Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского

Институт информационных технологий, математики и механики

Отчет по лабораторной работе

«Сортировки»

Выполнил:
студент группы 382003-1
Ларин К.Д.

Проверил:
ассистент каф. МОСТ,
Волокитин В.Д.

Нижний Новгород
2020

Содержание

Постановка задачи

Реализовать алгоритмы сортировки массива типа float на языке C: bubble sort, quick sort, merge sort, radix sort, реализовать функцию проверки корректности сортировки, экспериментально подтвердить асимптотическую сложность алгоритмов.

Метод решения

1) Bubble sort:

Алгоритм состоит из повторяющихся проходов по массиву. При каждом проходе сравниваются соседние элементы, если элементы массива идут в обратном порядке (по возрастанию) они меняются местами. Если при очередном проходе не произошло замен или число выполненных проходов совпадает с размером массива, то массив отсортирован.

2) Quick sort:

Алгоритм состоит из следующих шагов:

- выбрать элемент из массива (используя псевдослучайные числа или другие алгоритмы)
- переставить элементы массива так чтобы сначала шли числа меньше или равные опорного, затем сам опорный элемент, после числа большие или равные ему
- для частей массива с «меньшими» и «большими» значениями применить тот же алгоритм, пока эти части включают в себя хотя бы два элемента.

3) Merge sort:

Алгоритм заключается в том, чтобы разделить массив на две части, отсортировать каждую по отдельности, а после соединить части в один отсортированный массив. Сортировка каждой части выполняется тем же алгоритмом, пока в массиве больше одного элемента, массив из одного элемента — отсортированный. Слияние отсортированных частей выполняется в дополнительный массив по следующему алгоритму:

- пока обе части исходного массива не рассмотрены полностью в конец дополнительный массив добавляется меньший их еще не рассмотренных элементов частей массива

- когда одна часть исходного массива рассмотрена в дополнительный массив копируется оставшаяся часть не рассмотренного массива.

После числа из дополнительного массива по порядку копируются в исходный.

4) Radix sort:

элементы массива сортируются по значению одного из байт их преставления в памяти компьютера, байт выбирается последовательно от младшего к старшему. При каждом проходе осуществляется сортировка подсчетом:

- подсчитывается количество элементов массива со всеми возможными значениями очередного байта
- новая позиция числа со значением байта равным i определяется как количество элементов со значением байта меньшим i
- на полученные позиции записываются числа из исходного массива, после записи позиция увеличивается на 1.

Руководство пользователя

В первой строке консоли выводятся первые 50 элементов или сообщение, что массив пуст . В следующей строке выводится текущий размер массива.

Работа с программой осуществляется с помощью текстового меню, для выбора варианта нужно ввести его номер.

Main menu:

“1) create new array” печатает меню создания массива. Необходимо указать положительный размер нового массива и выбрать способ инициализации, следуя выводимым указаниям.

“2) change array element” изменить значение элемента массива.

“3) sort array” печатает меню запуска сортировки. После завершения сортировки выводится число сравнений и перестановок сделанных программой.

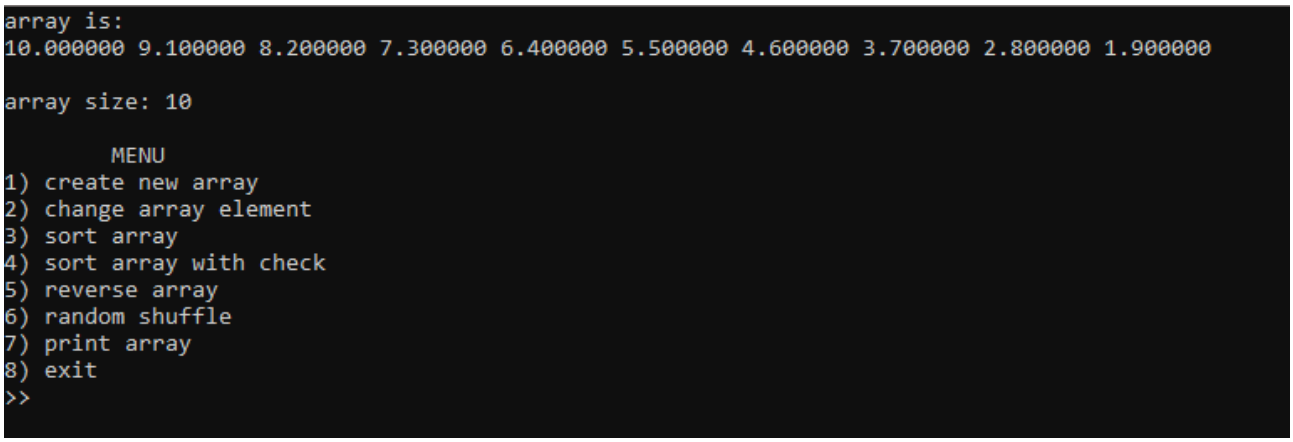
“4) sort array with check” печатает меню запуска сортировки. После завершения сортировки выводится число сравнений и перестановок сделанных программой и информация о корректности сортировки.

“5) reverse array” переставить элементы массива в обратном порядке.

“6) random shuffle” перемешать массив.

“7) print array” вывести весь массив (в консоль или в файл)

“8) exit” завершить работу программы.



Array creation menu:

“1) array of random numbers” запрашивает два числа и создает массив случайных чисел в интервале между заданными значениями.

“2) numbers in the interval” запрашивает два значения полуинтервала и создает массив значений арифметической прогрессии.

“3) enter an array” запрашивает ввод массива через консоль.

“4) read array from file” запрашивает имя текстового файла и считывает из него массив.

```
        ARRAY CREATION MENU
1) array of random numbers
2) numbers in the interval
3) enter an array
4) read array from file
>> 1
enter the minimum of an array element: -10
enter the maximum of an array element: 10
```

Sort menu

Запрашивает выбор алгоритма сортировки.

```
        SORT MENU
1) bubble sort
2) quick sort
3) merge sort
4) radix sort
>> _
```

```
100.000000 99.000000 98.000000 97.000000 96.000000 95.000000 94.000000 93.000000 92.000000 91.000000 90.000000 89.000000
 88.000000 87.000000 86.000000 85.000000 84.000000 83.000000 82.000000 81.000000 80.000000 79.000000 78.000000 77.000000
 76.000000 75.000000 74.000000 73.000000 72.000000 71.000000 70.000000 69.000000 68.000000 67.000000 66.000000 65.000000
 64.000000 63.000000 62.000000 61.000000 60.000000 59.000000 58.000000 57.000000 56.000000 55.000000 54.000000 53.000000
 52.000000 51.000000

array size: 100

       MENU
1) create new array
2) change array element
3) sort array
4) sort array with check
5) reverse array
6) random shuffle
7) print array
8) exit
>> 4

       SORT MENU
1) bubble sort
2) quick sort
3) merge sort
4) radix sort
>> 3
sort report:
number of permutations: 672
number of comparisons:  316
sort is correct: YES
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
```

Описание программной реализации

Файлы: sorts.h, sorts.c, menu.h, menu.c

Sorts.h прототипы функций сортировки и объявление структуры для подсчета числа перестановок и сравнений.

```
testInfo bubbleSort(float* const arr, size_t len);

testInfo mergeSort(float* const arr, size_t len);
testInfo quickSort(float* const arr, size_t len);
testInfo radixSort(float* const arr, size_t len);

testInfo checkSort(float* const arr, size_t len, testInfo(sortFunc)(float* const, size_t));
```

функции принимают в качестве аргументов указатель на начало массива, и количество элементов массива. Возвращается структура testInfo с полями compareCount равным числу сделанных сравнений элементов массива и swapCount равным числу перестановок элементов массива.

Sorts.c реализация функций сортировки.

Menu.h прототип функции mainMenu() - запуск консольного меню для взаимодействия с пользователем

menu.c реализация mainMenu(), дополнительные функции для работы mainMenu.

Подтверждение корректности

Для подтверждения корректности в программе реализована функция checkSort, которая копирует массив и сравнивает результат работы сортировки с результатом работы функции qsort из стандартной библиотеки C.

testInfo checkSort(float* const arr, size_t len, testInfo(sortFunc)(float* const, size_t));

Аргументы: массив типа float, количество элементов массива, указатель на функцию сортировки.

Возвращаемое значение: структура testInfo с полями compareCount — число сравнений, swapCount — число перестановок, isCorrect — 1 если сортировка корректна, 0 — сортировка не корректна;

Результаты экспериментов

Массив размера n случайные данные.

len	перестановки пузырек	перестановки quickSort	перестановки mergeSort	перестановки radixSort
2	1	1	2	9
4	1	2	8	19
8	17	6	24	37
16	58	16	64	75
32	260	41	160	153
64	1106	101	384	301
128	3892	211	896	605
256	16076	503	2048	1218
512	66154	1121	4608	2438
1024	260243	2457	10240	4868
2048	1032297	5340	22528	9737
4096	4196954	11832	49152	19432
8192	16930453	24807	106496	38933
16384	67297274	54359	229376	77853
32768	269308971	114894	491520	155685
65536	1073675542	240967	1048576	311251
131072	4287847082	504956	2228224	622628
262144	17241548711	1048979	4718592	1245231
524288	68760994274	2154861	9961472	2490422
1048576	274947975051	4281904	20971520	4980708
2097152	1099735883025	8658341	44040192	9961436

len	сравнения пузырек	сравнения quickSort	сравнения mergeSort	сравнения radixSort
2	1	2	1	0
4	5	7	4	0
8	25	26	17	0
16	119	64	47	0
32	490	153	121	0
64	1845	376	296	0
128	7875	1252	736	0
256	32112	2304	1717	0
512	130771	5007	3960	0
1024	523755	12041	8968	0
2048	2092807	28535	19929	0
4096	8383074	55209	43946	0
8192	33542208	134173	96133	0
16384	134190426	278230	208633	0
32768	536845348	630561	449820	0
65536	2147391195	1383718	965719	0
131072	8589859186	2948728	2062588	0
262144	34359552350	6416640	4386390	0
524288	137438163450	14679068	9298232	0
1048576	549754901079	38243672	19645597	0
2097152	2199019383100	101715815	41389045	0

Массив размера len. Худший случай: опорным выбирается минимальный элемент подмассива, лучший случай: массив отсортирован.

len	сравнения quickSort худший случай	перестановки quickSort худший случай	сравнения quickSort лучший случай	перестановки quickSort лучший случай
2	2	1	2	1
4	9	3	6	2
8	35	7	17	4
16	135	15	46	8
32	527	31	119	16
64	2079	63	296	32
128	8255	127	713	64
256	32895	255	1674	128
512	131085	510	3853	257
1024	520945	1014	8734	521
2048	2061561	2012	19533	1056
4096	8172383	3995	43210	2142
8192	31668077	7722	94987	4475
16384	119871901	14614	207512	9475
32768	439953385	26830	451383	20300
65536	1535128777	46871	982945	44418
131072	5352647749	81656	2173569	101180
262144	19364740987	147660	4997351	229460
524288	73014199785	278509	12303107	491521
1048576	2,83359E+11	540563	33456389	1015808
2097152	1,11673E+12	1065045	101596008	2064384

Массив размера len. Лучший случай: массив отсортирован, худший случай: массив отсортирован в обратном порядке.

len	сравнения пузырек худший случай	перестановки пузырек худший случай	сравнения пузырек лучший случай	перестановки пузырек лучший случай
2	1	1	1	0
4	6	6	3	0
8	28	28	7	0
16	120	120	15	0
32	496	496	31	0
64	2016	2016	63	0
128	8128	8128	127	0
256	32640	32639	255	0
512	130816	130814	511	0
1024	523776	523758	1023	0
2048	2096128	2096070	2047	0
4096	8386560	8386358	4095	0
8192	33550336	33549329	8191	0
16384	134209536	134205470	16383	0
32768	536854528	536838190	32767	0
65536	2147450880	2147385297	65535	0
131072	8589869046	8589607426	131071	0
262144	34359607275	34358558856	262143	0
524288	1,37439E+11	1,37434E+11	524287	0
1048576	5,49755E+11	5,49739E+11	1048575	0
2097152	2,19902E+12	2,19896E+12	2097151	0

По данным экспериментов видно, что сортировки имеют следующую сложность:

- сортировка пузырьком: O(n) в лучшем случае, O(n^2) в худшем и среднем.
- быстрая сортировка: O(n * ln(n)) в лучшем и среднем, O(n^2) в худшем случае.
- Сортировка слиянием: O(n * ln(n)) сложность зависит, только от размера массива.
- Поразрядная сортировка: O(n) сложность зависит, только от размера массива.

Заключение

Были реализованы предложенные функции сортировки и функция проверки корректности сортировок. Получено экспериментальное подтверждение теоретической сложности алгоритмов.

Приложение

```
#pragma comment(linker, "/STACK:256000000")

#include "sorts.h"
#include "stdlib.h"
#include "inttypes.h"
#include "memory.h"

static void swap(float* a, float* b)
{
	float temp = *a;
	*a = *b;
	*b = temp;
}

static void ptrSwap(float** a, float** b)
{
	float* temp = *a;
	*a = *b;
	*b = temp;
}

testInfo bubbleSort(float* const arr, size_t len)
{
	int flag = 1;
	testInfo report;
	report.swapCount = report.compareCount = 0;

	for (size_t i = 0; i < len && flag; i++)
	{
		flag = 0;
		for (size_t j = len - 1; j > i; j--)
		{
			report.compareCount++;
			if (arr[j] < arr[j - 1]) {
				swap(&arr[j], &arr[j - 1]);
				report.swapCount++;

				flag = 1;
			}
		}
	}
```

```
	return report;
}

static int64_t _partition(float* arr, int64_t left, int64_t right, testInfo* report)
{
	// pos - псевдослучайное 32-х битное число на [left, right)
#if RAND_MAX <= (1 << 16)
	size_t pos = (rand() | (rand() << 15)) % (right - left) + left;
#else
	size_t pos = rand() % (right - left) + left;
#endif

	float pivot = arr[pos];

	while (left < right)
	{
		while (left <= right && arr[left] <= pivot)
		{
			report->compareCount++;
			left++;
		}
		while (left <= right && arr[right] >= pivot)
		{
			report->compareCount++;
			right--;
		}

		if (left < right) {
			report->swapCount++;
			swap(&arr[left], &arr[right]);
		}
	}

	report->swapCount++;
	if (pos > left) {
		swap(&arr[pos], &arr[left]);
		return left;
	}

	swap(&arr[pos], &arr[left - 1]);
	return left - 1;
}
```

```
static void _quickSort(float* arr, int64_t first, int64_t last, testInfo* report)
{
	if (first < last) {
		int64_t p = _partition(arr, first, last, report);
		_quickSort(arr, first, p - 1, report);
		_quickSort(arr, p + 1, last, report);
	}
}

testInfo quickSort(float* const arr, size_t len)
{
	testInfo report;
	report.compareCount = report.swapCount = 0;

	_quickSort(arr, 0, (int64_t)len - 1, &report);

	return report;
}

static void _merge(float* arr, float* buffer, size_t l, size_t r, size_t mid, testInfo*
report)
{
	size_t i = l, j = mid + 1, k = l;

	while (i <= mid || j <= r)
	{
		if (i <= mid && j <= r) {
			report->compareCount++;
		}
		if (j > r || (i <= mid && arr[i] < arr[j])) {
			buffer[k] = arr[i];
			i++;
		}
		else {
			buffer[k] = arr[j];
			j++;
		}

		k++;
	}
}
```

```
static void _mergeSort(float* arr, float* buffer, size_t l, size_t r, testInfo* report)
{
	if (l < r) {
		size_t mid = l + (r - l) / 2;

		// при рекурсивном вызове arr и buffer меняются местами
		_mergeSort(buffer, arr, l, mid, report);
		_mergeSort(buffer, arr, mid + 1, r, report);
		_merge(buffer, arr, l, r, mid, report);
	}
}

testInfo mergeSort(float* const arr, size_t len)
{
	testInfo report;
	float* buffer = (float*)malloc(len * sizeof(float));
	report.compareCount = report.swapCount = 0;

	for (int i = 0; i < len; i++)
	{
		buffer[i] = arr[i];
	}

	_mergeSort(arr, buffer, 0, len - 1, &report);

	free(buffer);

	return report;
}

static void _radixNormalizeInPlace(float* arr, size_t len, testInfo* report)
{
	if (arr[len - 1] > 0) return;

	report->swapCount += len / 2;
	for (size_t i = 0; i < len/2; i++)
	{
		swap(&arr[i], &arr[len - i - 1]);
	}

	size_t j = 0;
	while (j < len && arr[j] < 0) j++;
```

```
        report->swapCount += (len + j) / 2 - j;
        for (size_t i = j; i < (len + j) / 2; i++)
        {
                swap(&arr[i], &arr[len + j - i - 1]);
        }
}

testInfo radixSort(float* const arr, size_t len)
{
        const int countValues = (1 << 8);

        testInfo report;
        size_t counts[sizeof(float)][countValues];
        float* tempArr;
        float* buffer;

        memset(counts, 0, sizeof(float) * countValues * sizeof(size_t));

        report.compareCount = report.swapCount = 0;

        for (int byteNumber = 0; byteNumber < sizeof(float); byteNumber++)
        {
                for (size_t i = 0; i < len; i++)
                {
                        int val = ((uint8_t*)&arr[i])[byteNumber];
                        counts[byteNumber][val]++;
                }
        }

        for (int byteNumber = 0; byteNumber < sizeof(float); byteNumber++)
        {
                size_t sum = 0;
                for (int i = 0; i < countValues; i++)
                {
                        sum += counts[byteNumber][i];
                        counts[byteNumber][i] = sum - counts[byteNumber][i];
                }
        }

        tempArr = arr;
        buffer = (float*)malloc(sizeof(float) * len);

        for (int byteNumber = 0; byteNumber < sizeof(float); byteNumber++)
```

```
	{
		for (size_t i = 0; i < len; i++)
		{
			int val = ((uint8_t*)&tempArr[i])[byteNumber];

			buffer[counts[byteNumber][val]] = tempArr[i];
			counts[byteNumber][val]++;

			report.swapCount++;
		}

		ptrSwap(&buffer, &tempArr);
	}

	if (arr == tempArr) {
		_radixNormalizeInPlace(arr, len, &report);

		free(buffer);
	}
	else {
		_radixNormalize(arr, tempArr, len);
		report.swapCount += len;

		free(tempArr);
	}

	return report;
}

testInfo checkSort(float* const arr, size_t len, testInfo(sortFunc)(float* const, size_t))
{
	float* arrCopy = (float*)malloc(sizeof(float) * len);
	for (int i = 0; i < len; i++)
	{
		arrCopy[i] = arr[i];
	}

	testInfo report = sortFunc(arr, len);
	qsort(arrCopy, len, sizeof(float), compare);

	report.isCorrect = 1;
	for (int i = 0; i < len; i++)
	{
```

```
            if (arr[i] != arrCopy[i]) {
                report.isCorrect = 0;
                break;
            }
        }

        free(arrCopy);

        return report;
}
```