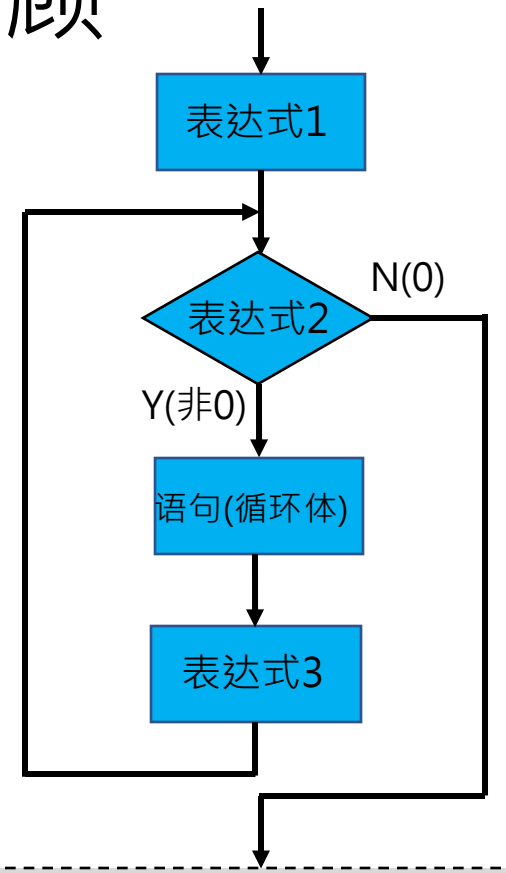
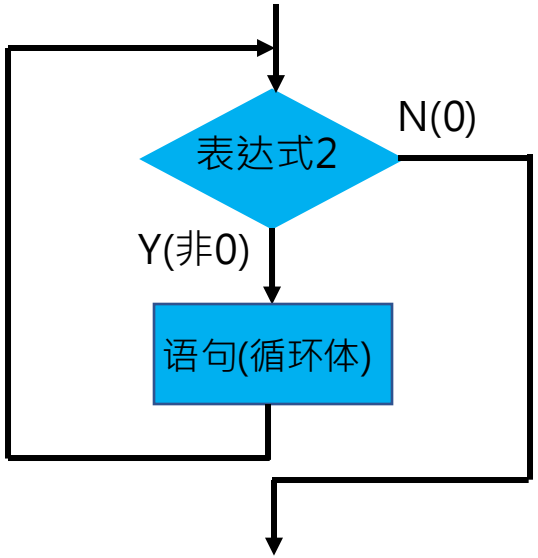
CS 1502H 程序设计思想与方法 (C++)
Principles and Methodology in Programming
Chapter 5. 数组-1

陈东尧
上海交通大学
2025年秋季

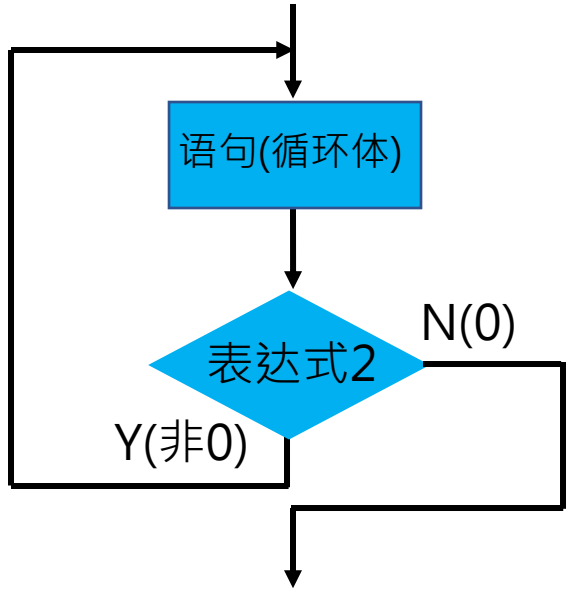
回顾




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

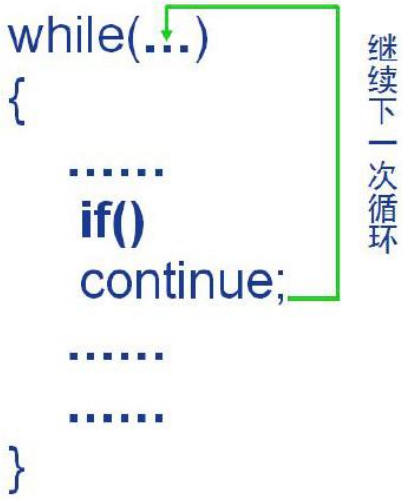



```
while(表达式)
{
        语句;
}
```




```
do
{
        语句;
} while(表达式);
```

回顾

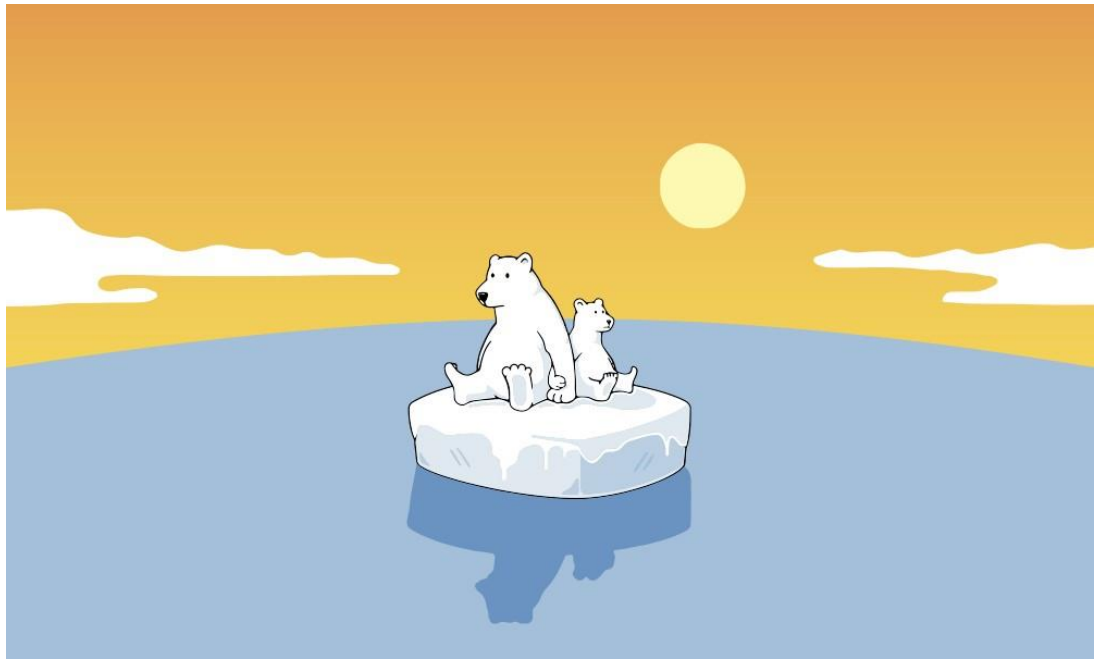


什么是数组

- 数组是一种**数据结构**
  - 数据结构用来保存数据

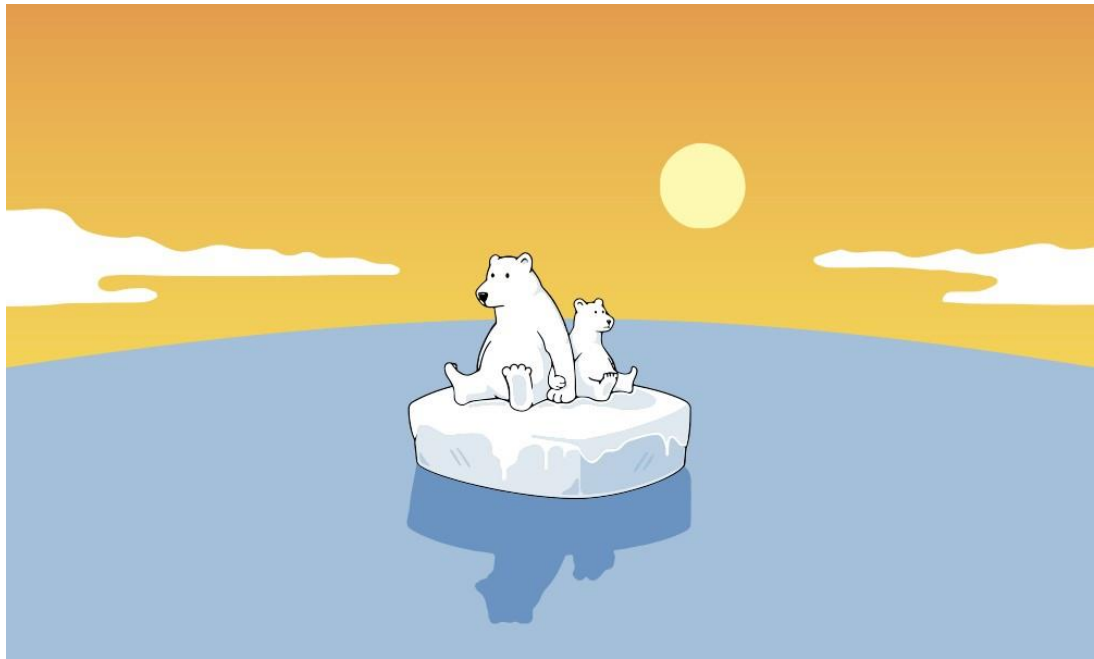
什么是数组

- **有时，我们需要存储一批同类型的数据**
- **例如记录最近的气温**



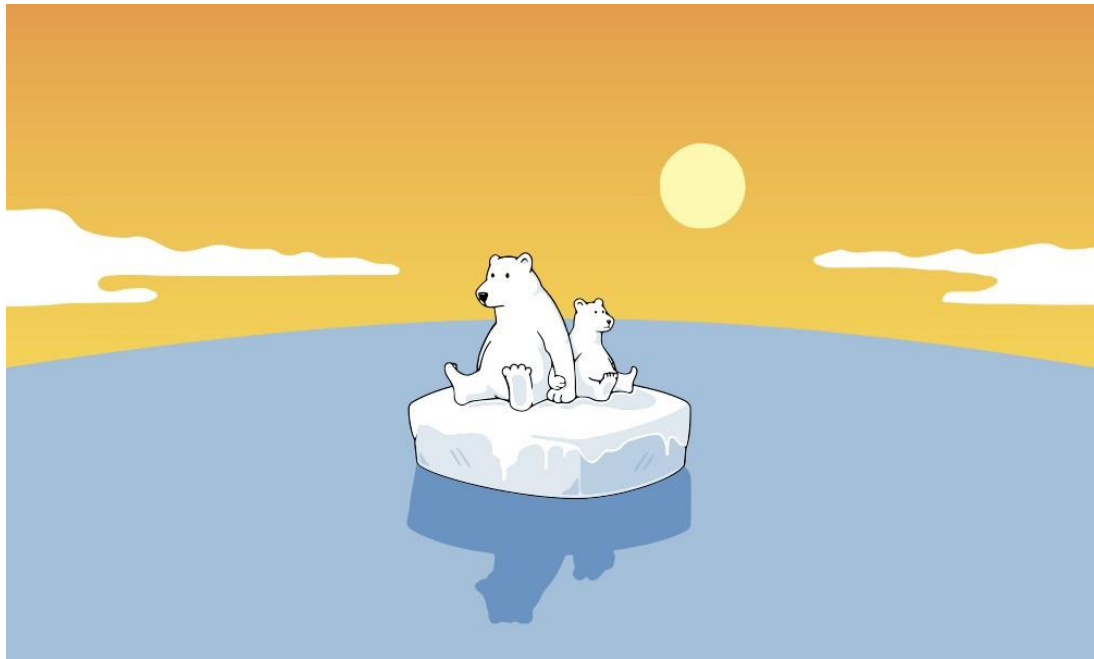
什么是数组

- 有时，我们需要存储一批**同类型的数据**
- 例如记录最近的气温
  - 38.2
  - 37.1
  - 39.2
  - 40.0
  - 41.9
  - 39.6
  - 40.1
  - …



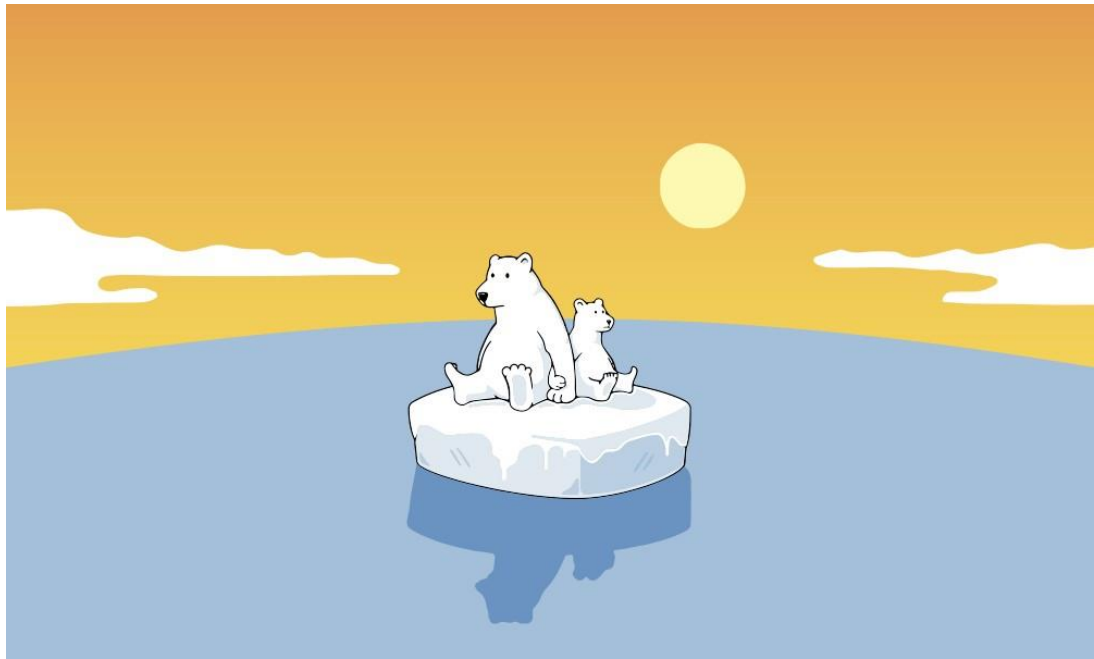
什么是数组

- 有时，我们需要存储一批**同类型的数据**
- 例如记录最近的气温
  - 顺序记录过于冗长，我们是否可以这样



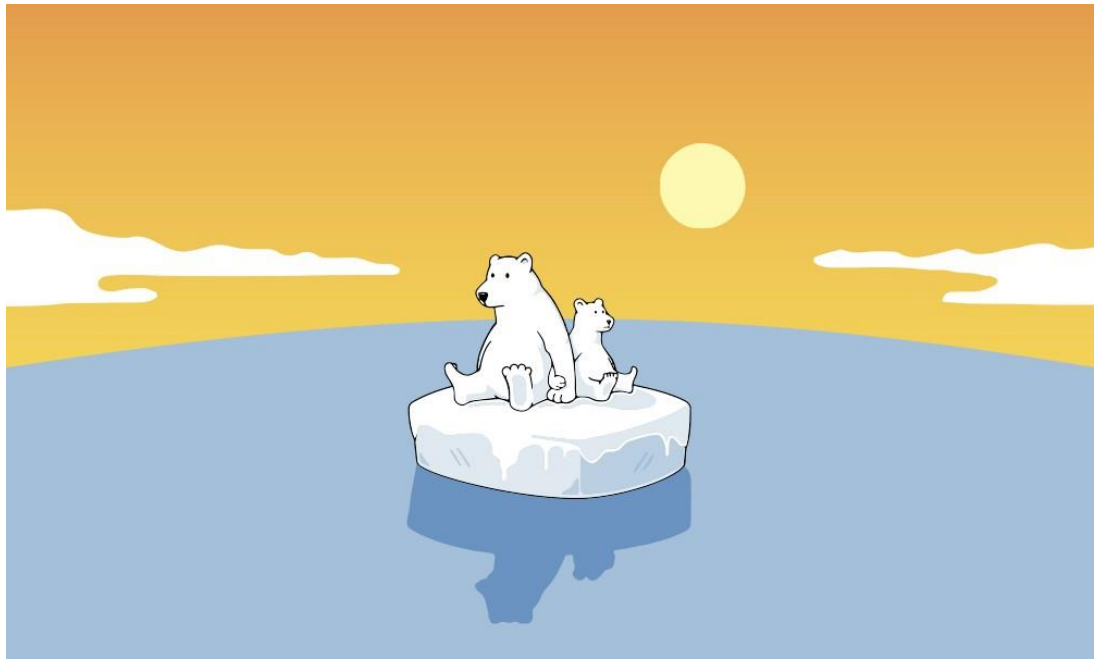
什么是数组

- 有时，我们需要存储一批**同类型的数据**
- 例如记录最近的气温
- 数组记录：[38.2, 37.1, 39.2, 40.0, 41.9, 39.6, 40.1]
- 还可以解锁很多有用的功能，比如：



什么是数组

- 有时，我们需要存储一批**同类型的数据**
- 例如记录最近的气温
- 数组记录：[38.2, 37.1, 39.2, 40.0, 41.9, 39.6, 40.1]
- 还可以解锁很多有用的功能，比如：
  - 最高温是多少？
    - ➔ 41.9
  - 平均气温？
    - ➔ 39.4
  - 40度以上（包含）的天数？
    - ➔ 3
  - 与往年相比？



本章概览

- 一维数组
- 排序和查找
- 二维数组
- 字符串

数组定义

- 数组是保存一组同类元素的数据类型，有两个特征
  - 数组元素是有序的
  - 数组元素是同类的
- 定义数组要定义三个基本内容 `Type name[array_size];`
  - 数组元素的类型
  - 数组名字
  - 数组的大小

数组定义

- 格式：

  其中，元素个数必须是常量。如：

  ```
  int  myarray[10];
  ```

  但 `int n=10;`

  `int myarray[n];` 是错的

- 可以将元素个数定义为一个常量。如：

  ```
  #define NumOfElement  10
  int  myarray[NumOfElement];
  ```

  相当于 `int  myarray[10];`

数组定义：初始化

- 定义数组时可以对数组初始化

  float x[5] = { -1.1, 0.2, 33.0, 4.4, 5.05 };

- 初始化表的长度短于要被初始化的数组元素数目，那么剩余元素被初始化为0。
- 带有初始化的数组可以不定义数组规模，编译器根据初值个数决定数组的大小

  int a[]={1,2,3,4,5}; 则默认数组大小为5

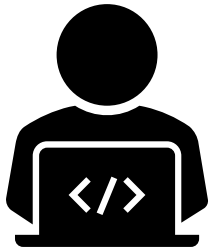
数组元素

- **数组元素的使用是通过数组名及元素的序号来指定，如iArray[2]。**
  - **当数组的大小为n时，元素的序号为0 到 n-1**
  - **元素的序号称为下标。下标可为整数、整型变量或结果为整型的任意表达式**

```
int iArray[10], idx;
for (idx = 0; idx <= 9; ++idx)
      cin >> iArray[idx] ;
for ( idx = 0; idx <= 9; ++idx)
      cout << iArray[idx];
```

数组的应用

- 统计：找出最重的羊是哪一只？



代码演示

Chapter5-trivia-sheep.cpp

```
#define NUM 5
int main(){
double sheep[NUM], maxWeight=0;
int i, maxNum;

for (i=0; i<NUM; ++i) {
        cout << "请输入第"<< i <<"只羊的重量";
        cin >> sheep[i];
}

for (i=0; i<NUM; ++i) {
        if (sheep[i]>maxWeight) {
                maxWeight = sheep[i];
                maxNum = i;
        }
}
cout << "最重的羊是第" << maxNum << "只"<< endl;
cout << "它的重量是" << maxWeight << endl;
return 0;
}
```

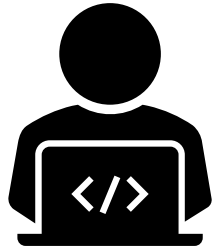
数组的应用

- 从终端输入一串字符，统计字符串中个字母出现的次数。
- 解决方法：
  - 方法一：用26个整型变量计数26个字母，对输入字符串中的每一字符用switch语句分别计数。
  - 方法二：用一个26个元素的数组，如num[26]，表示计数。num[0]存放a的个数，num[1]存放b的个数…。这样对每一个字符不必用switch，而只需用一个简单的计算：
    ++num[toupper(ch) - 'A'];

```
int main(){
int count[26] = {0};
char ch;

ch = toupper(cin.get()); // 统一大写
while (ch>='A' && ch <='Z') {
        ++count[ch-'A'];
        ch = toupper( cin.get());
}

for (int i=0; i< 26; ++i) cout << count[i] << '\t';
return 0;
}
```



代码演示

Chapter5-trivia-word.cpp

库函数toupper用来处理统一大小写

注：C++ toupper

- **转大写**

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

int main() {

  // convert 'a' to uppercase
  char ch = toupper('a');

  cout << ch;

  return 0;
}

// Output: A
```

数组在内存中

- 数组名中存放的是该数组的**起始地址**
  - 不能直接对数组名进行赋值。如：myArray=30 是错的。
- 定义数组就是定义了一块连续空间
  - 空间的大小等于元素数*每个元素所占的空间大小。
  - 数组元素按序存放在这块空间中。

内存地址用16进制（Hexadecimal）表示

地址	0xff0	0xff4	0xff8
数据	1	2	3

数组在内存中

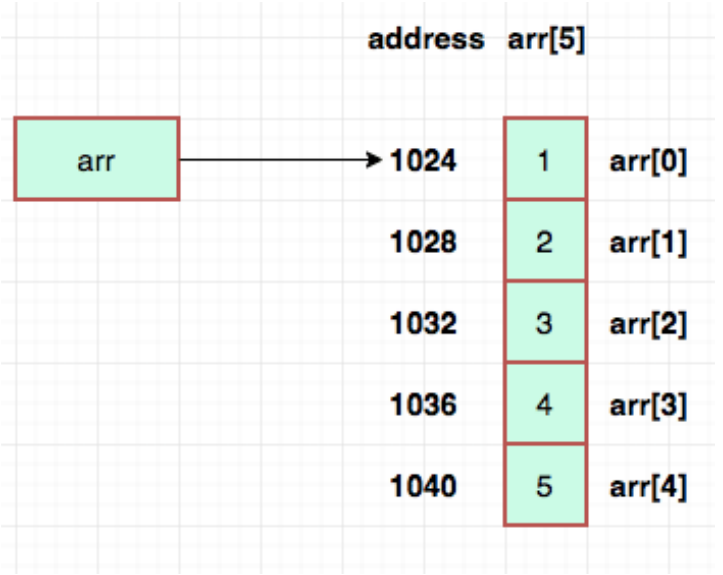
- 如：int myArray[5]={3,1,4,27,9};占用了20个字节，因为每个整型数占四个字节。如给myArray[3]赋值为27，如果这块空间的起始地址为100，那么在内存中的情况是：

3	1	4	27	9
100 103	104 107	108 111	112 115	116 119

- 当你引用变量myArray[idx]时，系统计算它的地址100+idx*4，对该地址的内容进行操作。

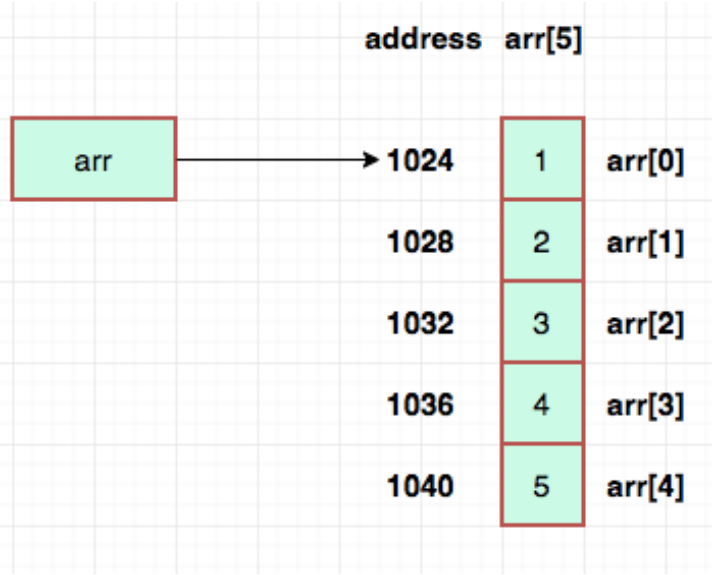
数组在内存中

- 为何需要提前声明数组的大小？
- 程序如何访问数组元素？



思考：为何数组下标从0开始？

- 历史原因
  - C语言数组下标是从0开始->Java也是->JavaScript也是
  - 降低学习成本
- 减少CPU指令计算
  - 下标从0开始： arr(i) = base_address + i * type_size
  - 下标从1开始： arr(i) = base_address + （i-1）* type_size
  - 可见，从0开始减少了一次减法运算



【扩展阅读】下标为何从0开始：https://cloud.tencent.com/developer/article/1359222

数组下标越界问题

- C/C++语言不检查数组下标的超界。如定义数组 int myarray[10]; 合法的下标范围是0 – 9，但如果你引用myarray[10]，系统不会报错。
  - 如数组myarray 的起始地址是1000，当引用myarray[10]时，系统对1040号内存进行操作。而1040可能是另一个变量的地址
- 解决方法：由程序员自己控制。在对下标变量进行操作前，先检查下标的合法性。

本章概览

- 一维数组
- 排序和查找
- 二维数组
- 字符串


从下列数字中找到”0.414950917”。如果找到，请输出它的位置。如果找不到，则输出“Not found!”

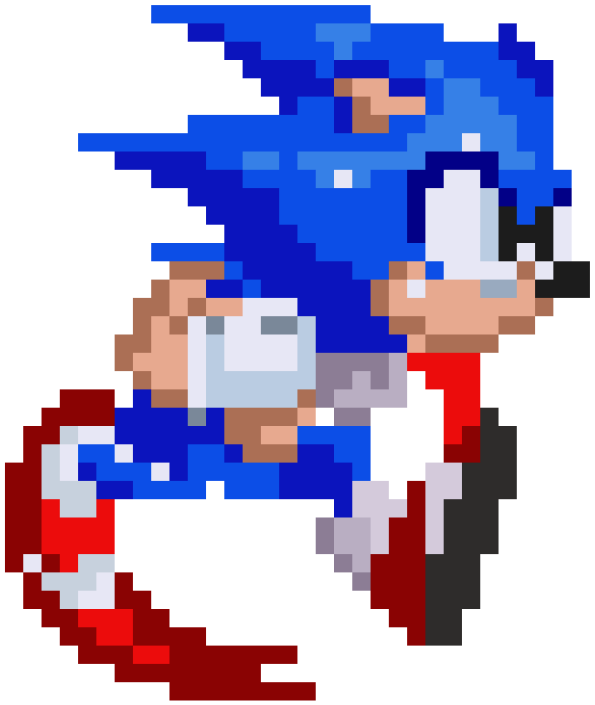
顺序查找 (Linear Search)

- 被查找的数存放在一个数组中
- 从数组的第一个元素开始，依次往下比较，直到找到要找的元素为止。
- 如在一整数数组中查找元素x的存储位置。找到则输出k，找不到则输出“找不到”

```
int main()
{ int  k, x;
  int array[ ] = { 2, 3, 1, 7, 5, 8, 9,
0, 4, 6};
  cout << "请输入要查找的元素值：";
  cin >> x;
  for (k = 0; k < 10; ++k){
    if (x == array[k])
            { cout << k; break;}
  }
  if (k == 10) cout << "not found";
  return 0;
}
```

顺序查找 (Linear Search)

- 这一方法是否可能更快？



Credit: Sega, Inc.

二分查找（Binary Search）

二分查找（Binary Search）

- **数组元素已按某一顺序排序，如数字的大小顺序、字母的字母序等。以下讨论中都假设是按升序排序。**
- **例子：寻找47**

0	4	7	10	14	23	45	47	53

0	4	7	10	14	23	45	47	53

二分查找详细过程 ✨ ✨ ✨ ✨ ✨

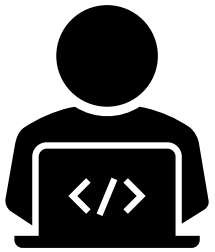
Step 1: 确定上下界：lh, rh

Step 2: 找出中间元素的位置：mid = (lh + rh) / 2

Step 3: 比较中间元素与欲查找的元素 key：

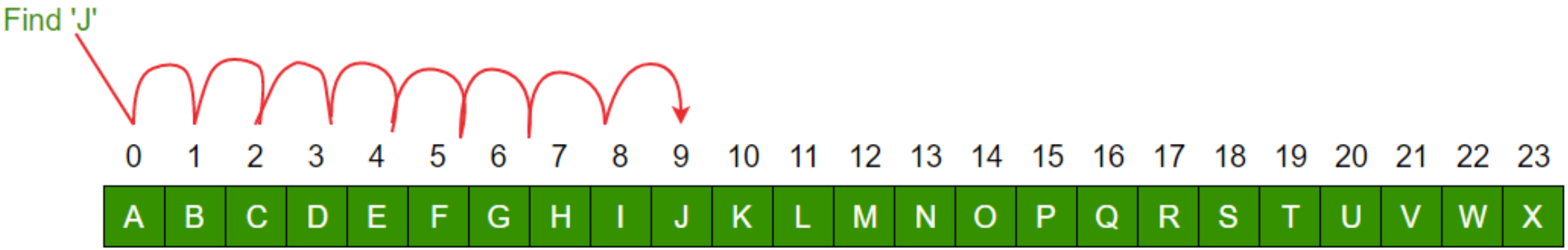
- **如 key 等于中间元素，则 mid 就是要查找的元素的位置；**
- **如 key > 中间元素，则从 lh – mid 的这些元素不可能是要查找的元素，修正查找范围为 lh = mid + 1到 rh；**
- **如key < 中间元素，则从mid - rh的这些元素不可能是要查找的元素，修正查找范围为 lh 到 rh = mid - 1；**
- **如 lh > rh，则要查找的元素不存在。**

```
int main() {
    int lh, rh, mid, x;
    int array[ ]={0,1,2,3,4,5,6,7,8,9};
    cout <<"请输入要查找的数据： ";
    cin >> x;
    lh = 0; rh = 9;
    while ( lh <= rh ) {
        mid = ( lh + rh ) / 2;
        if ( x== array[mid] ) {
            cout << x << "的位置是： " << mid << endl;
            break;
        }
        if ( x < array[mid]) rh = mid - 1;
        else lh = mid + 1;
    }
    if (lh > rh) cout << "没有找到" << endl;
    return 0;
}
```

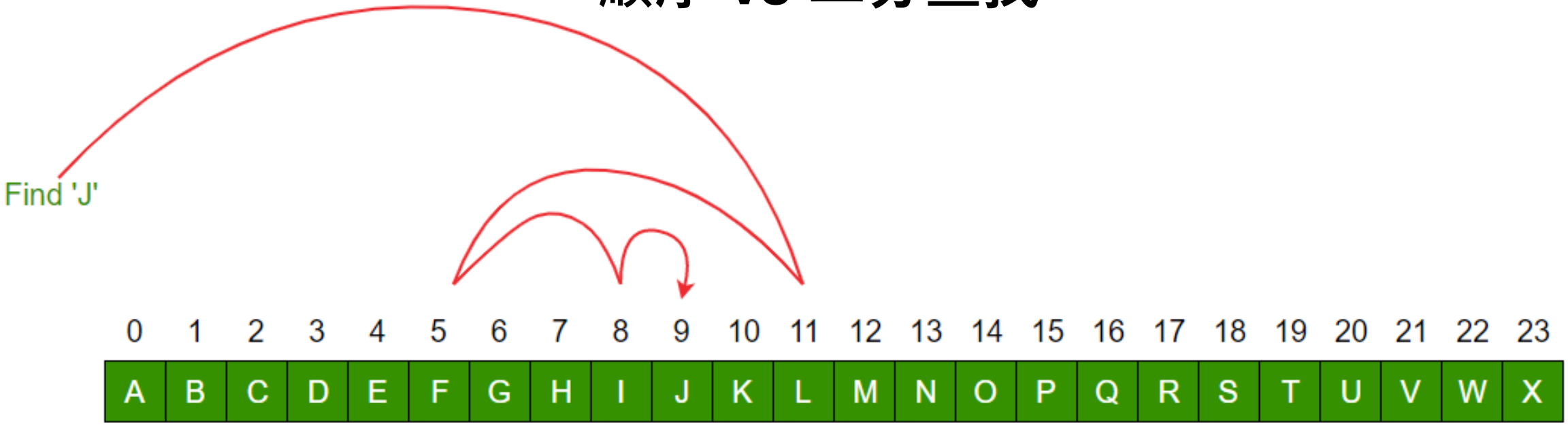


代码演示

chapter5-binarySearch.cpp


Find 'J'
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X

顺序 vs 二分查找


Find 'J'
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X

算法效率分析

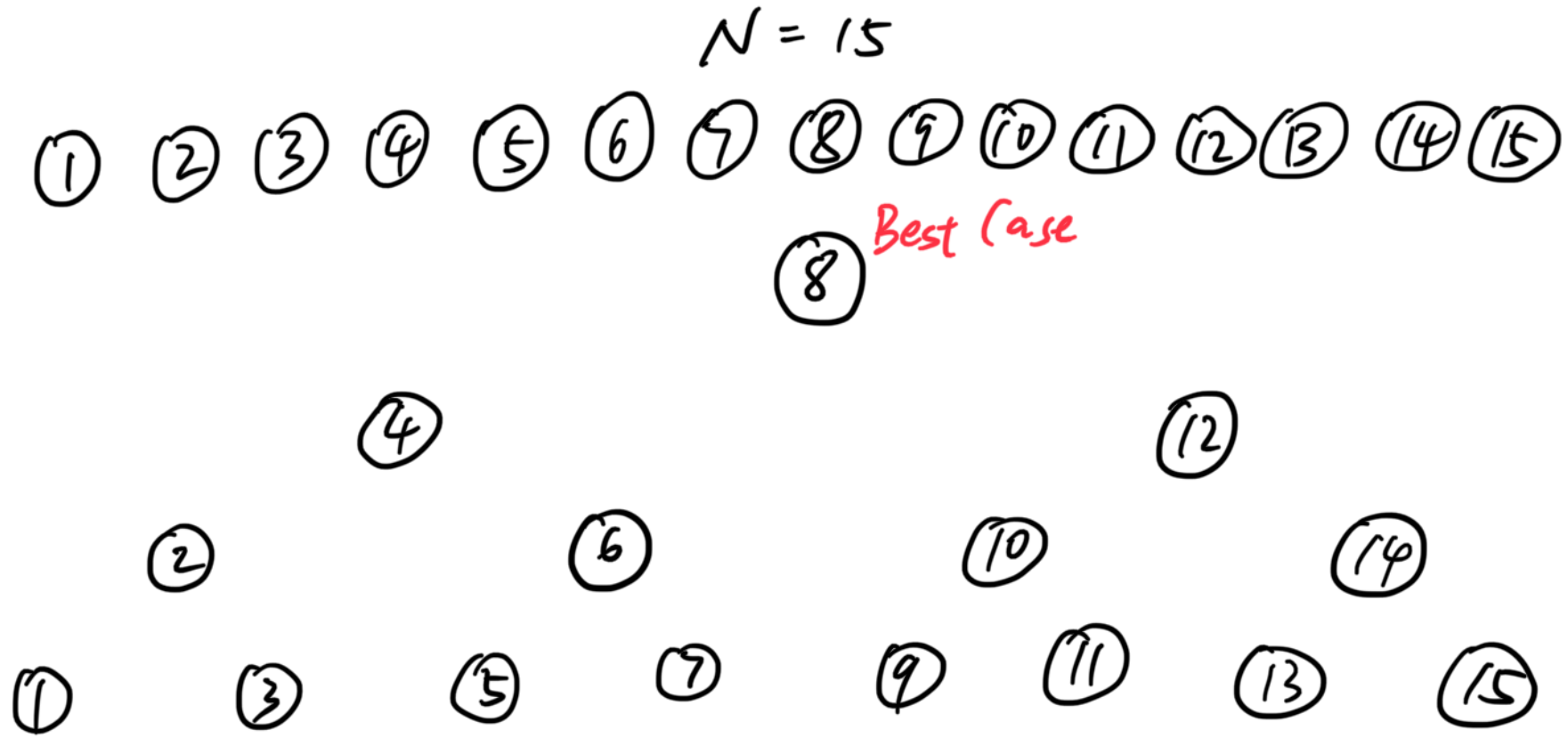
- 平均时间性能

- **顺序搜索：**

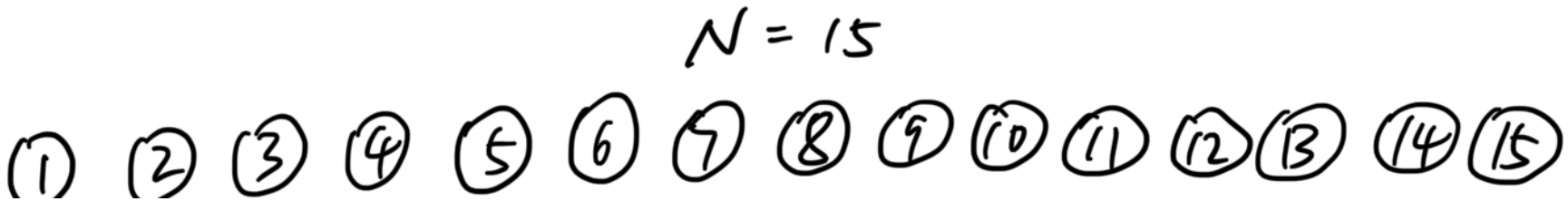
$$(1 + 2 + 3 + \ldots + n) / n = (n + 1) / 2$$

最好情况 **最差情况**

二分查找时间性能分析

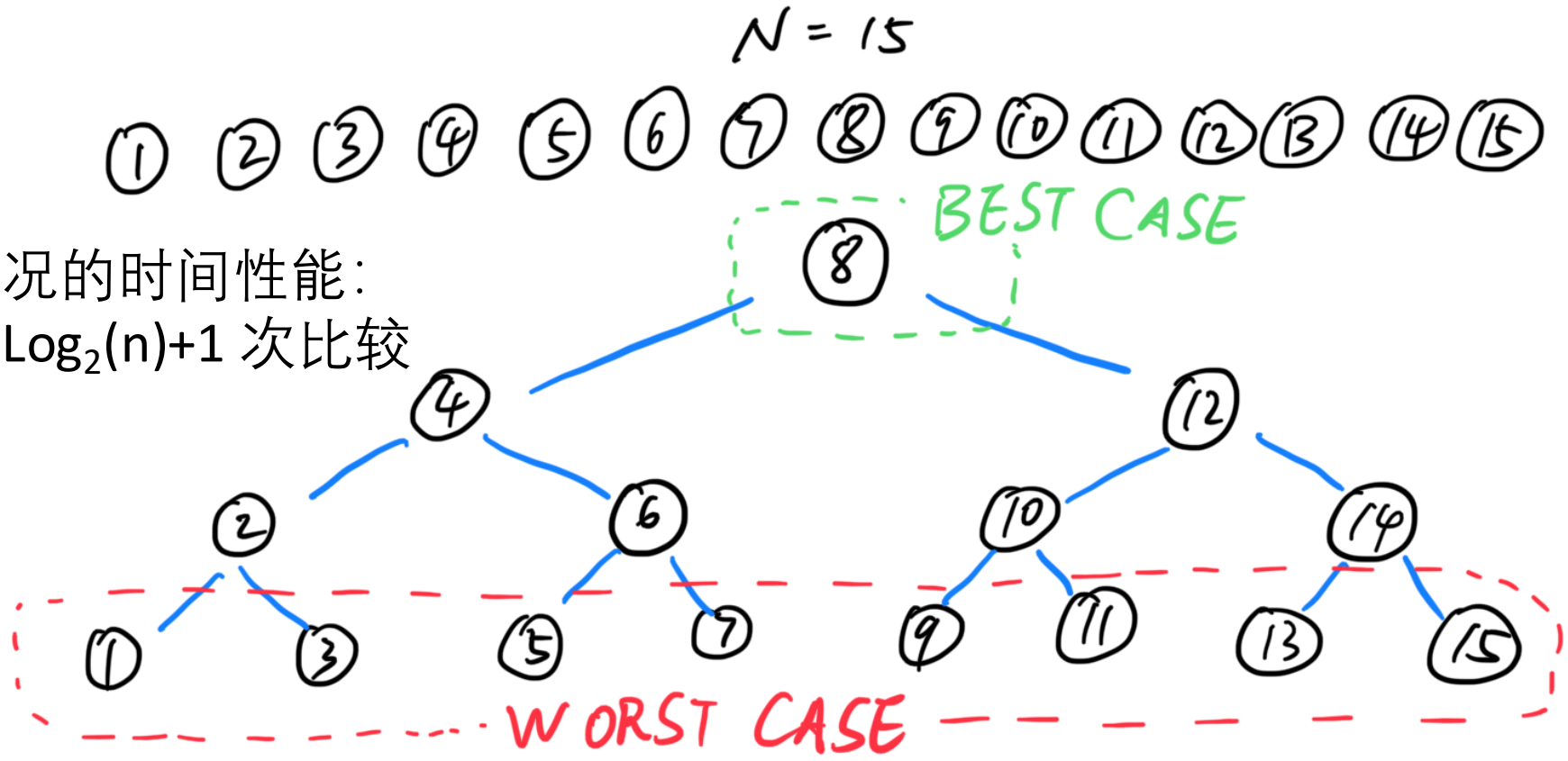

N = 15
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
8
Best Case
4
12
2
6
10
14
1
3
5
7
9
11
13
15

二分查找时间性能分析

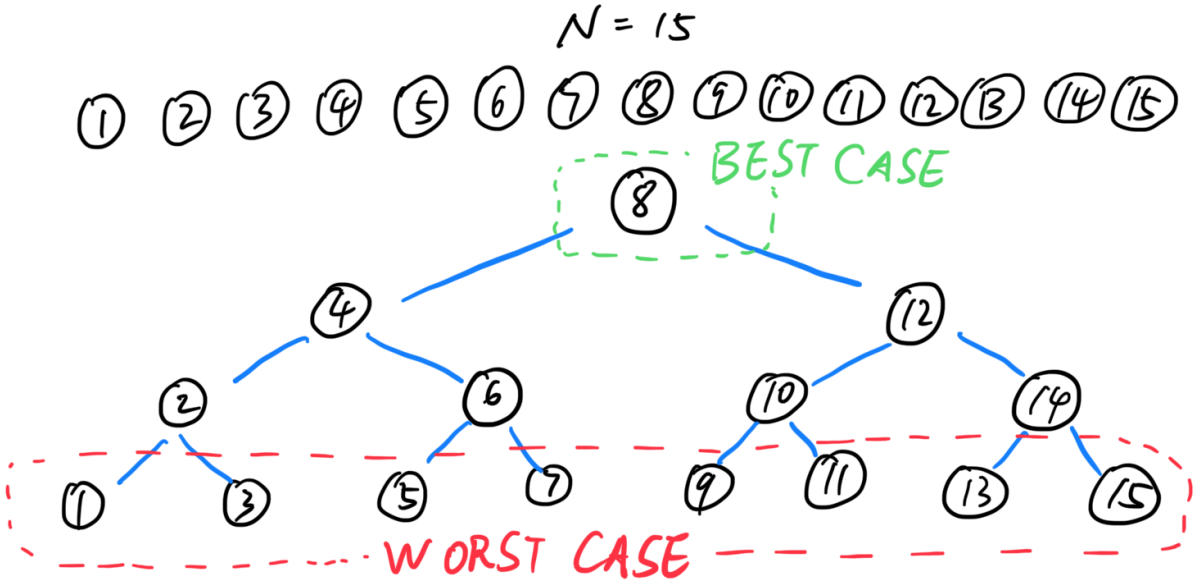


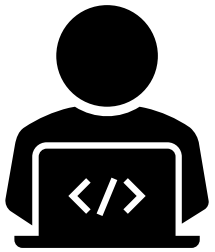
二分查找时间性能分析

最坏情况的时间性能：
需进行$Log_2(n)+1$ 次比较



二分查找时间性能分析





代码演示

chapter5-search-time-compare.cpp

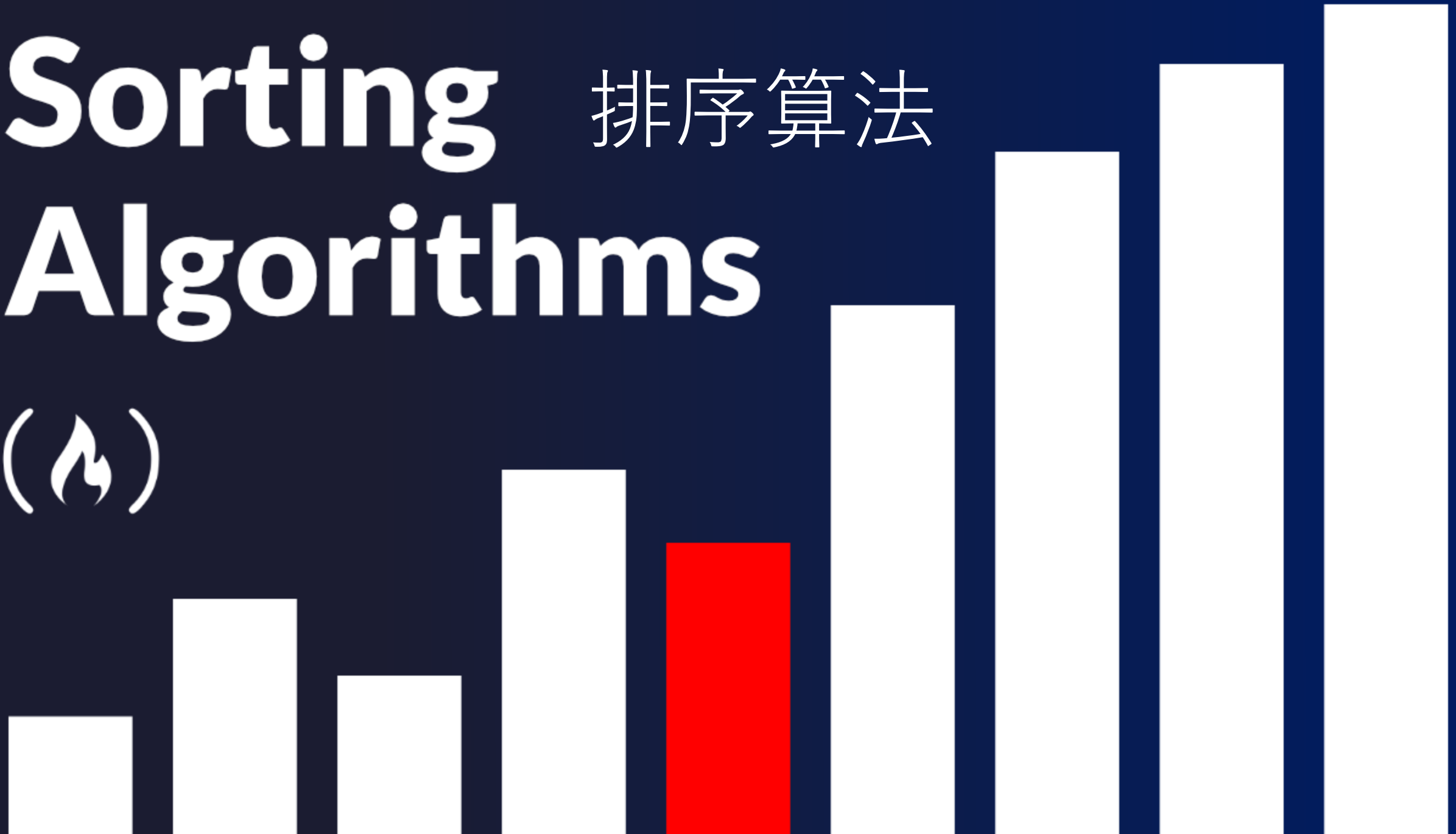
二叉树的深度 $\lfloor \log_2 N + 1 \rfloor$

思考：二分查找的缺陷？

- 前提条件：需要已排序的数组

Sorting Algorithms

排序算法



选择排序法 （Selection Sort）

- 选择排序法：
  - 在所有元素中找到最小的元素放在数组的第0个位置
  - 在剩余元素中找出最小的放在第1个位置
    …
  - 以此类推，直到所有元素都放在适当的位置

5　3　4　1　2

选择排序伪代码

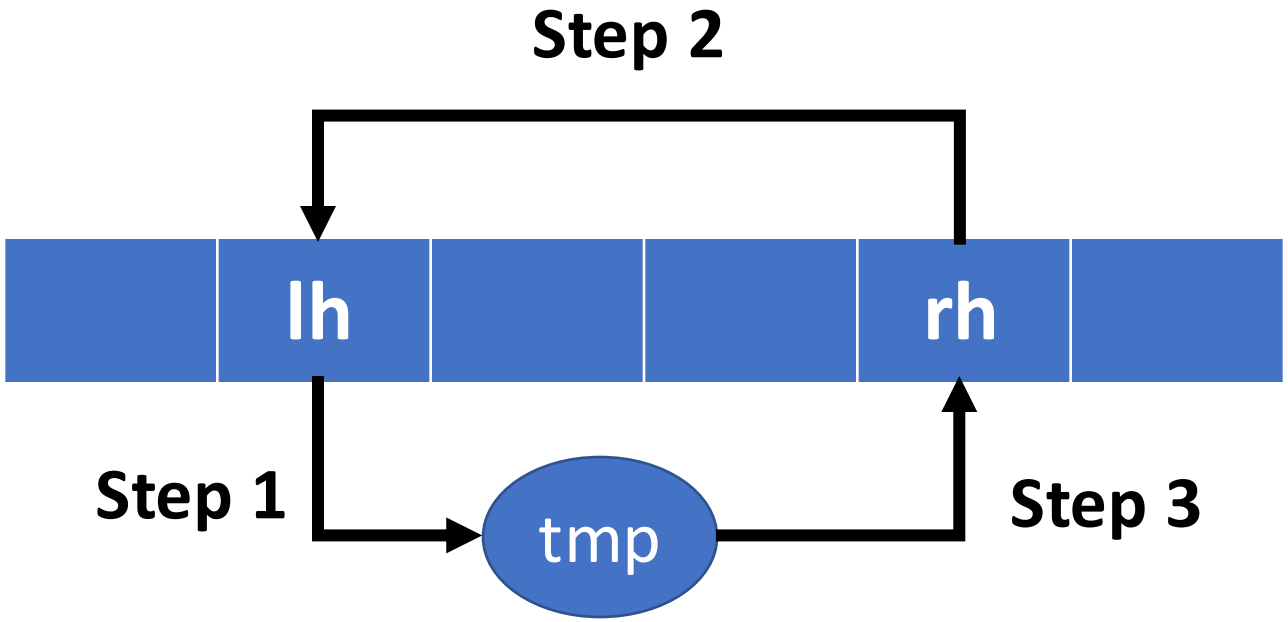
5 3 4 1 2

```
int lh, rh, array;
输入要排序的元素，存入array;
for (lh = 0; lh < n; lh++)
    {在array的从lh到n-1的元素之间找出最小元素，记录其位置rh;
     交换下标 lh和 rh中的值;}//升序排列
输出排好序的元素;
```

如何将数组中两个元素互换

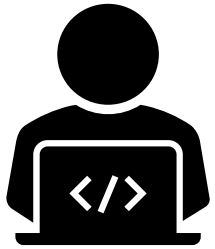
```
array[lh] = array[rh];
array[rh] = array[lh] ;
```

```
tmp = array[lh];
array[lh] = array[rh];
array[rh] = tmp;
```



选择排序算法的代码实现

```
int lh, rh, array;
输入要排序的元素，存入array;
for (lh = 0; lh < n; lh++)
    {在array的从lh到n-1的元素之间
找出最小元素，记录其位置rh;
     交换下标 lh和 rh中的值;}
输出排好序的元素;
```



代码演示

chapter5-selectionSort.cpp

```
int main( )
{  int lh, rh, k, tmp;
       int array[ ] = {2, 5, 1, 9, 10, 0, 4, 8, 7, 6};
       for (lh = 0; lh < 10; lh++)
       {
              rh = lh;
              for (k = lh; k < 10; ++k)
                     if ( array[k] < array[rh] ) rh = k;
              tmp = array[lh];
              array[lh] = array[rh];
              array[rh] = tmp;
       }
for (lh =0; lh<10; ++lh) cout << array[lh] << ' ';
return 0;
}
```

选择排序的效率

- 对n个元素的排序来说，找出第一个元素要比较n次，找出第二个元素比较n-1次，…，找出第n个元素比较一次。因此，总的比较次数为：

$$1 + 2 + 3 + \ldots + n = n(n+1)/2$$

则称时间复杂性为$O(n^2)$

章节回顾

- 数组两大特性：同类型，内存中有序排放
- 数组的初始化、下标越界
- 二分查找算法
  - 二分查找的思路
  - 要求熟练掌握并能快速实现
- 排序算法
  - 选择排序

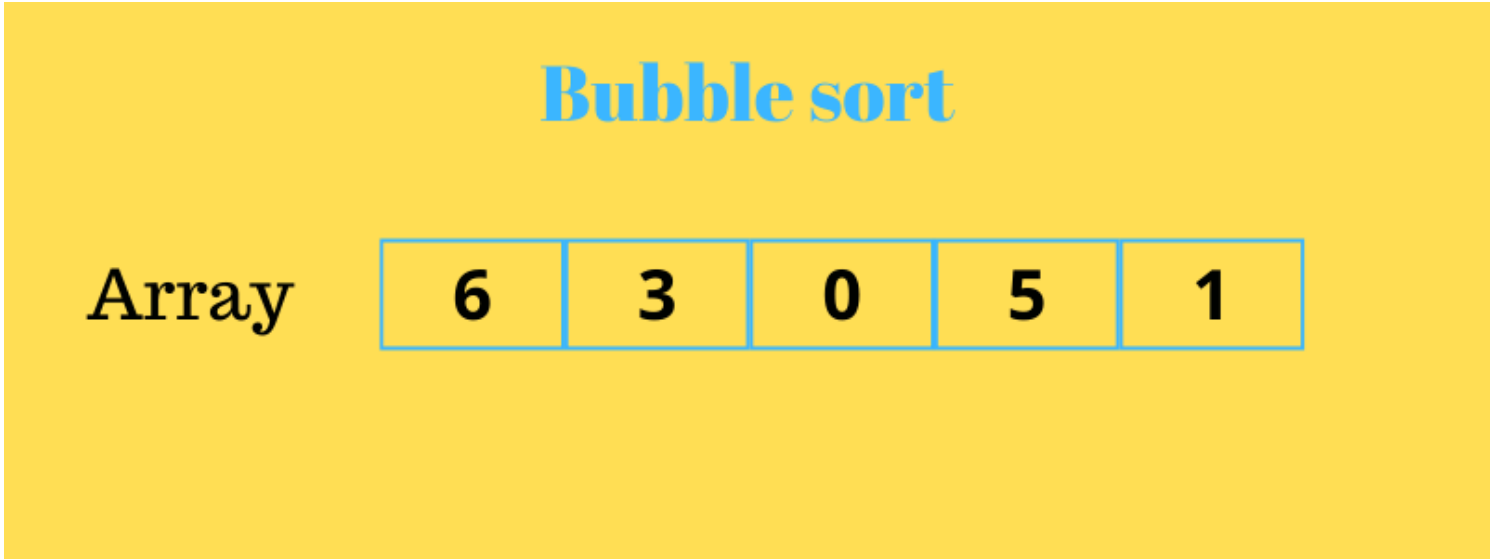
冒泡排序法
(Bubble Sort)

冒泡排序法

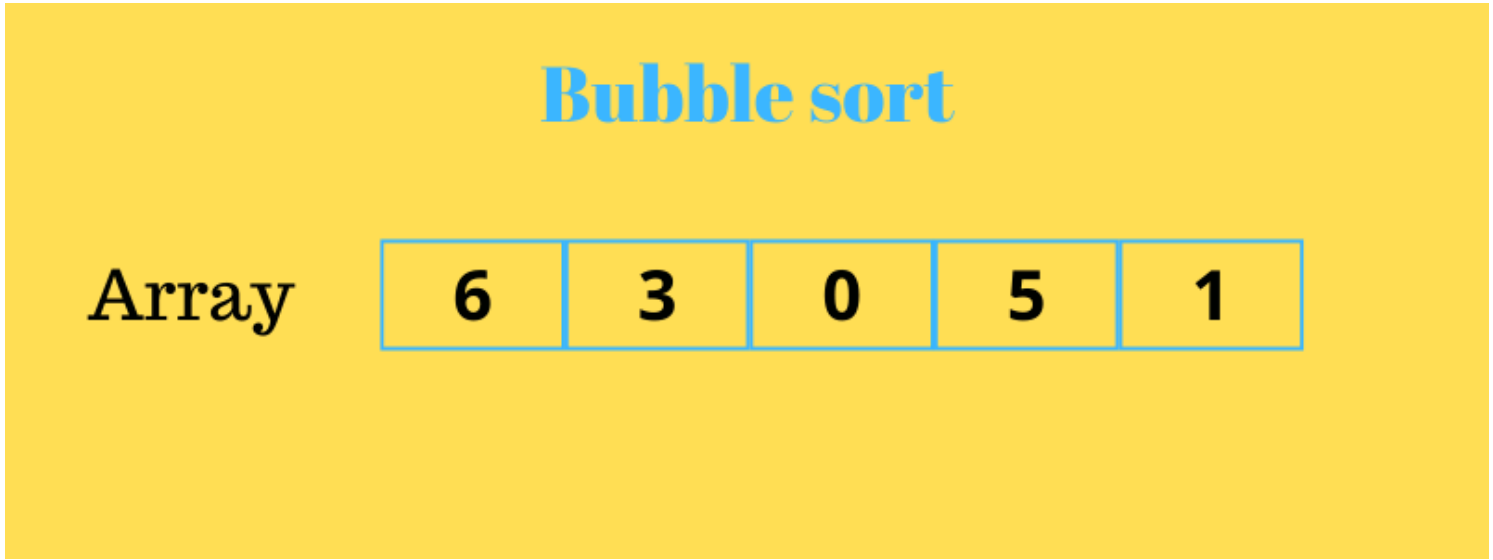
- 对数组元素进行扫描。第一遍扫描冒出一个最大的气泡，放入最后一个位置。然后对剩余元素再进行第二次冒泡，冒出最大的泡放入倒数第二个位置，依次执行到最后一个元素

冒泡排序法

- 对数组元素进行扫描。第一遍扫描冒出一个最大的气泡，放入最后一个位置。然后对剩余元素再进行第二次冒泡，冒出最大的泡放入倒数第二个位置，依次执行到最后一个元素
- 如何放置：比较相邻的两个元素，如果大的在前小的在后，就交换这两个元素。这样经过从头到尾的检查，最大的一个就被交换到最后了。**每一遍都会排好一个元素**



冒泡排序算法



- **如果在一次起泡中没有发生交换，则表示数据都已排好序，不需要再进行起泡**

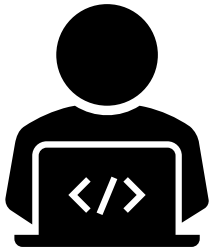
For (i=1; i<n; ++i)

从元素0到元素n-i进行冒泡，最大的泡放入元素n-i；

冒泡排序算法的代码实现

```
int main()
{
	int a[ ] = { 0, 3, 5, 1, 8, 7, 9, 4, 2, 10, 6};
	int i, j, tmp, n = 11;
	bool flag;
	for (i=1; i<n; ++i) { //控制循环次数
		flag = false;
		for (j=0; j<n-i; ++j) // 第i次结束时，最后i个已经排好
			if (a[j+1] < a[j]){
				tmp = a[j]; a[j] = a[j+1];
				a[j+1] = tmp;
				flag = true;
			}
			if (!flag) break;/* 一趟冒泡中没有发生交换，排序结束*/
	}

	for (i=0; i<n; ++i) cout << a[i] << ' ';
	return 0;
}
```



代码演示

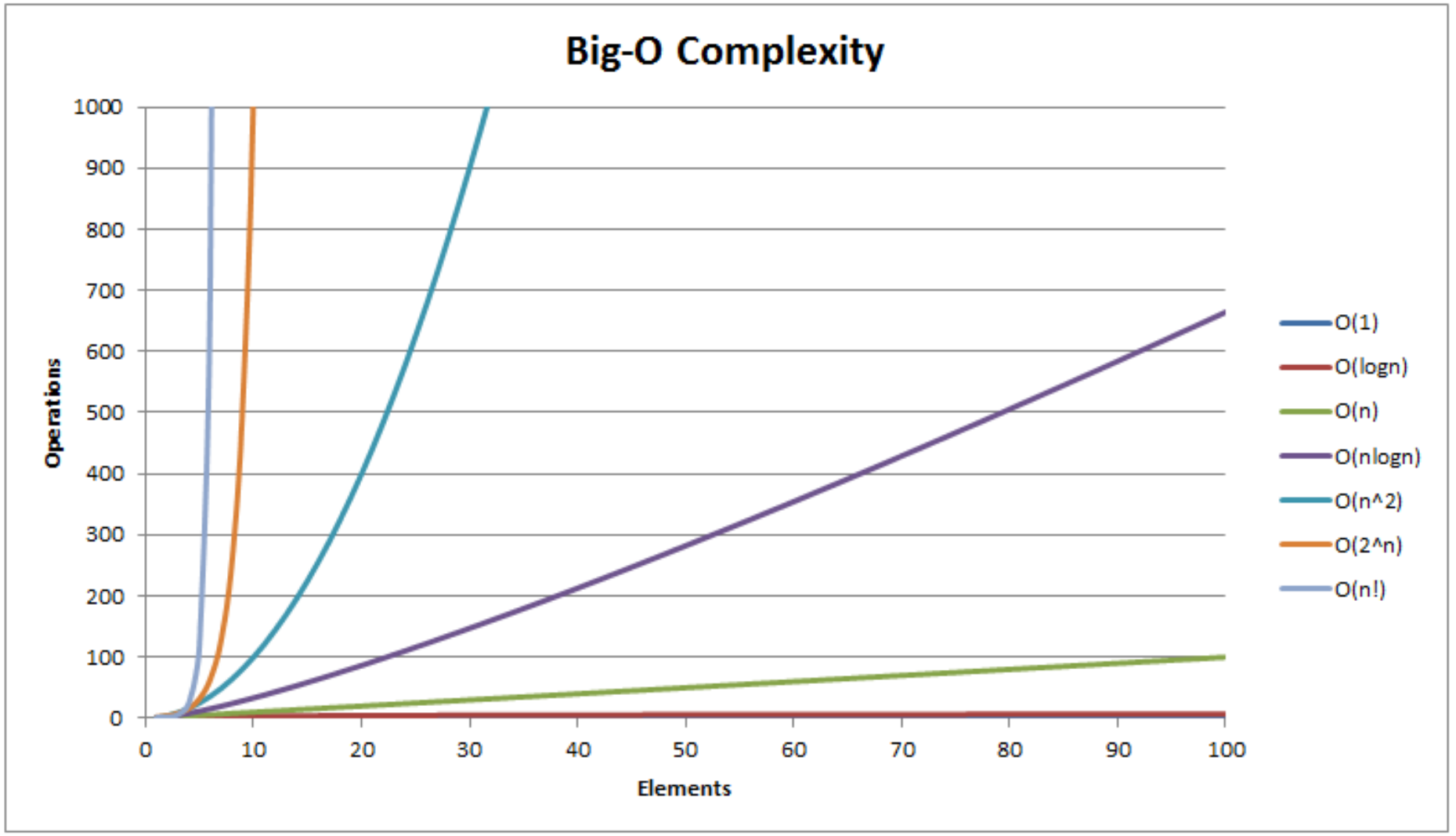
chapter5-bubbleSort.cpp

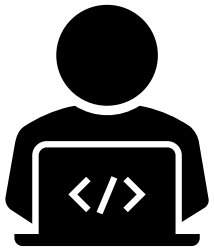
冒泡排序的复杂度分析

- 对n个元素的排序来说，找出第一个元素要比较n次，找出第二个元素比较n-1次，…，找出第n个元素比较一次。因此，总的比较次数为：

  $n + n\text{-}1 + n\text{-}2 + \ldots + 1 = n(n+1)/2$

  时间复杂度也为$O(n^2)$





代码演示

chapter5-sort-time-compare.cpp

其他查找和排序算法

- 查找算法集合： https://www.geeksforgeeks.org/searching-algorithms/
- 排序算法集合：https://www.geeksforgeeks.org/sorting-algorithms/