项目文档

谈瑞

项目十：几种排序算法比较

专业班级：软件工程 4 班 学号：1452775 课目：数据结构课程设计
电话：18936361545 电子邮件：tanrui106@163.com 个人网站：http://guitoubing.top

目录

项目简介 3
项目概要 3
项目功能及要求 3
项目结构 4
性能分析 4
特点比较 5
项目类的实现 7
Sorts 类 7
代码分析 8
冒泡排序 8
选择排序 8
直接插入排序 9
希尔排序 9
快速排序 10
堆排序 10
归并排序 11
基数排序 12
一些思考 14
快速排序为什么快？ 14
称球问题 14
快速排序的实质及比较 14
实际情况 15
运行测试 16
排序数数量为 10000 时 16
排序数量为 100000 时 17

项目简介

项目概要

随机函数产生 10000 个随机数，用快速排序，直接插入排序，冒泡排序，选择排序，希尔排序，堆排序，归并排序，基数排序的排序方法排序，并统计每种排序所花费的排序时间和交换次数。

项目功能及要求

实现对八种排序算法的花费时间、查找次数的比较，并分析出各种排序算法的优劣

项目结构

本项目对八种排序方法进行了实现，输出了对 10000 个随机数进行排列时的花费时间及交换次数，同时对每种算法的实现方法进行了思考，分析了各类算法的优劣，而本项目在真正实现时也并非是对原标准算法照搬照抄，而是先理解其原理而后以自己的想法组织代码，因此在性能、代码形式等方面可能会与标准算法有或多或少的差异。

下面用表格的形式对八种算法进行一下比较：

性能分析

	时间复杂度	花费时间/s	交换次数/s	空间复杂度	备注
N=10000					
冒泡排序	$O(n^2)$	0.245	24952888	O(1)	
选择排序	$O(n^2)$	0.108	9985	O(1)	
直接插入排序	$O(n^2)$	0.143	25087851	O(1)	
希尔排序	$O(n*\log_2 n)$	<0.002	52484	O(1)	
快速排序	$O(n*\log_2 n)$	<0.001	71515	$O(\log_2 n)$~O(n)	
堆排序	$O(n*\log_2 n)$	0.542	9999	O(1)	
归并排序	$O(n*\log_2 n)$	<0.001	1998	O(n)	
基数排序	$O(n*\log_r m)$	0.066	13857818	O(n)	r 为基数，m 为堆数
N=100000					
冒泡排序	$O(n^2)$	28.017	-1788922785	O(1)	排序次数溢出
选择排序	$O(n^2)$	10.535	99986	O(1)	
直接插入排序	$O(n^2)$	11.463	-1794262757	O(1)	排序次数溢出
希尔排序	$O(n*\log_2 n)$	0.019	647341	O(1)	
快速排序	$O(n*\log_2 n)$	0.007	937215	$O(\log_2 n)$~O(n)	
堆排序	$O(n*\log_2 n)$	\	\	O(1)	所需额外空间过多，开辟失败
归并排序	$O(n*\log_2 n)$	0.021	17335	O(n)	
基数排序	$O(n*\log_r m)$	6.227	1389435727	O(n)	

特点比较

	核心思想	优点	缺点
冒泡排序	冒泡排序可以说是想法最简单的排序了，它重复的遍历序列，每次遍历将对每两个元素进行比较，较大的将后移，一次遍历下来，最大的元素浮到序列顶端	稳定的排序算法	慢
选择排序	选择排序基本思想是将序号从 i 到 n 的元素序列中的具有最小排序码的元素上调，调至子序列首位，重复操作直到 i=n-1，排序即结束	移动的次数是固定的，对于 n 个元素就只需要 n-1 次移动	不稳定的排序算法，需要很多次比较
直接插入排序	插入排序，个人认为与选择排序的算法思想相似，均是每次将子序列长度加 1 后，进行调整。基本思想是第 i 次插入元素时，后面 i-1 个元素已经是排好序的了（这里采用了倒序插入，即从大到小），此时将其插入到其应该在的位置，如此反复 n 次序列就已经排好序了	稳定的排序算法，速度较快	需要进行大量的数据移动工作，这对于数组来说不友好，但是可以用链表解决这一问题
希尔排序	希尔排序是直接插入排序的一种改进方法，又叫缩小增量排序，其将序列按照一定的增量进行分组，对每组使用直接插入排序，逐渐缩小增量，当增量减小为 1 时，整个序列便排好序了	速度较快 数据移动量较少	不稳定的排序算法
快速排序	快速排序的基本思想是对序列进行分层，以序列第一个元素为基准，将排序码大的元素后移，排序码小的前移，此时该基准元素的位置已经是固定下来了，再对左右两个子序列递归前面的操作，最终即可得到排好序的序列了	速度极快 数据移动量较少	不稳定的排序算法
堆排序	堆排序时选择排序的一种，利用完全二叉树构建的最小堆，每次取堆顶元素放入新序列中并删除该元素，直到最小堆被清空，新序列即为所需序列	速度较快	不稳定的排序算法 额外空间很多 由于需要对堆进行经常性的删除操作，因此速度也不如快排
归并排序	归并排序使用分治法，对序列进行递归分割，直到子序列为 1-2 个元素，而后逆递归进行序列合并，递归结束后则可以得出有序的序列	速度较快 稳定的排序算法	需要开辟一个与原数组大小相同的数组

续表：

基数排序	基数排序采用分配的方法，对序列按照一定的基数进行分类，此项目中是按照序列中元素的各位位值进行排序，而后对每类元素递归进行此操作，当取到基数所能取得的最大值时，对每个子类采用直接插入排序的方法排序，最终即可得到有序序列	稳定的排序算法 速度较快	选择合适的基数以及将序列分成多少类需要考虑

项目类的实现

Sorts 类

	类成员	作用
public 成员	`Sorts();`	构造函数
	`~Sorts();`	析构函数
	`void getResult(int operate, double_time);`	获取某一排序的结果，包括运行时间、交换次数等
	`void SetOperate();`	选择排序方法
	`void BubbleSort();`	冒泡排序
	`void SelectSort();`	选择排序
	`void InsertSort();`	直接插入排序
	`void ShellSort();`	希尔排序
	`void FastSort();`	快速排序
	`void HeapSort();`	堆排序
	`void MergeSort();`	归并排序
	`void RadixSort();`	基数排序
protected 成员	`void InsertSort (int left, int right);`	选择排序
	`void FastSort(int* nums, int left, int right);`	快速排序
	`void MergeSort(int left, int right);`	归并排序
	`void Merge(int left, int flag, int right);`	归并函数，是对两个子序列进行合并的函数
	`void RadixSort(int * count, int radix, int left, int right);`	基数排序
	`int *nums;`	序列数组
	`int search_count, swap_count, sort_type;`	搜索次数、交换次数、交换类型
	`ofstream out_file;`	输出的文件流
	`bool ifPrint;`	是否输出至文件

代码分析

冒泡排序

```
void Sorts::BubbleSort() {
    //  冒泡排序可以说是想法最简单的排序了，它重复的遍历序列，每次遍历将对每两个元素进行比较，较大的将
    //后移，一次遍历下来，最大的元素浮到序列顶端，其时间复杂度为 O(n2)
    for (int i = 0; i < MAXAMOUNT - 1; i++) {
        for (int j = 0; j < MAXAMOUNT - i - 1; j++) {
            search_count++;
            if (nums[j]>nums[j+1]){
                swap_count++;
                int temp = nums[j];
                nums[j] = nums[j+1];
                nums[j+1] = temp;
            }
        }
    }
}
```

选择排序

```
void Sorts::SelectSort() {
    //  选择排序基本思想是将序号从 i 到 n 的元素序列中的具有最小排序码的元素上调，调至子序列首位，重复操作
    //直到 i=n-1，排序即结束，其时间复杂度为 O(n2)
    for (int i = 0; i < MAXAMOUNT; i++) {
        int min = i;
        for (int j = i; j < MAXAMOUNT; j++){
            search_count++;
            if (nums[min] > nums[j]){
                min = j;
            }
        }
        if (min != i){
            //当子序列最小排序码元素不是首元素即需要进行调整交换
            swap_count++;
            int temp = nums[min];
            nums[min] = nums[i];
            nums[i] = temp;
        }
    }
}
```

直接插入排序

```
void Sorts::InsertSort() {
    InsertSort(1, MAXAMOUNT-1);
}
void Sorts::InsertSort(int left, int right) {
    //  插入排序，个人认为与选择排序的算法思想相似，均是每次将子序列长度加 1 后，进行调整。时间复杂度也为 O(n2)
    //基本思想是第 i 次插入元素时，后面 i-1 个元素已经是排好序的了（这里采用了倒序插入，即从大到小），此时将其插
    //入到其应该在的位置，如此反复 n 次序列就已经排好序了
    //  从输出可以看到选择排序查找次数大约为 50005000 次，而插入排序查找次数大约为 25002500 次，这是由于插入
    //排序的最内层循环还有个跳出语句，根据数的随机性，其跳出的概率大约是 50%
    for (int i = left; i <= right; i++) {
        int j = i-1;
        for (; j >= 0; j--) {
            swap_count++;
            search_count++;
            if (nums[j] <= nums[j+1]){
                break;
            }
            int temp = nums[j];
            nums[j] = nums[j+1];
            nums[j+1] = temp;
        }
    }
}
```

希尔排序

```
void Sorts::ShellSort() {
    //希尔排序是直接插入排序的一种改进方法，又叫缩小增量排序，其将序列按照一定的增量进行分组，对每组使用直接插入排序，逐渐缩小增量，当增量减小为 1 时，整个序列便排好序了
    int flag = MAXAMOUNT, temp, j;
    while (flag!=1){
        flag = (int)(ceil(flag/3) + 1);
        for (int i = flag; i<MAXAMOUNT; i++){
            search_count++;
            if (nums[i]<nums[i-flag]){
                swap_count++;
                temp = nums[i], j = i-flag;
                while (j >= 0 && temp < nums[j]){
                    nums[j+flag] = nums[j];
                    j-=flag;
                }
                nums[j+flag] = temp;
            }
        }
    }
```

快速排序

```
void Sorts::FastSort() {
    FastSort(nums, 0, MAXAMOUNT-1);
}
void Sorts::FastSort(int *nums, int left, int right) {
    //  快速排序的基本思想是对序列进行分层，以序列第一个元素为基准，将排序码大的元素后移，排序码小的
    //前移，此时该基准元素的位置已经是固定下来了，再对左右两个子序列递归前面的操作，最终即可得到排
    //好序的序列了
    if (left >= right){
        return;
    }
    int temp = nums[left];
    int flag = left;
    for (int i = left; i <= right; i++){
        search_count++;
        if (nums[i] < temp){
            //如果排序码比基准元素小，则将其移至基准元素前，若比基准元素大，则不需要移动
            swap_count++;
            if (flag == i - 1){
                //该元素与基准元素相邻时，直接调换二者位置
                nums[flag++] = nums[i];
                nums[i] = temp;
            }
            else{
                //该元素与基准元素不相邻时，则将该元素与基准元素后一位调换位置，而后再调换该元素与基准元素
                int temp2 = nums[i];
                nums[i] = nums[flag + 1];
                nums[flag + 1] = temp;
                nums[flag++] = temp2;
            }
        }
    }
    //对左右两个子序列递归调用 FastSort 操作
    FastSort(nums, left, flag-1);
    FastSort(nums, flag + 1, right);
}
```

堆排序

```
void Sorts::HeapSort() {
    Heap heap(nums, MAXAMOUNT);
//    Heap heap(nums, 10);
    for (int i = 1; i < heap.currentSize; ++i) {
        heap.swap(i, heap.currentSize);
    }
//    heap.printHeap();
```

```
    search_count = heap.getSearchCount();
    swap_count = heap.getSwapCount();
    for (int i = 0; i < heap.currentSize; ++i) {
        nums[i] = heap.elems[i];
    }
}
```

归并排序

```
void Sorts::MergeSort() {
    MergeSort(0, MAXAMOUNT-1);
}
void Sorts::MergeSort(int left, int right) {
    //  归并排序的基本思想时将序列不断折中，当某一序列折中为“1 个元素”+“2 个元素”或者“2 个元素”+“1 个元素”或
    //者“2 个元素”+“2 个元素”时为递归结束条件，此时对 2 个元素的进行排序，1 个元素的无操作，而后调用 Merge 函数
    //将这两个子序列归并起来，如此反复递归便可最终得到有序序列
    search_count++;
    if (right == left){
        //1 个元素的子序列直接返回不需要操作
        return;
    } else if (right - left == 1){
        //2 个元素的子序列若有序则直接返回，否则交换后返回
        if (nums[left] > nums[right]){
            swap_count++;
            int temp = nums[left];
            nums[left] = nums[right];
            nums[right] = temp;
        }
        return;
    }
    int flag = (right + left)/2;
    MergeSort(left, flag);
    MergeSort(flag+1, right);
    Merge(left, flag, right);
    //分割出的两个子序列通过这个函数归并到一起
}
void Sorts::Merge(int left, int flag, int right) {
    //  归并函数是归并排序算法中的主要部分，其主要思想就是将逐个遍历两个子序列，依次选择较小的元素放入新开辟
    //的数组中去，直到某一子序列到了末尾位置，此时将另一个序列剩余的元素直接放入序列中，最后将该数组赋值回原
    //数组。即可得到两子序列归并后的序列
    int temp = left, tempFlag = flag;
    int *copyNums = (int*)malloc(sizeof(int) * (right - left + 1));
    for (int i = 0; i < right-temp+1; i++) {
        if ((nums[left] < nums[flag+1] || flag == right)&&(left != tempFlag+1)){
            copyNums[i] = nums[left];
```

```
            left++;
        } else{
            copyNums[i] = nums[flag+1];
            flag++;
        }
    }
    for (int j = temp; j <= right; j++) {
        nums[j] = copyNums[j-temp];
    }
    free(copyNums);
}
```

基数排序

```
void Sorts::RadixSort() {
    int count[MAXAMOUNT];
    for (int i = 0; i < MAXAMOUNT; ++i) {
        count[i] = 0;
    }
    RadixSort(count, 1, 0, MAXAMOUNT-1);
}
void Sorts::RadixSort(int *count, int radix, int left, int right) {
    //  基数排序的主要思想是用若干个基数将序列区分为若干个类（形象来说，就是将相同类的元素放到同一个桶中），
    //而后对每类元素进行排序
    //  这里基数选用的是元素的位数，由于 rand()随机函数产生的随机数范围在 0-RAND_MAX 之间，而 RAND_MAX 的最大
    //值为 2147483647（此为 stdlib.h 中宏定义的一个字符常量），因此这里我定义的 MAXRADIX 为 10
    //  基数排序每次递归仍然是对序列分层，而后将分好层的序列左子序列使用插入排序算法排序，右子序列继续递归分层，直到 radix
    //取到 MAXRADIX，此时对剩下的序列直接利用插入排序算法排序
    if (radix == MAXRADIX){
        InsertSort(left, right);
        return;
    }
    int tempLeft = left;
    for (int i = left; i <= right; ++i) {
        if ((int)(nums[i]/(pow(10, radix))) == 0){
            //10 的 radix 次方为每次分层的依据，找到所有小于此值的元素，将其移动到序列的左边
            if (tempLeft != i){
                int temp = nums[tempLeft];
                nums[tempLeft] = nums[i];
                nums[i] = temp;
            }
            tempLeft++;
            count[radix]++;
        }
    }
```

```
    InsertSort(left, count[radix]+left-1);
    RadixSort(count, radix+1, left+count[radix], right);
}
```

一些思考

快速排序为什么快？

称球问题

想到这个问题是看了一篇名叫《数学之美：快排为什么那样快》的文章，里面讨论了关于快速排序之所以快却又不那么快的原因。这里做一些简短记录。

里面讲到了一个经典的智力题，即“称球问题”。12 个球里面有一个坏球，用天平最少多少次可以找出这个球，并确定该球是轻了还是重了。原文看得我有点混，这里提一个较为简单的想法（当然比文中方法要来的劣），由于天平具有平衡、失衡 2 种可能结果，现将 12 个球分成 3 组，每次称量可确定坏球在某个分组内。不失一般性，设分成 A(4)、B(4)、C(4)，括号内表示分组内球的数量，称量次数为 n，对 A 和 B 进行称量（n=1），则会有两种情况：“A!=B”和“A=B”（概率各为 1/2，下面括号内分数均表示条件概率）。

① 当 A=B 时，说明坏球在 C 组，此时 C 分成三组 $C_1(2)$、$C_2(1)$、$C_3(1)$三组，对 C_1两个球称量(n=2)，有相等（1/2）与不等（1/2）两种情况： i 若相等，则需要将剩下的两个球分别与 C_1中两个球比较，n=3（1/2）或 4（1/2）； ii 若不等，C_1中任取一个与 C_2比较，比较一次即可得出坏球，n=3（1）

② 当 A!=B 时，说明坏球在 A 组或是 B 组，重复①操作，则可能需要①中的 n（1/2）或二倍①中的 n（1/2）

经上述讨论，可总结出：（**而此题若是已知坏球是轻还是重，则只需要 3 次便可以确定坏球是哪个。**）

次数	3	4	6	8
概率	9/16	3/16	3/16	1/16

快速排序的实质及比较

排序的实质：N 个元素一共有 N！种排列方法，排序就是要找到特定的一种排序。快排基于比较的思想正是利用上述思想，每次对于比较两个数时只有“>=”和“<”两种情况，且对于特定的 pivot 轴元素，其概率是近似相等的都为 1/2，意即没有哪个分支是其弱点，若是每次轴元素与所有元素比较时均是上面的完美情况，那么 N 个元素排查结束只需要“$\log_2 N!$”次，当 N 很大时，其要小于 $N*\log_2 N$ 次，这说明最优情况要远小于其平均时间复杂度，而最坏情况毋庸置疑是 N^2。而快排快就快在其取得较优的情况的可能性很大，而取得较坏的情况的可能性很小。

冒泡排序慢是因为其进行了过多的重复比较；选择排序是因其存在弱点分支，即找到最大或最小的元素这个事件发生与否的概率是不均等的；插入排序与选择排序一样，在 i 个空位中寻找到自己的空位是不常发生的。

实际情况

实际操作中，我发现快速排序并不总是“快”的，看一下希尔排序、快速排序、归并排序在 1 亿个数以下的排序时间（由于我写的排序算法与各类算法官方版本有出入，因此这里的时间消耗也与标准时间消耗有出入，当然比各类算法的完美版本要来的慢得多）：

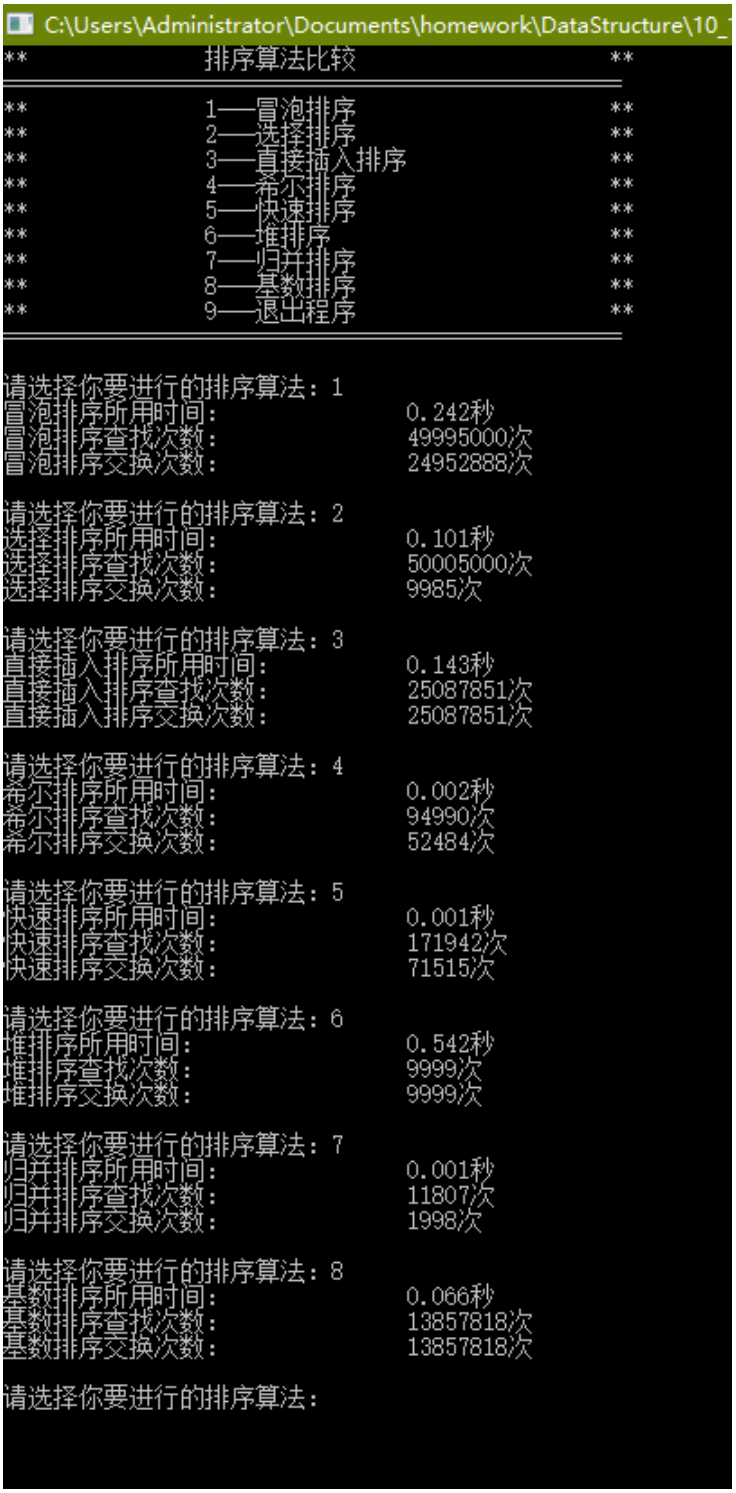
数量/万		10 万	50 万	100 万	500 万	1000 万	2000 万	5000 万
时间/s	希尔排序	0.033	0.132	0.291	1.677	3.876	7.585	17.845
	快速排序	0.016	0.077	0.186	1.673	5.039	17.601	86.694
	归并排序	0.016	0.127	0.262	1.422	2.752	6.009	12.322

500 万个元素以下，快速排序还是很好的，但是超过 500 万后，快速排序并不如希尔排序和归并排序来的快，究其原因我认为有以下几点：

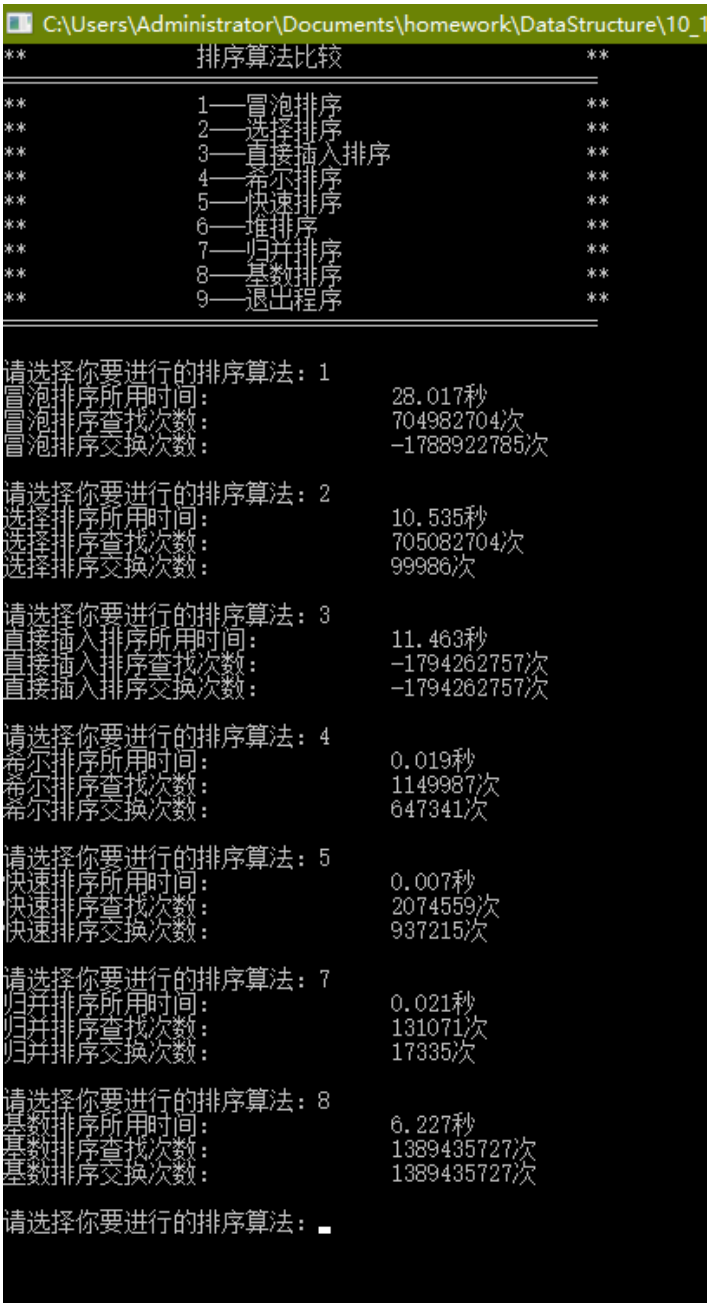
1. 快速排序运用的递归是其最大的短板，当 N 极大时，需要的辅助栈空间也将变得极大，使得快速排序在大数排序中显得有些力不从心。若是采用非递归法，其运行时间应该会大有改善，有时间可研究研究。
2. 这里的枢轴值没有采用 media-of-three 方法，即从开头-中间-末尾选择中间值作为轴值，使得其划分恶化的情况出现了较大的可能性。
3. 希尔排序之所以在 N 极大时仍然能保持良好的运行时间，我想是其没有使用递归栈
4. 归并排序本身将主要操作转移到了合并子序列上，其运行时间随 N 的增大变化较为固定，原因是其最终仍然转化为 2 个和 1 个元素或 2 个和 2 个元素的子序列排序归并问题
5. 最后一个原因，我感觉也是最重要的一个原因，rand()函数产生的随机数在千万级数量下，会有很多很多的重复值，这种情况对于稳定算法是很友好的，而对于快排这种不稳定算法却是很糟糕的。

运行测试

排序数数量为 10000 时



排序数量为 100000 时



当排序量上升到百万、千万级时，冒泡、选择、直接插入、堆排序、基数排序都将很展现出很低的效率，我跑了很久每个结果，这里便没再测试贴出（见“思考”中的大数排序）。