****

**数据结构课程设计**

**项目说明文档**

**排序算法比较系统**

姓 名： 马小龙

学 号： 2353814

学 院：计算机科学与技术学院（软件学院）

专 业： 软件工程

指导教师： 张颖

二〇二三年十一月二十六日

**目录**

第1章 项目分析....................................................1

1.1 项目背景分析...............................................1

1.2 项目需求分析...............................................1

1.3 项目功能分析...............................................1

1.3.1 随机数生成功能........................................2

1.3.2 排序算法实现..........................................2

1.3.2.1 冒泡排序........................................2

1.3.2.2 选择排序........................................2

1.3.2.3 插入排序........................................2

1.3.2.4 希尔排序........................................2

1.3.2.5 快速排序........................................2

1.3.2.6 堆排序..........................................2

1.3.2.7 归并排序........................................3

1.3.2.8 基数排序........................................3

1.3.3 算法性能分析功能......................................3

1.3.4 异常处理功能..........................................3

第2章 项目设计....................................................4

2.1 数据结构设计...............................................4

2.2 模板设计...................................................4

2.3 项目框架设计...............................................4

2.3.1 项目框架流程图.......................................4

2.3.2 项目框架流程.........................................5

第3章 项目功能实现................................................6

3.1 项目主体架构...............................................6

3.1.1 实现思路.............................................6

3.1.2 流程图...............................................6

3.1.3 核心代码.............................................7

3.1.4 示例.................................................9

3.2 排序算法实现...............................................10

3.2.1 冒泡排序.............................................10

3.2.1.1 实现思路.......................................10

3.2.1.2 核心代码.......................................10

3.2.1.3 性能分析.......................................10

3.2.2 选择排序.............................................11

3.2.2.1 实现思路.......................................11

3.2.2.2 核心代码.......................................11

3.2.2.3 性能分析.......................................11

3.2.3 插入排序.............................................12

3.2.3.1 实现思路.......................................12

3.2.3.2 核心代码.......................................12

3.2.3.3 性能分析.......................................13

3.2.4 希尔排序.............................................13

3.2.4.1 实现思路.......................................13

3.2.4.2 核心代码.......................................13

3.2.4.3 性能分析.......................................14

3.2.5 快速排序.............................................14

3.2.5.1 实现思路.......................................14

3.2.5.2 核心代码.......................................15

3.2.5.3 性能分析.......................................15

3.2.6 堆排序...............................................16

3.2.6.1 实现思路.......................................16

3.2.6.2 核心代码.......................................16

3.2.6.3 性能分析.......................................17

3.2.7 归并排序.............................................17

3.2.7.1 实现思路.......................................17

3.2.7.2 核心代码.......................................17

3.2.7.3 性能分析.......................................18

3.2.8 基数排序.............................................19

3.2.8.1 实现思路.......................................19

3.2.8.2 核心代码.......................................19

3.2.8.3 性能分析.......................................20

3.9 异常处理功能...............................................20

3.9.1 输入非法的异常处理...................................20

3.9.1.1 随机数个数输入非法的异常处理...................20

3.9.1.2 操作类型输入非法的异常处理.....................21

3.9.2 动态内存申请失败的异常处理...........................21

第4章 项目测试....................................................22

4.1 输入功能测试...............................................22

4.1.1 随机数个数输入功能测试...............................22

4.1.2 操作类型输入功能测试.................................22

4.2 排序算法正确性验证.........................................23

第5章 相关说明....................................................24

5.1 编程语言...................................................24

5.2 Windows 环境...............................................24

5.3 Linux 环境.................................................24

**第1章 项目分析**

1.1 项目背景分析

排序算法是计算机科学和数据处理的重要内容，其应用贯穿于多种场景，如搜索优化、数据库管理和统计分析。掌握不同排序算法的性能特征，有助于在不同需求场景中选择适宜的排序策略。

在计算机发展早期，计算资源有限，排序算法的效率尤为重要；而在现代，随着硬件性能的提升，算法的稳定性、扩展性以及在海量数据中的表现成为新的关注点。

本项目旨在实现一个排序算法比较系统，允许用户输入待排序的数据，并根据选择的排序算法对其进行排序，最终输出排序结果及相关的性能指标，如排序所用时间和比较次数。用户可以选择多种常见的排序算法进行测试，包括冒泡排序、选择排序、插入排序、希尔排序、快速排序、堆排序、归并排序和基数排序。系统将通过比较不同算法的效率，帮助用户了解每种排序算法的性能差异。

1.2 项目需求分析

为了更好地理解和评估多种排序算法，本项目需要实现多种排序算法的实现，包括冒泡排序、插入排序、选择排序、希尔排序、快速排序、堆排序、归并排序和基数排序，以进行进一步分析；同时，本项目还需要实现随机生成数据集合，为程序测试提供样本；此外，项目还需要测量并记录各种算法在相同规模下的运行时间、比较次数，以方便对其性能进行分析。最后，项目需要处理各种异常情况，确保系统稳定运行。

技术需求包括支持Windows和Linux等操作系统，采用C++等主流编程语言，采用合适的数据结构。

1.3项目功能分析

本项目旨在实现多种不同的排序算法、生成随机数，对不同排序进行性能分析，以比较不同排序算法优劣。

1.3.1 随机数生成功能

程序需要利用随机数生成器，创建不同规模和特点的数据集，为算法测试提供多样化场景。

1.3.2 排序算法实现

1.3.2.1 冒泡排序

冒泡排序（Bubble Sort）是一种简单直观的排序算法，其核心思想是通过多次遍历数组，依次比较相邻的两个元素并交换顺序较大的元素，使其逐步“冒泡”到数组末尾。每次遍历都会将未排序部分中最大的元素放到正确位置。

1.3.2.2 选择排序

选择排序（Selection Sort）是一种简单且直观的排序算法。其基本思想是将数组分为已排序部分和未排序部分，每次从未排序部分中选择最小（或最大）的元素，将其与未排序部分的第一个元素交换位置，从而逐步扩大已排序部分。

1.3.2.3 插入排序

插入排序（Insertion Sort）是一种构造简单、适合小规模数据的排序算法。其基本思想是将数组分为已排序部分和未排序部分，每次从未排序部分取出一个元素，将其插入到已排序部分的适当位置，保持部分有序。

1.3.2.4 希尔排序

希尔排序（Shell Sort）是一种基于插入排序的改进算法，也称为缩小增量排序。其核心思想是将待排序数组按一定间隔分组，对每组分别进行插入排序，逐步减少间隔，最终间隔为1时进行一次完整的插入排序。通过提前部分排序，减少了插入排序需要的元素移动次数。

1.3.2.5 快速排序

快速排序（Quick Sort）是一种分治法的排序算法，通常被认为是最有效的排序算法之一。其基本思想是通过一个“分区”操作，将数组分为两个子数组：左侧子数组中的元素都比基准元素小，右侧子数组中的元素都比基准元素大。然后递归地对左右子数组进行排序，最终得到整个有序数组。

1.3.2.6 堆排序

堆排序（Heap Sort）是一种基于完全二叉树的排序算法，它利用堆这一数据结构来实现排序。堆排序分为两个主要阶段：先将待排序的数组构建成一个最大堆，将根节点与数组的最后一个元素交换，然后减少堆的大小（即排除最后一个元素），对新的根节点进行堆化操作，恢复最大堆结构。重复这个过程，直到堆的大小为1，排序完成。

1.3.2.7 归并排序

归并排序（Merge Sort）是一种基于分治法的排序算法，它通过将一个大问题分解成多个小问题来解决。其基本思想是将待排序的数组分成两半，递归地对每一半进行排序，然后将已排序的两半合并成一个有序的整体。归并排序首先将数组不断地二分，直到每个子数组只有一个元素；然后将这些子数组两两合并，合并时按大小顺序排列，直到整个数组合并为一个有序数组。

1.3.2.8 基数排序

基数排序（Radix Sort）是一种非比较型排序算法，主要用于处理整数或字符串等数据类型。它的基本思想是将数据按位（从低位到高位或高位到低位）逐位进行排序，通过多次排序最终得到有序序列。基数排序利用了整数的位数进行分组，而不是通过比较元素的大小来排序。排序从最低有效位（LSD, Least Significant Digit）开始，对所有元素按当前位的值进行排序。完成对最低有效位的排序后，进行下一位的排序，直到排序完所有位。每次排序需要确保使用稳定的排序算法（如计数排序）来处理每一位上的元素，以避免破坏先前排序的结果。

1.3.3 算法性能分析功能

实现对各种排序算法的性能分析，包括排序花费时间以及比较次数。

1.3.4 异常处理功能

程序对各种异常进行了基本处理，以提升系统稳定性。

**第2章 项目设计**

2.1 数据结构设计

本项目的主要数据结构是数组。

在排序过程中，所有的排序算法均操作整数数组。在排序前，生成一个大小为 N 的随机整数数组，后将该数组赋值给一个新数组（称临时数组），将临时数组作为操作数组以保持初始数组不变，使所有排序算法处理的均为同一个数组。每个排序算法都会对临时数组进行排序，并计算排序所需的时间和比较次数，排序结束输出相关结果后，释放临时数组内存空间。

数组类型：使用int[] 类型的数组用于存储待排序的整数序列。每个排序函数都通过引用或指针对该数组进行修改。

动态内存分配：为了支持任意大小的数组，所有的数组内存通过 new 操作符动态分配，排序后及时释放内存。

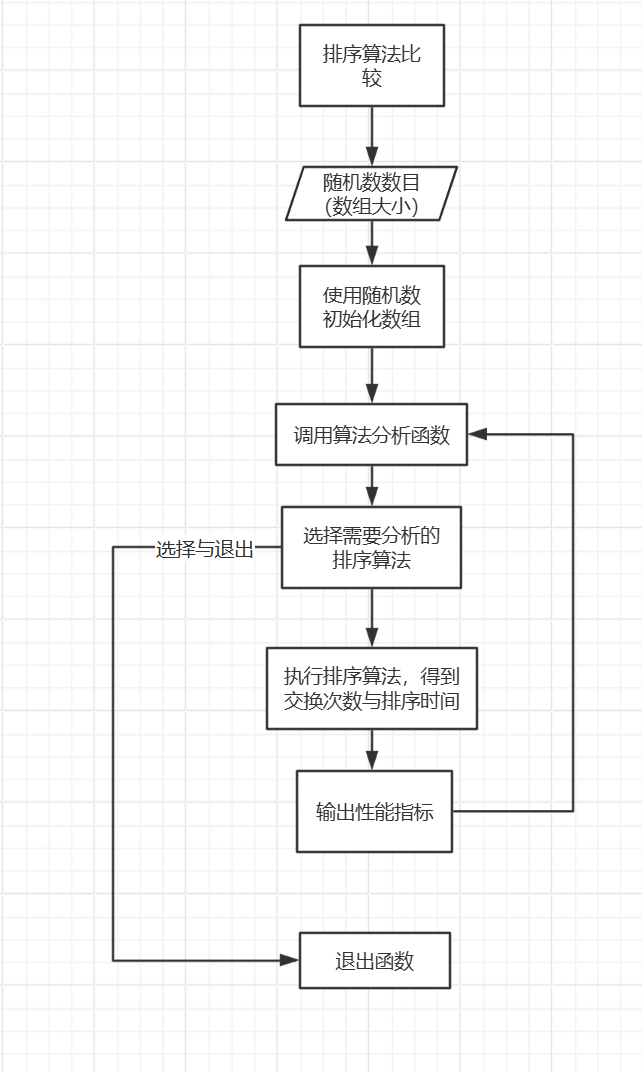
2.2 模板设计

模板（Template）是C++语言中的一项强大特性，允许函数或类在定义时不指定具体的数据类型，而是在使用时由编译器根据实际的参数类型自动推导或指定。模板使得代码的复用性大大提高，在本项目中，模板的使用主要体现在以下几个方面：排序算法的实现、数据交换、以及性能计数功能。

模板允许为不同数据类型编写一次排序算法代码，而不必重复为每种类型编写多份排序函数。通过模板的参数化，所有的排序算法都可以在同一函数体中处理不同类型的数据。同时，模板的设计使得我们可以轻松地添加新的排序算法，或者处理其他类型的数组，而不必添加新的函数实现。模板函数简化了代码的实现，避免了冗余的代码，并且减少了程序出错的可能性。

2.3 项目框架设计

2.3.1 项目框架流程图



2.3.2 项目框架流程

1.进入排序算法比较系统；

2.输入生成随机数的个数，根据随机数个数为数组分配内存空间；

3.生成一个随机数生成器，设定随机数生成范围，依次为数组赋随机数；

4.进入while循环，调用分析函数，选择需要分析的排序算法，记录开始执行时间，执行排序算法，同时记录比较次数，执行结束后，记录结束时间；

5.计算并输出排序算法执行时间、比较次数；继续循环

5.当用户选择退出后，退出循环以及程序。

**第3章 项目功能实现**

3.1 项目主体架构与性能分析功能

3.1.1实现思路

1.进入ComparisonOfSortingAlgorithms函数，输出用户交互信息。

2.提示用户输入随机数个数，用户输入数据，根据用户输入的数据为数组numbers分配内存空间。

3.使用Mersenne Twister生成伪随机数，并为数组numbers的元素赋值。

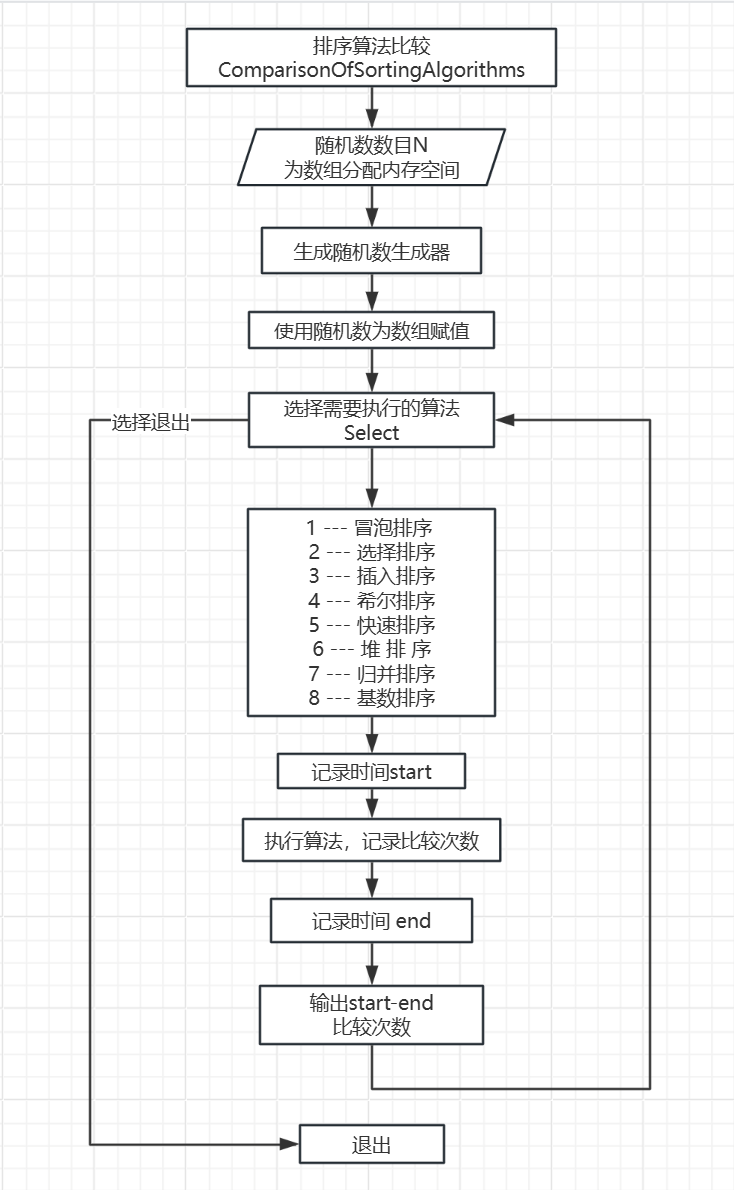
4.输出选项提示信息，进入以Evaluation(numbers,N,sort\_type\_name)返回值作为循环条件的while循环，循环调用Evaluation函数进行条件判断。

5.在Evaluation中，首先调用selection函数进行算法选择，若选择退出，则Evaluation返回false，退出循环及程序；选择具体算法，初始化全局变量compare\_count，为临时数组分配内存并赋值；

6.根据算法选项，选择算法开始对临时数组排序；记录排序算法的开始时间与结束时间，同时在排序算法中计算比较次数；

7.计算并输出排序算法执行时间及比较次数；返回true，进行新一次循环。

3.1.2流程图

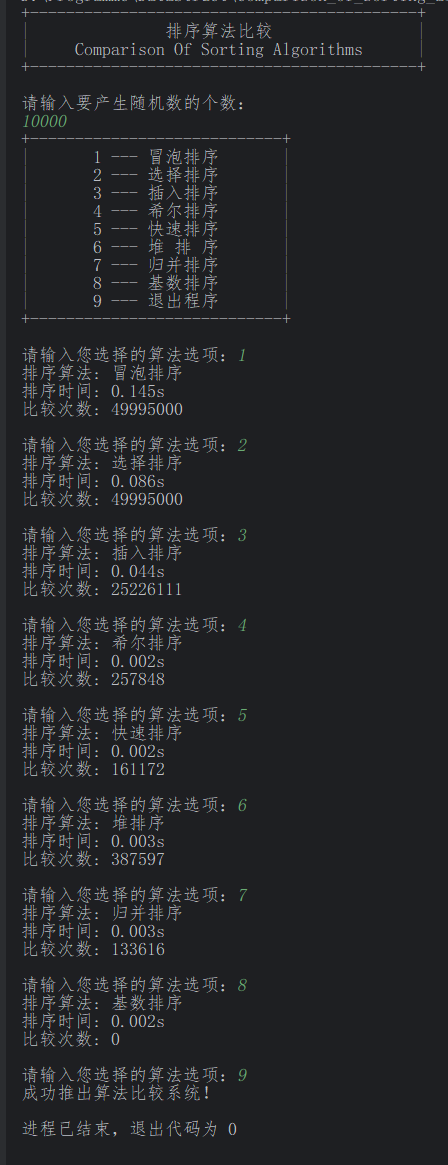


3.1.3核心代码

void ComparisonOfSortingAlgorithms()  
{  
 std::cout << "+-------------------------------------------+\n";  
 std::cout << "| 排序算法比较 |\n";  
 std::cout << "| Comparison Of Sorting Algorithms |\n";  
 std::cout << "+-------------------------------------------+\n\n";  
 double dN;// 用户输入的随机数个数 (double 用于初步验证合法性)  
 while (true){  
 std::cout << "请输入要产生随机数的个数：\n";  
 std::cin>>dN;  
 // 输入验证：判断是否为有效的整数  
 if (std::cin.fail() || dN<=0 || dN != static\_cast<int>(dN)) {  
 std::cout << "输入非法，请重新输入！\n";  
 Clear();  
 continue;  
 }  
 Clear();  
 break;  
 }  
 int N = static\_cast<int>(dN);   
 int\* numbers=new(std::nothrow) int[N];   
 assert(numbers!=nullptr);   
 std::random\_device rd;  
 std::mt19937 gen(rd());  
 std::uniform\_int\_distribution<> dist(min, max);  
 for(int i=0;i<N;i++)  
 numbers[i]=dist(gen);   
#ifdef MY\_DEBUG  
 Print(numbers,N,"生成的随机数列为：\n");  
#endif  
 std::cout << "+----------------------------+\n";  
 std::cout << "| 1 --- 冒泡排序 |\n";  
 std::cout << "| 2 --- 选择排序 |\n";  
 std::cout << "| 3 --- 插入排序 |\n";  
 std::cout << "| 4 --- 希尔排序 |\n";  
 std::cout << "| 5 --- 快速排序 |\n";  
 std::cout << "| 6 --- 堆 排 序 |\n";  
 std::cout << "| 7 --- 归并排序 |\n";  
 std::cout << "| 8 --- 基数排序 |\n";  
 std::cout << "| 9 --- 退出程序 |\n";  
 std::cout << "+----------------------------+\n";  
 char sort\_type\_name[8][15] = {"冒泡排序", "选择排序", "插入排序", "希尔排序", "快速排序", "堆排序", "归并排序", "基数排序"};  
 while(Evaluation(numbers,N,sort\_type\_name))  
 ;  
 delete[] numbers;  
 std::cout<<"成功推出算法比较系统！\n";  
}

bool Evaluation(const int numbers[],const int N,const char sort\_type\_name[8][15])  
{  
 int selection = Select();  
 if (selection == 9)  
 return false;  
 compare\_count=0;  
 int\* nums= new(std::nothrow) int[N];  
 assert(nums != nullptr);  
 for(int i=0;i<N;i++)  
 nums[i]=numbers[i];  
 clock\_t start\_time = clock();  
 if (selection == 1)   
 BubbleSort(nums, N);  
 else if (selection == 2)  
 SelectionSort(nums, N);  
 else if (selection == 3)   
 InsertionSort(nums, N);  
 else if (selection == 4)  
 ShellSort(nums, N);  
 else if (selection == 5)  
 QuickSort(nums, N,0,N-1);  
 else if (selection == 6)   
 HeapSort(nums, N);  
 else if (selection == 7)  
 MergeSort(nums, N,0,N-1);  
 else  
 RadixSort(nums, N);  
 clock\_t end\_time=clock();  
 std::cout<<"排序算法: "<<sort\_type\_name[selection-1]<<"\n";  
 std::cout<<"排序时间: "<<(end\_time - start\_time)/static\_cast<double>(CLOCKS\_PER\_SEC) <<"s\n";  
 std::cout<<"比较次数: " << compare\_count << "\n";  
#ifdef MY\_DEBUG  
 Print(nums, N, "排序后的数列为：");  
#endif  
 delete[] nums;   
 return true;  
}

3.1.4示例



3.2 排序算法实现

3.2.1 冒泡排序算法

3.2.1.1 实现思路

1.将数组分为已排序区和为排序区；开始时，所有元素在未排序区；

2.从第一个元素开始，依次比较未排序区中某个元素及其后一个元素（没有后一个元素则不用比较），如果后一个元素大于前一个元素，则交换两个元素的值；

3.重复以上步骤，直到到达未排序区末尾；实现将最大的数冒泡到最后；

4.此时，未排序区最后一个元素是整个未排序区中元素最大的，将其划分给已排序区；

5.重复以上步骤，直到为排序区元素为空；则此时的数组即为排好序的数组。

3.2.1.2 核心代码

template<typename T>  
void BubbleSort(T arr[],const int len)  
{  
 for(int i=0;i<len-1;i++)  
 for(int j=0;j<len-i-1;j++) {  
 compare\_count++;  
 if (arr[j] > arr[j + 1]) {  
 Swap(arr[j],arr[j+1]);  
 }  
 }  
}

3.2.1.3 性能分析

1.时间复杂度：

最坏情况：如果数组是逆序的，冒泡排序需要进行 n×(n−1)/2次比较和交换，因此时间复杂度为 O(n²)。

最好情况：如果数组已经是有序的，算法只需要进行一遍比较，时间复杂度为 O(n)，但是为了优化实现，通常需要检查每一轮是否进行了交换。

平均情况：时间复杂度也为 O(n²)，因为交换次数通常与元素的数量的平方成正比。

2.空间复杂度：

冒泡排序是一种原地排序算法，只需要常数级别的额外空间，因此空间复杂度为O(1)。

3.2.2 选择排序算法

3.2.2.1 实现思路

1. 将第一个元素假设为最小元素，记为 minIndex；

2. 从第 minIndex + 1 位置开始，遍历剩下的所有元素，找到当前未排序部分的最小元素；

3. 如果找到的最小元素与当前假设的最小元素不同，就交换它们的位置。这样就保证了最小元素（或最大元素）在每次遍历结束后被放到了已排序部分的末尾；

4. 对数组中剩余的元素重复相同的操作，逐渐增加已排序部分的大小，直到所有元素排序完毕。

3.2.2.2 核心代码

template<typename T>  
void SelectionSort(T arr[], const int len)  
{  
 for(int i=0;i<len-1;i++) {  
 int minIndex = i;  
 for(int j=i+1;j<len;j++) {  
 compare\_count++;  
 if (arr[j] < arr[minIndex])  
 minIndex = j;  
 }  
 if(minIndex != i) {  
 Swap(arr[minIndex],arr[i]);  
 }  
 }  
}

3.2.2.3 性能分析

1.时间复杂度：

最坏情况：选择排序在第一次遍历中，需要对数组中的 n-1 个元素进行比较；在第二次遍历中，需要对 n-2 个元素进行比较；以此类推，最后一轮只需要比较1个元素，所以时间复杂度为O(n²)。

最优情况：当数组已经排好序时，选择排序仍然需要进行 n-1 次遍历来确认每个位置上的元素是否已经是最小的，因此最优时间复杂度依然是 O(n²)。

平均情况：无论输入数组是如何排序的，选择排序的时间复杂度始终是O(n²)。

2.空间复杂度：

选择排序是一种原地排序算法，即排序过程中不需要额外的存储空间。它仅使用了一个临时变量。因此，选择排序的 空间复杂度为 O(1)。

3.2.3 插入排序算法

3.2.3.1 实现思路

1.假设第一个元素已排序，从第二个元素开始逐一插入到已排序部分；

2.取出当前元素（称为插入元素），并与已排序部分的元素从后向前逐个比较；

3.如果已排序部分的元素大于插入元素，则将已排序部分元素右移一位，直到找到插入位置，将插入元素放入插入位置；

4. 对数组中的每一个元素重复上述操作，直到整个数组排序完成。

3.2.3.2 核心代码

template<typename T>  
void InsertionSort(T arr[], const int len)  
{  
 for(int i=1;i<len;i++) {  
 T temp = arr[i];  
 int j=i-1;  
 while(j>=0&&arr[j]>temp) {  
 compare\_count++;  
 arr[j+1] = arr[j];  
 j--;  
 }  
 arr[j+1] = temp;  
 }  
}

3.2.3.4 性能分析

1.时间复杂度：

最坏情况：在最坏的情况下（如数组是逆序的），每个元素都需要与之前所有的元素进行比较和交换。因此，对于每个元素，最多需要进行 n-1 次比较和交换，所以，最坏情况下的时间复杂度是 O(n²)。

最优情况：如果数组已经是有序的，插入排序只需要进行一次比较而不需要移动元素。每次插入都可以直接插入到正确的位置。在这种情况下，时间复杂度为 O(n)。

平均情况：平均情况下，每个元素需要比较 n/2 次。总体的时间复杂度仍然是 O(n²)。

2.空间复杂度：

插入排序是原地排序算法，它仅使用常量级的额外空间来存储插入元素和进行交换，因此它的空间复杂度是 O(1)。

3.2.4 希尔排序算法

3.2.4.1 实现思路

1. 选择一个增量序列，初始时将增量设为一个较大的数。常见的增量序列有：n/2, n/4, ..., 1。增量逐渐减少，直到增量为1时，完成整个排序过程。

2. 根据当前增量，将数组划分为若干个子序列。例如，当间隔为 gap 时，将数组的元素按索引i和i + gap分到同一个子序列。

3. 对每个子序列独立进行插入排序。

4. 减小增量，重新进行分组和插入排序，直到增量为1。

5. 当增量为1，所有元素都已经按正确顺序排列，排序完成。

3.2.4.2 核心代码

template<typename T>  
void ShellSort(T arr[], const int len)  
{  
 for(int gap=len/2;gap>0;gap/=2) {  
 for(int i=gap;i<len;i++) {  
 T temp = arr[i];  
 int j = i - gap;  
 for(;j>=0;j-=gap) {  
 compare\_count++;  
 if(arr[j]>temp) {  
 arr[j + gap] = arr[j];  
 }  
 else  
 break;  
 }  
 arr[j + gap] = temp;  
 }  
 }  
}

3.2.4.3 性能分析

1.时间复杂度：

希尔排序的时间复杂度依赖于增量序列的选择，不同的增量序列会导致不同的性能表现。

最坏情况：对于最常见的增量序列 gap = n/2, n/4, ..., 1，最坏情况下时间复杂度为 O(n²)

最优情况：如果初始数组已经基本有序，增量序列使得每次插入排序只需要少量比较，最佳情况下时间复杂度为 O(n log n)

平均情况：平均情况下，随着增量逐步减少，插入排序的效率逐渐提高。对于常见的增量序列，平均时间复杂度为 O(n³/²)

2.空间复杂度：属于原地排序，空间复杂度为O(1)

3.2.5 快速排序算法

3.2.5.1 实现思路

1. 从待排序数组中选择一个元素作为基准（通常选择第一个、最后一个、中间或随机选取），用来将数组划分成两部分；

2. 对数组进行遍历，确保所有小于基准元素的元素都位于基准元素的左侧；所有大于基准元素的元素都位于基准元素的右侧；

3. 分区操作完成后，基准元素会被放置在最终位置上，即它的位置已经确定；

3.对基准元素左侧和右侧的子数组递归地应用快速排序，直到数组变得有序。

3.2.5.2 核心代码

template<typename T>  
int Partition(T arr[], int low, int high)  
{  
 T pivot = arr[high];  
 int i = low - 1;  
 for (int j = low; j < high; j++) {  
 compare\_count++;  
 if (arr[j] < pivot) {  
 Swap(arr[j],arr[++i]);  
 }  
 }  
 Swap(arr[i + 1],arr[high]);  
 return i + 1;  
}

template<typename T>  
void QuickSort(T arr[], const int len,int low,int high)  
{  
 if (low < high) {  
 int pi = Partition(arr, low, high);  
 QuickSort(arr,len, low, pi - 1);  
 QuickSort(arr,len,pi + 1, high);  
 }  
}

3.2.5.3 性能分析

1.时间复杂度：

最坏情况：如果每次选择的基准都极端（例如每次都选择数组的最大或最小元素），则数组在每次递归时仅分成一个元素和剩余部分，导致递归深度为 n，时间复杂度为 O(n^2)。

最优情况：当每次选择的基准都能将数组平分成两半（即数组已经或接近有序时），时间复杂度为 O(n log n)。

平均情况：在平均情况下，每次分区将数组大致分为两个相等的部分，因此时间复杂度是 O(n log n)。

2.空间复杂度：快速排序是一种原地排序算法，主要消耗的空间是递归调用栈的空间。每次分区操作都在原数组上进行，因此空间复杂度是 O(log n)，即递归的深度。

3.2.6 堆排序算法

3.2.6.1 实现思路

1. 对于堆中的每一个元素，依次将它与左右子节点比较，如果它比子节点小，就交换它们的位置，直到满足最大堆性质；

2. 将堆顶的最大元素交换到数组的末尾，然后对剩余的部分重新进行堆化，重新调整为最大堆；

3. 重复步骤2，直到所有元素排序完成；

3.2.6.2 核心代码

template<typename T>  
void Heapify(T arr[], const int len, int i)  
{  
 int largest = i, left = 2 \* i + 1, right = 2 \* i + 2;  
 compare\_count++;  
 if (left < len && arr[left] > arr[largest])  
 largest = left;  
 compare\_count++;  
 if (right < len && arr[right] > arr[largest])  
 largest = right;  
 compare\_count++;  
 if (largest != i) {  
 Swap(arr[i],arr[largest]);  
 Heapify(arr, len, largest);  
 }  
}

template<typename T>  
void HeapSort(T arr[], const int len)  
{  
 for (int i = len / 2 - 1; i >= 0; i--)  
 Heapify(arr, len,i);  
 for (int i = len-1; i>0; i--) {  
 Swap(arr[0], arr[i]);  
 Heapify(arr, i, 0);  
 }  
}

3.2.6.3 性能分析

1.时间复杂度：

构建最大堆的时间复杂度是 O(n)、堆化操作的时间复杂度为 O(log n)，总时间复杂度为 O(n log n)。

2.空间复杂度：

堆排序是原地排序算法，它的空间复杂度是 O(1)，只需要常数级的额外空间来存储临时变量。

3.2.7 归并排序算法

3.2.7.1 实现思路

1. 将原数组递归地分成两部分，直到每部分只有一个元素；

2. 从两个有序数组的首部开始，逐一比较元素，将较小的元素加入到新的数组中，直到所有元素都被处理完。

3.2.7.2 核心代码

template<typename T>  
void Merge(T arr[], int left, int mid,int right)  
{  
 int len1 = mid - left + 1, len2 = right - mid, i = 0, j = 0, k = left;  
 T \*left\_arr = new(std::nothrow) T[len1];  
 assert(left\_arr != nullptr);  
 T \*right\_arr = new(std::nothrow) T[len2];  
 assert(right\_arr != nullptr);  
 for (int i = 0; i < len1; i++) {  
 left\_arr[i] = arr[left + i];  
 }  
 for (int i = 0; i < len2; i++) {  
 right\_arr[i] = arr[mid + 1 + i];  
 }  
 while (i < len1 && j < len2) {  
 compare\_count++;  
 if (left\_arr[i] <= right\_arr[j]) {  
 arr[k++] = left\_arr[i++];  
 }  
 else {  
 arr[k++] = right\_arr[j++];  
 }  
 }  
 while (i < len1) {  
 compare\_count++;  
 arr[k++] = left\_arr[i++];  
 }  
 while (j < len2) {  
 compare\_count++;  
 arr[k++] = right\_arr[j++];  
 }  
 delete[] left\_arr;  
 delete[] right\_arr;  
}

template<typename T>  
void MergeSort(T arr[], const int len,int left,int right)  
{  
 if(left<right) {  
 int mid = left + (right - left) / 2;  
 MergeSort(arr, len,left, mid);  
 MergeSort(arr, len,mid + 1, right);  
 Merge(arr, left, mid, right);  
 }  
}

3.2.7.3 性能分析

1.时间复杂度：

分割过程的递归深度为 log n，每一层递归的合并操作总共涉及n个元素，合并的时间复杂度是 O(n)，总时间复杂度为O(n log n)。

2.空间复杂度：

归并排序需要额外的空间来存储合并过程中的临时数组。对于一个包含 n 个元素的数组，合并时需要额外的 O(n) 空间来存储合并后的结果。因此，归并排序的空间复杂度为 O(n)。

3.2.8 基数排序算法

3.2.8.1 实现思路

1.找到数组中的最大值，确定排序的位数，即最大值的位数；

2.从最低位开始，对每一位使用稳定的排序算法（如计数排序）进行排序；

3. 重复步骤2直到所有位都排序完成。

3.2.8.2 核心代码

template<typename T>  
void SortByDigit(T arr[],const int len,const int digit\_place)  
{  
 int frequency[10]={0};   
 for(int i=0;i<len;i++)  
 ++frequency[(arr[i] / digit\_place) % 10];  
 for(int i=1;i<10;i++)  
 frequency[i]+=frequency[i-1];  
 T\* output= new(std::nothrow) T[len];  
 assert(output!=nullptr);  
 for(int i=len-1;i>=0;i--) {  
 output[frequency[(arr[i] / digit\_place) % 10] - 1] = arr[i];  
 --frequency[(arr[i] / digit\_place) % 10];  
 }  
 for(int i=0;i<len;i++)  
 arr[i]=output[i];  
 delete[] output;  
}

template<typename T>  
void RadixSort(T arr[], const int len)  
{  
 T max\_element=arr[0];  
 for(int i = 0; i < len; i++) {  
 max\_element = max\_element > arr[i] ? max\_element : arr[i];  
 }  
 for(int digit\_place = 1; max\_element/digit\_place>0 ; digit\_place\*=10) {  
 SortByDigit(arr, len,digit\_place);  
 }  
}

3.2.8.3性能分析

1.时间复杂度：

由于每一位的排序都使用稳定的排序算法（如计数排序），每次排序的时间复杂度是 O(n)，重复 d 次（d为最大元素的位数），总时间复杂度为O(n \* d)。

2.空间复杂度：

O(n + k)，其中 n 是元素个数，k 是计数排序中的计数数组的大小。

3.3 异常处理功能

3.9.1 输入非法的异常处理

3.9.1.1 随机数个数输入非法的异常处理

在建立进行算法分析之前，首先需要输入生成随机数的个数，通过以下逻辑判断输入是否正确：

1.定义一个浮点型变量，进入一个while循环；

2.输出提示信息，用户输入数据；

3.判断以下错误是否存在：cin.fail()为true，即用户输入了字符或字符串或数据超过了double上下限；输入的数据小于等于0；将数据转换为int后与之前不相等（原数为小数或超int上限）；

4.若以上错误均不存在，说明输入数据无误，退出循环；反之，输出错误信息，清除当前输入状态和缓冲区，重新输入。

3.9.1.2 操作类型输入非法的异常处理

操作类型输入非法的异常处理通过如下代码实现

int Select()  
{  
 double selection;  
 while (true) {  
 std::cout<<"\n请输入您选择的算法选项：";  
 std::cin >> selection;  
 if (std::cin.fail() || selection > 9 || selection <= 0 || selection != static\_cast<int>(selection)) {  
 std::cout << "输入非法，请重新输入！\n";  
 Clear();  
 continue;  
 }  
 Clear();  
 break;  
 }  
 return static\_cast<int>(selection);  
}

这段代码的具体执行逻辑如下：

1.定义一个浮点型变量，进入一个while循环；

2.输出提示信息，用户输入数据；

3.判断以下错误是否存在：cin.fail()为true，即用户输入了字符或字符串或数据超过了double上下限；输入的数据小于等于0或大于9；将数据转换为int后与之前不相等（原数为小数）；

4.若以上错误均不存在，说明输入数据无误，退出循环，返回整数操作类型；反之，输出错误信息，清除当前输入状态和缓冲区，重新输入。

3.9.2 动态内存申请失败的异常处理

在为数组分配动态内存时，程序使用new(std::nothrow) 来尝试分配内存。new(std::nothrow)在分配内存失败时不会引发异常，而是返回一个空指针（NULL或nullptr），使用assert断言判断指针是否为空指针，如果为空指针，意味着内存分配失败，抛出异常信息。

**第4章 项目测试**

4.1 输入功能测试

4.1.1随机数的个数输入功能测试

分别输入超过int上下限的整数、非正整数、浮点数、字符、字符串，可以验证程序对输入非法的情况进行了处理。

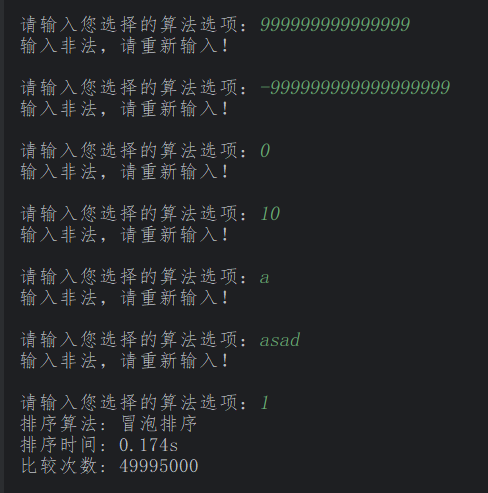
当输入合法时，程序继续运行



4.1.2 操作类型输入功能测试

分别输入超过int上下限的整数、超范围的数、浮点数、字符、字符串，可以验证程序对输入非法的情况进行了处理。

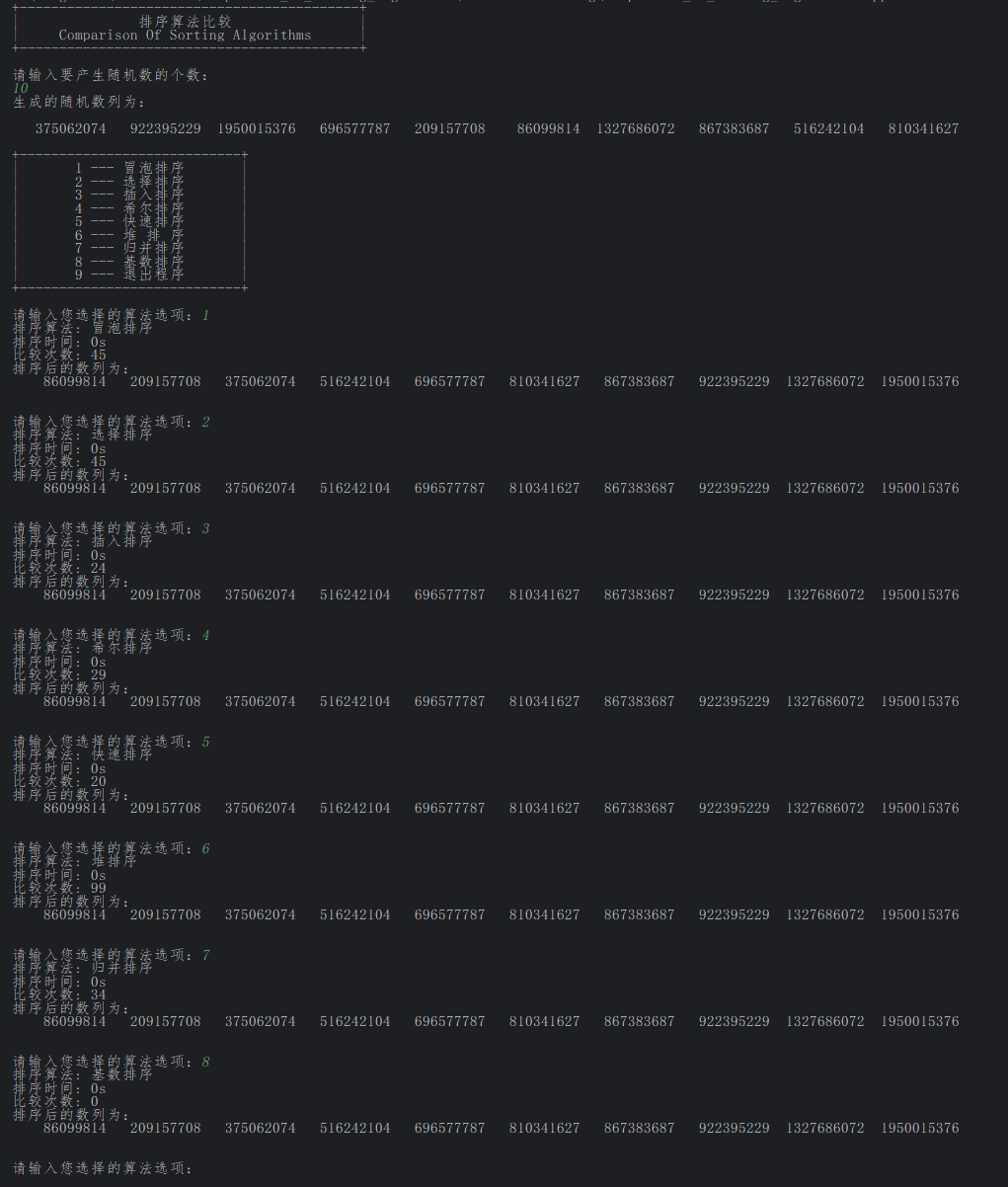
当输入合法时，程序继续运行。



4.2 排序算法正确性验证

使用预处理指令处理数组打印函数，当宏定义MY\_DEBGU时，启用条件编译。

输入要生成的随机数的个数，可以验证各个排序算法的正确性，均正确实现了数据的升序排列。



**第5章 相关说明**

5.1 编程语言

本项目全部.cpp文件以及.h文件均使用C++编译完成。

5.2 Windows环境

Windows系统：Windows 11 x64

Windows 集成开发环境：CLion 2024

工具集：MinGW 11.0 w64

5.3 Linux 环境

基于Linux内核的操作系统发行版：Ubuntu 24.04.1

Linux命令编译过程为：

1.定位包含项目所在文件夹，包括.pp与.h文件；具体命令为: cd /home/bruce/programe/comparison\_of\_sorting\_algorithms

2.编译项目，生成可执行文件；具体命令为: g++ -static -o comparison\_of\_sorting\_algorithms\_linux

comparison\_of\_sorting\_algorithms.cpp

其中指令含义分别为：

g++: 调用GNU的C++编译器

-static: 使用静态链接而非动态链接，将所有依赖库直接嵌入到可执行文件，文件存储空间变大，但可以单独运行

-o comparison\_of\_sorting\_algorithms\_linux: -o表示输出文件选项，comparison\_of\_sorting\_algorithms\_linux为可执行文件名

comparison\_of\_sorting\_algorithms.cpp:编译所需要的文件

3.运行可执行文件；具体命令为 ./ comparison\_of\_sorting\_algorithms \_linux

