3




```
#define M 5
#define N 5
int i, j, l, k, a[M][N] =
{{3,7,3,9,3},{3,6,3,6,3},{4,5,4,5,4},{3,6,3,6,3},{3,8,3,8,3}};

for(i=0; i < M; ++i)
{
     for(j=0; j < N; ++j)
          printf("%d \t", a[i][j]);
     printf("\n");
}
printf("\n");
```

```
bool flag_max[M][N] = {false};

for(i=0; i < M; ++i)
{
     k = 0;
     for(j=1; j < N; ++j)
          if(a[i][j] > a[i][k])
               k = j;     //第i行找最大数，下标存k

     for(j=0; j < N; ++j)
          if(a[i][j] == a[i][k])
               flag_max[i][j] = true;
               //第i行所有最大数对应true，处理多个鞍点

}
```

```
bool flag_min[M][N] = {false};

for(j=0; j < N; ++j)
{
     k = 0;
     for(i=1; i < M; ++i)
          if(a[i][j] < a[k][j])
               k = i;     //第j列找最小数，下标存k

     for(i=0; i < M; ++i)
          if(a[i][j] == a[k][j])
               flag_min[i][j] = true;
               //第j列所有最小数对应true ，处理多个鞍点
}
```

```
bool flag_extremum[M][N] = {false};//初始化极值标志

for(i=1; i < M-1; ++i)
{
     for(j=1; j < N-1; ++j)
          if(a[i][j] != a[i][j-1]                    //左
                    && a[i][j] != a[i][j+1]   //右
                    && a[i][j] != a[i-1][j]   //上
                    && a[i][j] != a[i+1][j]) //下
               flag_extremum[i][j] = true;
                         //第i行第j列元素为极值
}
```

```
bool count = false; //初始化无鞍点标志

for(i=1; i < M-1; ++i)
{
   for(j=1; j < N-1; ++j)
      if(flag_max[i][j] && flag_min[i][j] && flag_extremum[i][j])
      {
         printf("Saddle Point: a[%d][%d]: %d \n", i, j, a[i][j]);
         count = true;
      }
}
if(!count)
   printf("not any Saddle Points. \n");
```

小结

- 数组：
  - 一种派生数据类型，表示固定多个同类型的有序数据群体
  - 存储于内存中的连续空间
  - 不能整体操作

- 要求：
  - 掌握数组的定义、初始化和操作方法
  - 掌握一维数组、二维数组的特征与应用方法
    - 作为函数的参数用法
    - 一个程序代码量≈100行
  - 继续保持良好的编程习惯