第七章 模板与泛型编程

2020 年 10 月 26 日

代码复用

是什么在影响我们的开发效率?

只谈程序员自身因素，06年写过的一段，供参考

熟练人员经过多年的积累加上自己的CodeSnip的总结，基本不用额外再查找资料。而一般的开发人员在开发过程中会花掉10-20%时间去查找资料。

熟练人员注意代码复用，并且时刻注意重构和抽取公用代码。一般开发人员是代码拷来拷去完成功能。

熟练人员非常注意查找，定位，标签等各种快捷键的使用，定位查找方便快捷，IDE环境也根据习惯定义到最方便状态。

熟练人员编码前先思考清楚整个流程，在头脑或纸张上规划好整个实现方式和方法函数的划分。一般人员想到哪里写到哪里。

熟练人员写了50行以上或更多代码才Debug一两次，一般人员写了几行代码就要Debug多次，完全通过Debug来验证代码正确性。

熟练人员注重代码的质量，单元测试和可维护性，注重各种业务逻辑的验证和边界条件的校验。一般人员只注重简单功能的简单完成。

代码复用

是什么在影响我们的开发效率?

只谈程序员自身因素，06年写过的一段，供参考

熟练人员经过多年的积累加上自己的CodeSnip的总结，基本不用额外再查找资料。而一般的开发人员在开发过程中会花掉10-20%时间去查找资料。

熟练人员注意代码复用，并且时刻注意重构和抽取公用代码。一般开发人员是代码拷来拷去完成功能。

熟练人员非常注意查找，定位，标签等各种快捷键的使用，定位查找方便快捷，IDE环境也根据习惯定义到最方便状态。

熟练人员编码前先思考清楚整个流程，在头脑或纸张上规划好整个实现方式和方法函数的划分。一般人员想到哪里写到哪里。

熟练人员写了50行以上或更多代码才Debug一两次，一般人员写了几行代码就要Debug多次，完全通过Debug来验证代码正确性。

熟练人员注重代码的质量，单元测试和可维护性，注重各种业务逻辑的验证和边界条件的校验。一般人员只注重简单功能的简单完成。

代码复用

是什么在影响我们的开发效率?

只谈程序员自身因素，06年写过的一段，供参考

熟练人员经过多年的积累加上自己的CodeSnip的总结，基本不用额外再查找资料。而一般的开发人员在开发过程中会花掉10-20%时间去查找资料。

熟练人员注意代码复用，并且时刻注意重构和抽取公用代码。一般开发人员是代码拷来拷去完成功能。

熟练人员非常注意查找，定位，标签等各种快捷键的使用，定位查找方便快捷，IDE环境也根据习惯定义到最方便状态。

熟练人员编码前先思考清楚整个流程，在头脑或纸张上规划好整个实现方式和方法函数的划分。一般人员想到哪里写到哪里。

熟练人员写了50行以上或更多代码才Debug一两次，一般人员写了几行代码就要Debug多次，完全通过Debug来验证代码正确性。

熟练人员注重代码的质量，单元测试和可维护性，注重各种业务逻辑的验证和边界条件的校验。一般人员只注重简单功能的简单完成。

目录

学习目标

1. 掌握模板的定义和基本使用方法，包括函数模板和类模板；
2. 学会运用模板实现泛型编程；
3. 掌握常用排序算法和二分查找算法。

7.2 类模板

类似函数模板，可以定义一个类模板用来生成具有相同结构的一族类实例：

Array 类模板定义

```
template<typename T, size_t N>
class Array {
    T m_ele[N];
public:
    Array() {}
    Array(const std::initializer_list<T> &);
    T& operator[](size_t i);
    constexpr size_t size() { return N; }
};
```

说明

- 类型参数 `T` 和非类型参数 `N`，分别用来表示元素的类型和元素的数目
- `initializer_list` 类型是 C++11 标准库提供的新类型，支持具有相同类型但数量未知的列表类型

7.2.1 成员函数定义

与普通类相同，既可以在类的内部，也可以在类的外部定义类模板成员函数：

Array 类模板 构造函数 类外定义

```
template<typename T, size_t N>
Array<T, N>::Array(const std::initializer_list<T> &l):m_ele
  {T()}{
    size_t m = l.size() < N ? l.size() : N;
    for (size_t i = 0; i < m; ++i) {
        m_ele[i] = *(l.begin() + i);
    }
}
```

说明

- 必须以关键字 `template` 开始，后接与类模板相同的模板参数列表
- 紧随类名后面的参数列表代表一个实例化的实参列表，每个参数不需要 `typename` 或 `class` 说明符

7.2.1 成员函数定义

与普通类相同，既可以在类的内部，也可以在类的外部定义类模板成员函数：

Array 类模板 构造函数 类外定义

```
template<typename T, size_t N>
Array<T, N>::Array(const std::initializer_list<T> &l):m_ele
  {T()}{
    size_t m = l.size() < N ? l.size() : N;
    for (size_t i = 0; i < m; ++i) {
        m_ele[i] = *(l.begin() + i);
    }
}
```

说明

- `m_ele` 中的每一个元素用 `T` 类型的默认初始化方式初始化
- 将形参 `l` 中的元素依次复制
- `l.begin` 返回列表 `l` 中第一个元素的迭代器

7.2.1 成员函数定义

与普通类相同，既可以在类的内部，也可以在类的外部定义类模板成员函数：

Array 类模板 构造函数 类外定义

```
template<typename T, size_t N>
Array<T, N>::Array(const std::initializer_list<T> &l):m_ele
  {T()}{
    size_t m = l.size() < N ? l.size() : N;
    for (size_t i = 0; i < m; ++i) {
        m_ele[i] = *(l.begin() + i);
    }
}
```

说明

- `m_ele` 中的每一个元素用 `T` 类型的默认初始化方式初始化
- 将形参 `l` 中的元素依次复制
- `l.begin` 返回列表 `l` 中第一个元素的迭代器

Array 类模板 [] 运算符函数 类外定义

```
template<typename T, size_t N>
T& Array<T, N>::operator[](size_t i) {
    return m_ele[i];
}
```

说明

类模板的下标运算符函数返回数组 `m_ele` 中第 `i` 个元素的引用

7.2.2 实例化类模板

当使用一个类模板时，我们需要显式提供模板参数信息，即模板实参列表:

实例化 Array 类模板

```
Array<char, 5> a; //创建一个Array<char, 5>类型对象 a
Array<int, 5> b = {1,2,3}; //创建一个Array<int, 5>类型对象 b
```

说明

创建对象 b 时，将执行具有形参的构造函数，其形参 l 接受初始化列表 {1,2,3}，其余元素具有默认值 0

7.2.2 实例化类模板

当使用一个类模板时，我们需要显式提供模板参数信息，即模板实参列表:

实例化 Array 类模板

```
Array<char, 5> a; //创建一个Array<char, 5>类型对象 a
Array<int, 5> b = {1,2,3}; //创建一个Array<int, 5>类型对象 b
```

说明

创建对象 b 时，将执行具有形参的构造函数，其形参 l 接受初始化列表 {1,2,3}，其余元素具有默认值 0

下面代码逐个输出对象 b 的每一个元素:

```
for (int i = 0; i < b.size(); ++i)
    cout << b[i] << " ";
```

输出结果为: 1 2 3 0 0

7.2.3 默认模板参数

函数参数可以具有默认值，模板参数同样也可以有默认值：

Array 类模板定义二

```
template<typename T = int, size_t N = 10>
class Array {
    // 其它成员保持不变
};
```

说明

- 类模板参数 T 具有默认类型 int
- 类模板参数 N 具有默认值 10

7.2.3 默认模板参数

函数参数可以具有默认值，模板参数同样也可以有默认值：

Array 类模板定义二

```
template<typename T = int, size_t N = 10>
class Array {
    // 其它成员保持不变
};
```

实例化 Array 类模板二

```
Array<> a = { 'A' };
cout << a.size() << " " << a[0] << endl;
```

输出结果为：10 65

说明

- 类模板参数 T 具有默认类型 int
- 类模板参数 N 具有默认值 10

说明

- a 的元素数目为默认值 10
- a[0] 的类型为 int，字符'A' 转换为 65

7.2.3 默认模板参数

为函数模板参数提供默认值：

Array 类模板定义三

```
template<typename T, size_t N = 10>
class Array {
    // 其它成员保持不变
public:
    template<typename F = Less<T>>
    void sort(F f = F());
};
```

说明

- 新增了一个成员函数模板 `sort`，用来对数组进行排序
- `sort` 的函数模板参数 `F` 具有默认值 `Less<T>`

7.2.3 默认模板参数

为函数模板参数提供默认值：

Array 类模板定义三

```
template<typename T, size_t N = 10>
class Array {
    // 其它成员保持不变
public:
    template<typename F = Less<T>>
    void sort(F f = F());
};
```

Less 类模板定义

```
template<typename T>
struct Less{
    bool operator()(const T &a, const T &b) {
        return a < b;
    }
};
```

说明

- 新增了一个成员函数模板 sort，用来对数组进行排序
- sort 的函数模板参数 F 具有默认值 Less<T>

说明

类模板 Less<T> 具有一个模板参数 T，且只有一个函数调用运算符，该成员函数带有两个形参，用来比较两个形参的大小，返回值类型为 bool

7.2.3 默认模板参数

和类模板参数一样，函数模板参数也可以有默认值：

Array 类模板定义三

```
template<typename T, size_t N = 10>
class Array {
    // 其它成员保持不变
public:
    template<typename F = Less<T>>
    void sort(F f = F());
};
```

说明

- sort 的函数参数 f 也有默认值，即 F 类的一个函数对象，代表默认比较方式为 Less

7.2.3 默认模板参数

和类模板参数一样，函数模板参数也可以有默认值：

Array 类模板定义三

```
template<typename T, size_t N = 10>
class Array {
    // 其它成员保持不变
public:
    template<typename F = Less<T>>
    void sort(F f = F());
};
```

说明

- sort 的函数参数 f 也有默认值，即 F 类的一个函数对象，代表默认比较方式为 Less

问题

理清 函数参数和模板参数的概念

7.3.1 排序算法

排序是数据处理的最基本任务，目的是按照某种规则将一组无序数据重新排列，使之有序。

7.3.1 排序算法

排序是数据处理的最基本任务，目的是按照某种规则将一组无序数据重新排列，使之有序。

Array 类模板定义四

```
template<typename T, size_t N>
class Array {
public:
    template<typename F = Less<T> >
    void selectionSort(F f = F()); //选择排序
    template<typename F = Less<T> >
    void insertionSort(F f = F()); //插入排序
    template<typename F = Less<T> >
    void bubbleSort(F f = F());    //冒泡排序
private:
    void swap(int i, int j){
        T t = m_ele[i];
        m_ele[i] = m_ele[j];
        m_ele[j] = t;
    }
};
```

说明

成员 swap 函数用来交换两个元素的位置，它仅在 Array 类内部使用，因此它的访问属性为 private

7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面

排序前

7.3.1 排序算法 — 选择排序

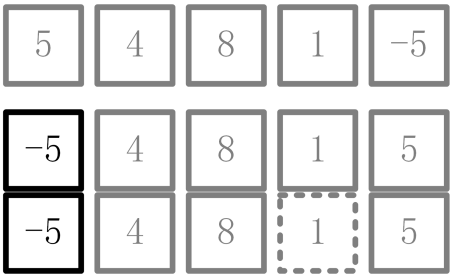
每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面

7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面

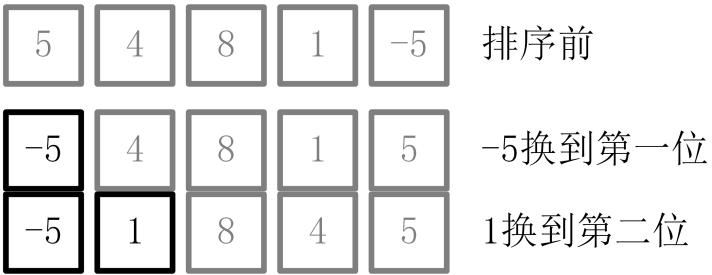
7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面



7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面

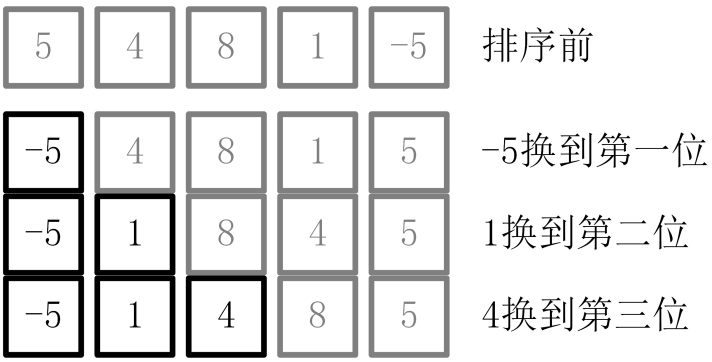


7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面

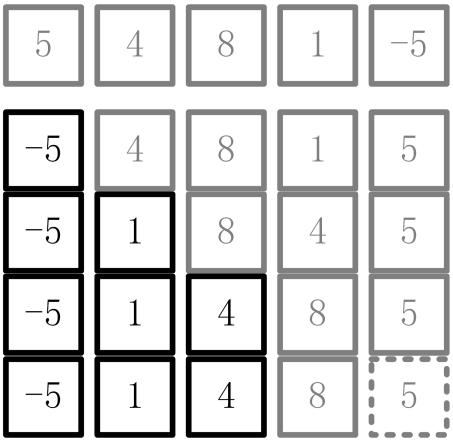
7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面



7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面

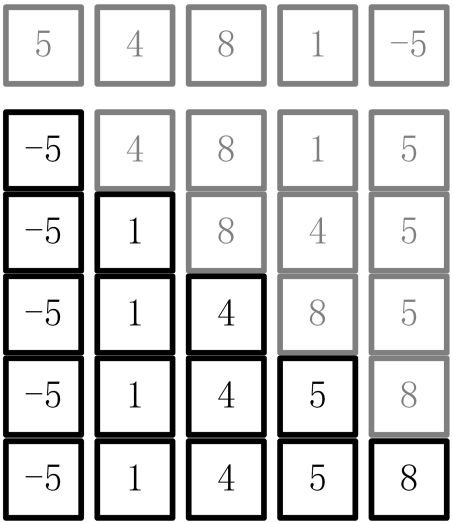


7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面

7.3.1 排序算法 — 选择排序

每次在待排序元素中选择最小的一个，换放到已排序数列后面



7.3.1 排序算法 — 选择排序

选择排序算法的实现如下：

Array 成员函数 selectionSort 定义

```
template<typename T, size_t N>
template<typename F >
void Array<T, N>::selectionSort(F f) {
    for (int i = 0; i < N - 1; ++i){
        int min = i;      // 记录待排序数据中最小元素位置
        for (int j = i + 1; j < N; ++j) {
            if (f(m_ele[j], m_ele[min]))
                min = j;  //更新最小元素位置
        }
        swap(i, min);     //把最小元素放到位置i
    }
}
```

说明

if 语句里的条件表达式将调用函数对象 f (Less<T>)，检查第一个实参对象是否小于第二个实参对象

7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中

排序前

7.3.1 排序算法 — 插入排序

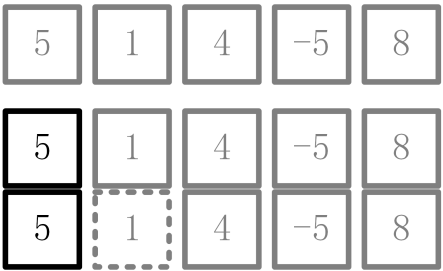
将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中

排序前

前一位为有序数列

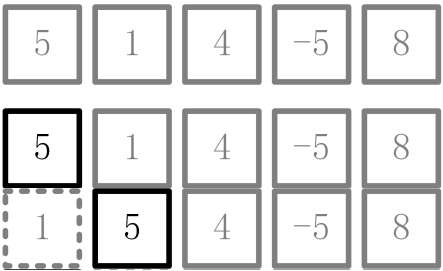
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



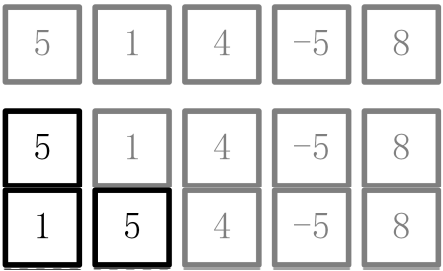
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



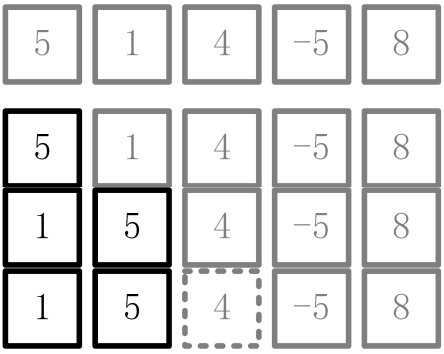
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



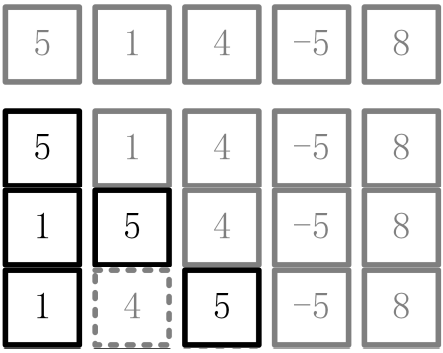
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



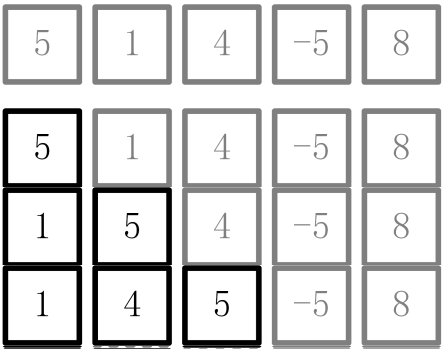
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



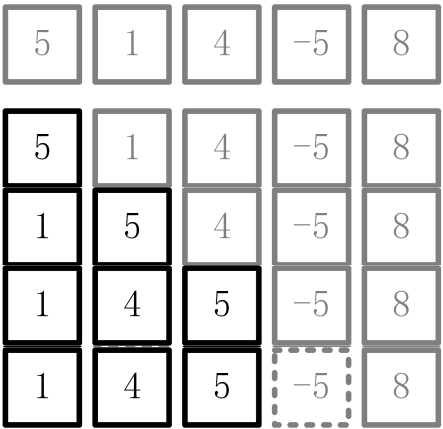
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



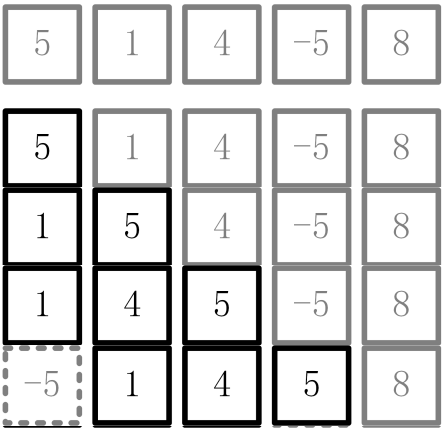
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



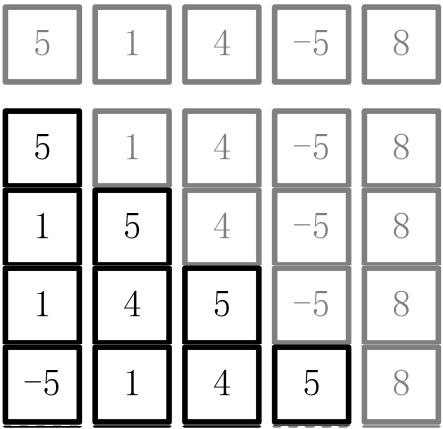
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



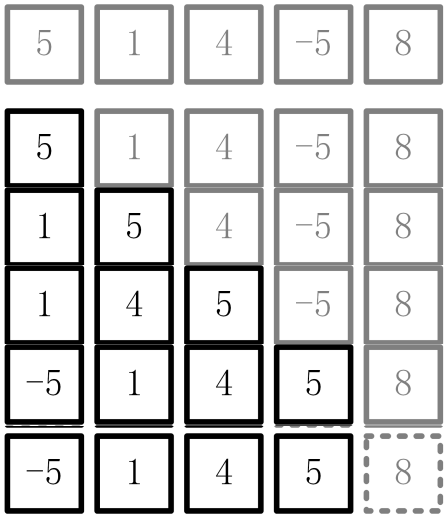
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



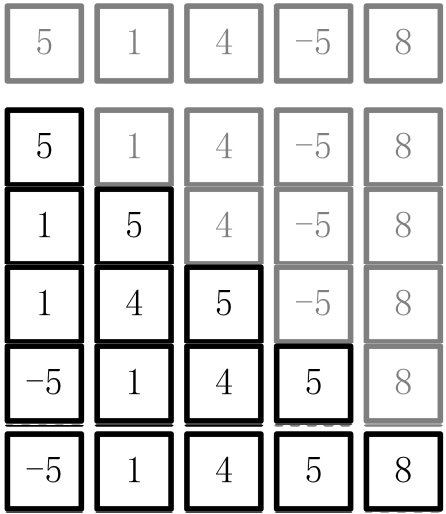
7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



7.3.1 排序算法 — 插入排序

将待排序的元素逐个插入已经排好序的元素序列中



7.3.1 排序算法 — 插入排序

插入排序算法的实现如下：

Array 成员函数 insertionSort 定义

```
template<typename T, size_t N>
template<typename F >
void Array<T, N>::insertionSort(F f) {
    for (int i = 1, j; i < N; ++i) {
        T t = m_ele[i];              //待插入元素
        for (j = i; j > 0; --j) {    //查找插入位置
            if (f(m_ele[j - 1], t))
                break;
            m_ele[j] = m_ele[j - 1]; //逐个向后移动元素
        }
        m_ele[j] = t;                //将待插入元素放到正确位置
    }
}
```

7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换

排序前

7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

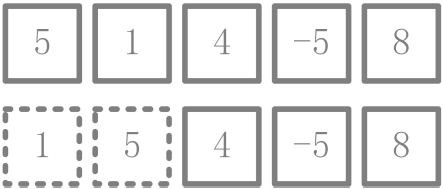
不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换

排序前

5>1

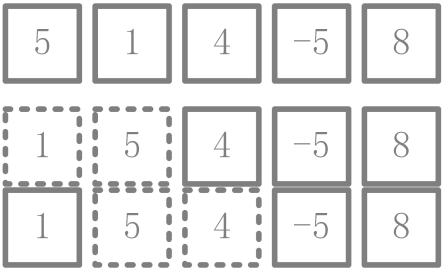
7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换



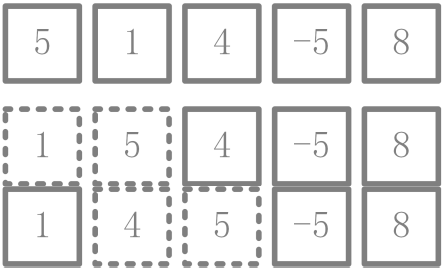
7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换



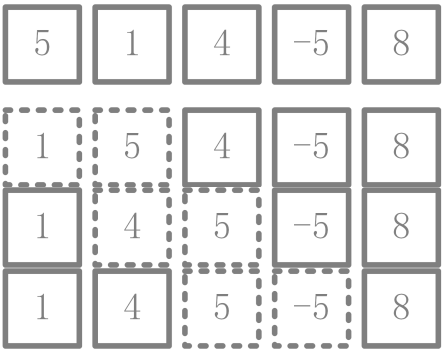
7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换



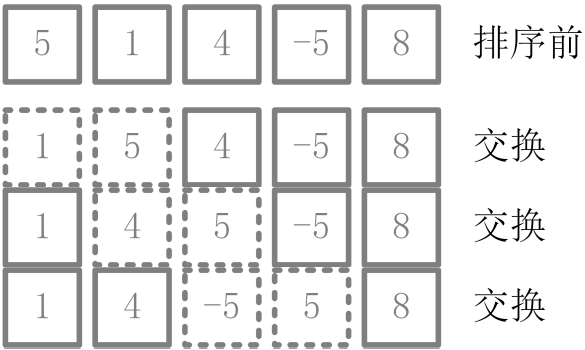
7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换



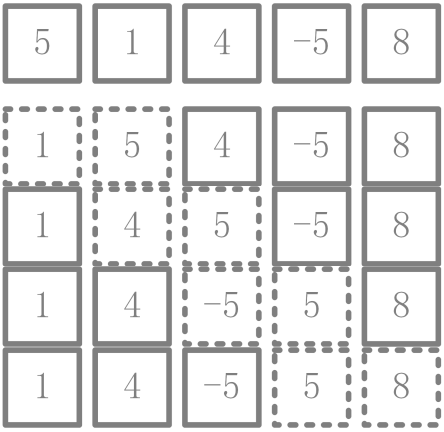
7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换



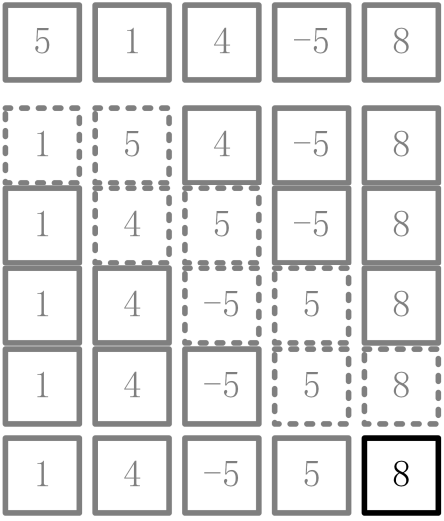
7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换



7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

不断比较相邻的两个元素，如果发现逆序则交换



7.3.1 排序算法 — 冒泡排序

冒泡排序算法的实现如下：

Array 成员函数 selectionSort 定义

```
template<typename T, size_t N>
template<typename F >
void Array<T, N>::bubbleSort(F f){
    for (int i = N - 1; i >= 0; --i){
        for (int j = 0; j <= i - 1; ++j){
            if (f(m_ele[j + 1], m_ele[j]))
                swap(j, j + 1); //相邻元素交换
        }
    }
}
```

7.3.1 排序算法 — 快速排序

快速排序

快速排序是冒泡排序的改进，在排序过程中数据移动少。

7.3.1 排序算法 — 快速排序

快速排序

快速排序是冒泡排序的改进，在排序过程中数据移动少。

快速排序的基本思想

基本思想：划分和分治递归。

1. 划分：将整个数组划分为两个部分，第一部分所有值小于基准值（key），第二部分所以值大于基准值（key）。(基准值的选择是随机的，一般选择待排数组的第一个元素)。
2. 分治递归：第一步将数组划分为两部分后，两部分内部还不是有序的，再分别对两部分递归地进行快速排序，最终得到一个完整的有序数组

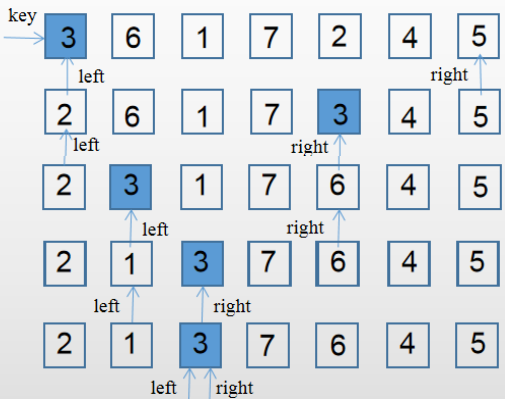
7.3.1 快速排序

快速排序的流程

(1) left、right 指针（索引）分别指向待排数组的首、尾。
(2) left 指针向后遍历，right 指针向前遍历。
(3) 当 right 指针指向元素小于基准值（key）时，right 指针元素便赋值给 left 指针元素，完成转移。
(4) 当 left 指针指向元素大于基准值（key）时，left 指针元素便赋值给 right 指针元素，完成转移。
(5) 最终当 left=right 时，遍历结束。
(6) 以基准值（key）为界限，把数组分成两部分，分别对这两部分进行快速排序 (显然这是一个递归的过程)

7.3.1 快速排序

快速排序的举例



无序数组，第一个元素为基准值

right向左遍历，找出小于基准值
的第一个元素2，交换right和left指向的元素

left向右遍历，找出大于于基准值的第一个元素6，
交换left和right指向的元素

right继续向左遍历，找出小于基准值
的第一个元素1，交换right和left指向的元素

left继续向右遍历，此时left=right，以基准值为界，
分两部分，继续进行快速排序

7.3.1 快速排序

快速排序的举例续

7.3.1 排序算法 — 快速排序

快速排序算法的实现如下：

```
template<typename T, size_t N>
template<typename F >
void Array<T, N>::quickSort(int left, int right, F f) {
    if (left < right){
        int i = left, j = right;
        T x = m_ele[left];
        while (i < j){
            while (i < j && f(x,m_ele[j])) j--; // 从右向左找第一个小于x的数
            if (i < j)   m_ele[i++] = m_ele[j];
            while (i < j && f(m_ele[i],x)) i++; // 从左向右找第一个大于等于x的数
            if (i < j) m_ele[j--] = m_ele[i];
        }
        m_ele[i] = x;
        quickSort(left, i - 1, f);        //左半部分排序
        quickSort(i + 1, right, f);      //右半部分排序
    }
}
```

7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之

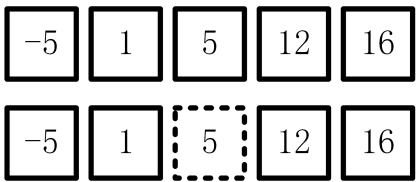
7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之

在有序数列中查找16

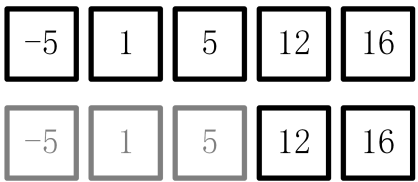
7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之



7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之



7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之

在有序数列中查找16

中点位置为12，12<16

7.3.2 二分查找算法

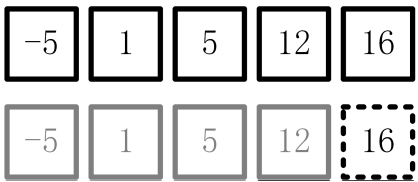
又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之

在有序数列中查找16

在右半序列继续查找

7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之

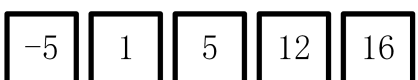


7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之

在有序数列中查找16

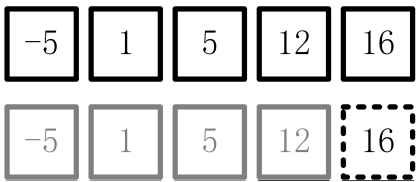
中点位置为16。返回此位置

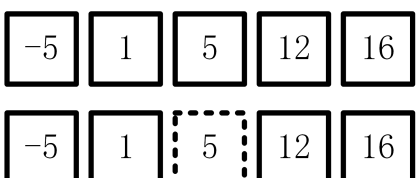


在有序数列中查找0

7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之



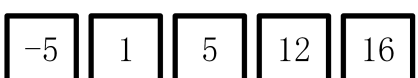


7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之

在有序数列中查找16

中点位置为16。返回此位置

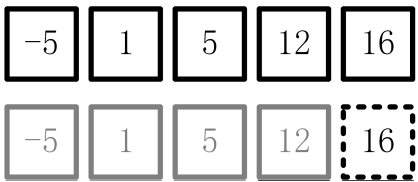


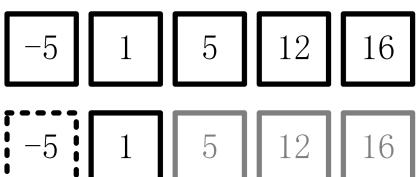
在有序数列中查找0

在左半序列继续查找

7.3.2 二分查找算法

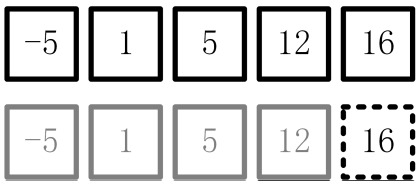
又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之





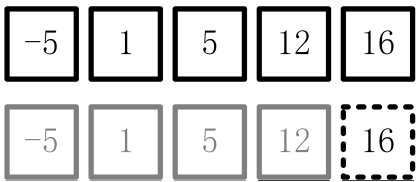
7.3.2 二分查找算法

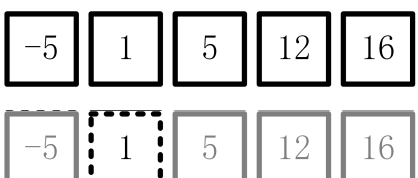
又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之



7.3.2 二分查找算法

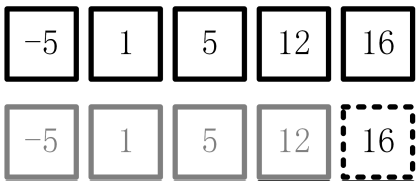
又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之





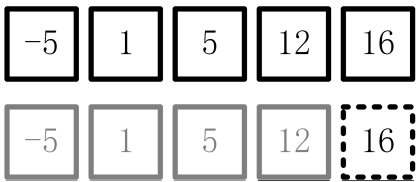
7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之



7.3.2 二分查找算法

又称折半查找，在有序序列中使用，其基本思想为分而治之



7.3.2 二分查找算法

二分查找算法的实现如下：

Array 成员函数 binarySearch 定义

```
template<typename T, size_t N>
int Array<T, N>::binarySearch(const T &value, int left, int
   right) {
    while (left <= right) {
        int middle = (left + right) / 2; //计算中点位置
        if (m_ele[middle] == value)
            return middle;
        else if (m_ele[middle] > value)
            right = middle - 1;          //修改right
        else
            left = middle + 1;           //修改left
    }
    return -1;                           //查找失败
}
```

说明

- value 小于中点位置元素，将 right 设为 middle-1
- value 大于中点位置元素，将 left 设为 middle+1
- 查找失败则返回-1

7.3.2 二分查找算法

二分查找算法的实现如下：

Array 成员函数 binarySearch 定义

```
template<typename T, size_t N>
int Array<T, N>::binarySearch(const T &value, int left, int
   right) {
    while (left <= right) {
        int middle = (left + right) / 2; //计算中点位置
        if (m_ele[middle] == value)
            return middle;
        else if (m_ele[middle] > value)
            right = middle - 1;          //修改right
        else
            left = middle + 1;           //修改left
    }
    return -1;                           //查找失败
}
```

说明

- value 小于中点位置元素，将 right 设为 middle-1
- value 大于中点位置元素，将 left 设为 middle+1
- 查找失败则返回-1

问题

查找 4 返回时，left 和 right 的值是多少？

7.3.2 二分查找算法

二分查找算法的实现如下：

Array 成员函数 binarySearch 定义

```
template<typename T, size_t N>
int Array<T, N>::binarySearch(const T &value, int left, int
   right) {
    while (left <= right) {
        int middle = (left + right) / 2; //计算中点位置
        if (m_ele[middle] == value)
            return middle;
        else if (m_ele[middle] > value)
            right = middle - 1;          //修改right
        else
            left = middle + 1;           //修改left
    }
    return -1;                           //查找失败
}
```

说明

- value 小于中点位置元素，将 right 设为 middle-1
- value 大于中点位置元素，将 left 设为 middle+1
- 查找失败则返回-1

问题

查找 4 返回时，left 和 right 的值是多少？

答案

left 为 2，right 为 1

7.3.2 改进插入排序算法效率

问题

如何改进插入排序算法的效率?

本章结束

作业

1. 在线提交系统：第七章作业
2. 检查日期：待定