C 语言排序算法性能测试

摘要

本实验主要探讨堆排序,冒泡排序,斐波那契堆排序的性能
通过在不同的编译优化条件下分别对10,100,1000,10000,100000个数据排序所用时间和空间的对比来判堆算法的性能
最后结果表明:

1. **堆排序最快**
2. 因**斐波那契堆排序常数因素影响大**导致数据量小于100时冒泡排序比其快,且斐波那契堆排序在数据量较小时速度比堆排序慢
3. 数据量大于1000小于100000时三种算法速度有**堆排序>斐波那契堆排序>冒泡排序**的关系，斐波那契堆排序速度与堆排序速度差距减小.
4. 在数据量小于100000的情况下**不同算法在不同gcc编译优化情况下有不同的最佳优化选项**
5. **对比算法本身的优化gcc的编译优化可以忽略不计**

前言

什么样的程序才是好的程序?

对于用户来,说好的程序往往代表着人性化的交互界面,高效率,安全等等.
而效率就像货币一样,通过牺牲效率我们可以换来更安全的程序,更方便的图形界面.
一个好的算法往往可以带来更高的效率.本次实验将实现三个经典的排序算法:
冒泡排序,**堆排序**和**斐波那契堆排序**并测试这三种算法在不同数据量下的性能.

环境配置

- 下载VMware和Ubuntu22.04 LTS
  本实验在Linux虚拟机中进行所以先安装虚拟机软件.在VMware官网下载VMware并进行安装,再到ubuntu官网下载Ubuntu22.04 LTS.
- 安装Linux系统
  打开VMware创建新的虚拟机,选择自定义后按下一步至选择系统文件处.选择下载好的Ubuntu系统并按下一步安装.
  设置密码后设置虚拟机安装位置.选择合适的配置后安装虚拟机.按推荐方式安装Ubuntu后将自动进行网络配置.
- 安装gcc,vscode
  待Ubuntu安装完成后在终端中执行
  `sudo apt install gcc`
  `sudo apt install build-essential`
  安装gcc.
  通过`gcc --version`检查gcc是非安装成功.
  并于vscode官网安装vscode安装包, 下载完后双击安装.

算法实现

- 冒泡排序

```
#include "bubbleSort.h"

void bubbleSort(int* arry, int length){
    int flag = 1;
    for (int i = 0; i < length - 1; i++){
        flag = 1;
        for (int j = 0; j< length - 1 - i; j++){
            if (arry[j] > arry[j + 1]){
               int tmp = arry[j];
                arry[j] = arry[j + 1];
               arry[j + 1] = tmp;
                flag = 0;
            }
        }
        if (flag) break;
    }
}
```

- 堆排序

```
#include<stdlib.h>

int* heapSort(int* arry, int length){
    //堆化
   for (int i = length; i > 1; i--){
        int index = i;
       while (index > 1) {
            if (arry[index] < arry[index / 2]){
               int tmp = arry[index];
               arry[index] = arry[index / 2];
               arry[index / 2] = tmp;
               index /= 2;
           }else break;
       }
  }

   int length2 = length;
   int* result = (int*)(malloc((length2 + 1) * sizeof(int)));
   result[0] = 0;
  //取出堆中最小值
  for (int i = 1; i < length2 + 1; i++){
      int min = 1;
      int smallChilden = min * 2;
      result[i] = arry[1];
      arry[1] = arry[length];//将最后一个叶子节点放至根节点
      length -= 1;
      //当有子结点时进行循环，维持堆结构
      while (min * 2 < length + 1) {
          if (smallChilden < length && arry[smallChilden] >
arry[smallChilden + 1]) smallChilden +=   1;//如果有右孩且右孩子比左孩子小
```

```
            if (arry[min] > arry[smallChilden]) {
                int tmp = arry[min];
                arry[min] = arry[smallChilden];
                arry[smallChilden] = tmp;
                min = smallChilden;
                smallChilden *= 2;
            }else{
                break;
            }
        }
    }

    return result;
}
```

- 斐波那契堆排序

▶ 点击展开代码

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

typedef int Type;

typedef struct FibNode {
    Type key;                           //关键字(键值)
    int degree;                         //度数
    struct FibNode* left;               //左兄弟
    struct FibNode* right;              //右兄弟
    struct FibNode* child;              //第一个孩子结点
    struct FibNode* parent;             //父结点
}FibNode;

typedef struct FibHeap {
    int   keyNum;                        //堆中结点的总数
    int   maxDegree;                     //最大度
    struct FibNode* min;                 //最小结点(某个最小堆的根结点)
    struct FibNode** cons;               //最大度的内存区域
}FibHeap;

//将node从双链表移除
void fibNodeRemove(FibNode* node) {
    node->left->right = node->right;
    node->right->left = node->left;
}

//将单个结点node加入双向链表root之前
void fibNodeAdd(FibNode* node, FibNode* root) {
    node->left = root->left;
    root->left->right = node;
    node->right = root;
```

```
    root->left = node;
}

//将双向链表b链接到双向链表a的后面
void fibNodeCat(FibNode* a, FibNode* b) {
    FibNode* tmp;
    tmp = a->right;
    a->right = b->right;
    b->right->left = a;
    b->right = tmp;
    tmp->left = b;
}

//创建斐波那契堆
FibHeap* fibHeapMake() {
    FibHeap* heap;
    heap = (FibHeap*)malloc(sizeof(FibHeap));
    if (heap == NULL) {
        printf("Error: make FibHeap failed\n");
        return NULL;
    }
    heap->keyNum = 0;
    heap->maxDegree = 0;
    heap->min = NULL;
    heap->cons = NULL;
    return heap;
}

//创建斐波那契堆的结点
FibNode* fibNodeMake(Type key) {
    FibNode* node;
    node = (FibNode*)malloc(sizeof(FibNode));
    if (node == NULL) {
        printf("Error: make Node failed\n");
        return NULL;
    }
    node->key = key;
    node->degree = 0;
    node->left = node;
    node->right = node;
    node->parent = NULL;
    node->child = NULL;
    return node;
}

//将结点node插入到斐波那契堆heap中
void fibHeapInsert_node(FibHeap* heap, FibNode* node) {
    if (heap->keyNum == 0) {
        heap->min = node;
    }
    else {
        fibNodeAdd(node, heap->min);
        if (node->key < heap->min->key) {
            heap->min = node;
```

```
        }
    }
    heap->keyNum++;
}

//新建键值为key的结点，并将其插入到斐波那契堆中
void fibHeapInsert_key(FibHeap* heap, Type key) {
    FibNode* node;
    if (heap == NULL) {
        printf("The heap does not exist\n");
        return;
    }
    node = fibNodeMake(key);
    if (node == NULL) {
        printf("Cannot make node\n");
        return;
    }
    fibHeapInsert_node(heap, node);
}

//将"堆的最小结点"从根链表中移除，即"将最小结点所属的树"从堆中移除
FibNode* fibHeapRemove_min(FibHeap* heap) {
    FibNode* min = heap->min;
    if (heap->min == min->right) {
        heap->min = NULL;
    }
    else {
        fibNodeRemove(min);
        heap->min = min->right;
    }
    min->left = min->right = min;
    return min;
}

//将node链接到root根结点
void fibHeapLink(FibHeap* heap, FibNode* node, FibNode* root) {
    //将node从双链表中移除
    fibNodeRemove(node);
    //将node设为root的孩子
    if (root->child == NULL) {
        root->child = node;
    }
    else {
        fibNodeAdd(node, root->child);
    }
    node->parent = root;
    root->degree++;
}

//创建fib_heap_consolidate所需空间
void fibHeapConsInit(FibHeap* heap) {
    int old = heap->maxDegree;
    //计算log2(x)，向上取整
    heap->maxDegree = (int)(log((double)(heap->keyNum)) / log(2.0)) +
```

```
1;
    //如果原本空间不够，则再次分配内存
    if (old >= heap->maxDegree) {
        return;
    }
    //因为度为heap->maxDegree可能被合并，所以要maxDegree+1
    heap->cons = (FibNode**)realloc(heap->cons, sizeof(FibHeap*) *
(heap->maxDegree + 1));
}

//合并斐波那契堆的根链表中左右相同度数的树
void fibHeapConsolidate(FibHeap* heap) {
    //开辟所用空间
    fibHeapConsInit(heap);
    int i;
    int D = heap->maxDegree + 1;
    for (i = 0; i < D; i++) {
        heap->cons[i] = NULL;
    }
    //合并相同度的根结点，使每个度数的树唯一
    while (heap->min != NULL) {
        FibNode* x = fibHeapRemove_min(heap);    //取出堆中的最小树(最小结
点所在的树)
        int d = x->degree;                       //获取最小树的度数
        //heap->cons[d] != NULL，意味着有两棵树(x和y)的"度数"相同。
        while (heap->cons[d] != NULL) {
            FibNode* y = heap->cons[d];          //y是"与x的度数相同的树"
            if (x->key > y->key) {               //保证x的键值比y小
                FibNode* tmp = x;
                x = y;
                y = tmp;
            }
            fibHeapLink(heap, y, x);             //将y链接到x中
            heap->cons[d] = NULL;
            d++;
        }
        heap->cons[d] = x;
    }
    heap->min = NULL;
    //将heap->cons中的结点重新加到根表中
    for (i = 0; i < D; i++) {
        if (heap->cons[i] != NULL) {
            if (heap->min == NULL) {
                heap->min = heap->cons[i];
            }
            else {
                fibNodeAdd(heap->cons[i], heap->min);
                if ((heap->cons[i])->key < heap->min->key) {
                    heap->min = heap->cons[i];
                }
            }
        }
    }
}
```

```
//移除最小结点min
FibNode* fibHeapExtractMin_node(FibHeap* heap) {
    if (heap == NULL || heap->min == NULL) {
        return NULL;
    }
    FibNode* child = NULL;
    FibNode* min = heap->min;
    //将min每一个儿子(儿子和儿子的兄弟)都添加到"斐波那契堆的根链表"中
    while (min->child != NULL) {
        child = min->child;
        fibNodeRemove(child);
        if (child->right == child) {//感觉可以优化
            min->child = NULL;
        }
        else {
            min->child = child->right;
        }
        fibNodeAdd(child, heap->min);
        child->parent = NULL;
    }
    //将min从根链表中移除
    fibNodeRemove(min);
    if (min->right == min) { //若min是堆中唯一结点，则设置堆的最小结点为
NULL；
        heap->min = NULL;
    }
    else {                    //否则，设置堆的最小结点为一个非空结点(min-
>right)，然后再进行调节。
        heap->min = min->right;
        fibHeapConsolidate(heap);
    }
    heap->keyNum--;
    return min;
}

int fibHeapExtractMin(FibHeap* heap) {
    FibNode* node;
    if (heap == NULL || heap->min == NULL) {
        return 0;
    }
    node = fibHeapExtractMin_node(heap);
    if (node != NULL) {
        int a = node->key;
        free(node);
        return a;
    }
}
//从node开始销毁结点
void fibNodeDestroy(FibNode* node) {
    FibNode* start = node;
    if (node == NULL) {
        return;
    }
```

```
        do {
            fibNodeDestroy(node->child);
            // 销毁node，并将node指向下一个
            node = node->right;
            free(node->left);
        } while (node != start);
    }

    //销毁斐波那契堆
    void fibHeapDestroy(FibHeap* heap) {
        fibNodeDestroy(heap->min);
        free(heap->cons);
        free(heap);
    }

    int* fibSort(FibHeap* heap) {
        int* a = (int*)malloc(sizeof(int) * heap->keyNum);
        int length = heap->keyNum;
        for (int i = 0; i < length; i++) {
            a[i] = fibHeapExtractMin(heap);
        }
        return a;
    }
```

测试数据生成

```
srand(time(NULL)); //设置随机种子
int n = 10;
FILE *f = fopen("../data/1_1.txt","w");
for (int i = 0; i < n; i++) {
    int random_num = rand() % 10000; // 生成0到9999之间的随机数
    fprintf(f, "%d ", random_num);
}
fclose(f);
/*
在main函数中使用以上代码随机生成一些数并储存在data文件夹中,每次手动改变n数量为
10,100,1000,10000,100000后运行三次分别生成    1_1.txt,1_2.txt,1_3.txt以及
2_1.txt,2_2.txt等等
*/
```

编译与性能测试

修改.vscode文件夹下task.json确保编译器正确链接文件
通过在-g下方添加-o1,-o2等进行不同程度编译优化

```
{
    "tasks": [
        {
            "type": "cppbuild",
```

```
            "label": "C/C++: gcc-13 生成活动文件",
            "command": "/usr/bin/gcc-13",
            "args": [
                "-fdiagnostics-color=always",
                "-g",
                "${fileDirname}/main.c",
                "${fileDirname}/bubbleSort.c",
                "${fileDirname}/heapSort.c",
                "${fileDirname}/fibSort.c",
                "-o",
                "${fileDirname}/${fileBasenameNoExtension}",
                "-lm"
            ],
            "options": {
                "cwd": "${fileDirname}"
            },
            "problemMatcher": [
                "$gcc"
            ],
            "group": {
                "kind": "build",
                "isDefault": true
            },
            "detail": "调试器生成的任务。"
        }
    ],
    "version": "2.0.0"
}
```

- 冒泡排序数据测试

```
#include"bubbleSort.h"
#include<stdio.h>
#include <sys/resource.h>
#include<time.h>


void main(){
    struct rusage usage;
    getrusage(RUSAGE_SELF, &usage);
    const int length = 10;
    int a[length];
    int index = 0;
    FILE* f = fopen("../data/1_1.txt","r");
    while(fscanf(f,"%d",&a[index]) == 1){
        index++;
    }
    fclose(f);

    clock_t start = clock();
    bubbleSort(a, length);
    clock_t end = clock();
```

```
    double timeUsed = ((double)(end - start)) / CLOCKS_PER_SEC;

    FILE* file = fopen("../data/O0/bubbleSort_1_1.txt","w");
    fprintf(file, "用时:%fs\n占用内存%ldKB\n排序结果为:\n", timeUsed, 
usage.ru_maxrss);
    for(int i = 0; i < length; i++){
        fprintf(file, "%d ",a[i]);
    }
}
```

- 堆排序数据测试

```
#include"heapSort.h"
#include<stdio.h>
#include <sys/resource.h>
#include<time.h>
#include <stdlib.h>


void main(){

    struct rusage usage;
    getrusage(RUSAGE_SELF, &usage);
    const int length = 100000;
    int a[length + 1];//第一个为占位符
    a[0] = 1;
    int index = 1;
    FILE* f = fopen("../data/5_3.txt","r");
    while(fscanf(f,"%d",&a[index]) == 1){
        index++;
    }
    fclose(f);

    clock_t start = clock();
    int* b = (int*)malloc(sizeof(int) * length + 1);
    b = heapSort(a, length);
    clock_t end = clock();
    double timeUsed = ((double)(end - start)) / CLOCKS_PER_SEC;
    FILE* file = fopen("../data/Ofast/heapSort_5_3.txt","w");
    fprintf(file, "用时:%fs\n占用内存%ldKB\n排序结果为:\n", timeUsed, 
usage.ru_maxrss);
    for(int i = 1; i < length + 1; i++){
        fprintf(file, "%d ",b[i]);
    }
    fclose(file);

}
```

- 斐波那契堆排序数据测试

```c
#include"fibSort.h"
#include<stdio.h>
#include <sys/resource.h>
#include<time.h>
#include <stdlib.h>


void main(){
    struct rusage usage;
    getrusage(RUSAGE_SELF, &usage);
    const int length = 10;
    int a[length];
    int index = 0;
    FibHeap* heap = fibHeapMake();
    FILE* f = fopen("../data/1_1.txt","r");
    while(fscanf(f,"%d",&a[index]) == 1){
        fibHeapInsert_key(heap,a[index]);
        index++;
    }
    fclose(f);
    int* b = (int*)malloc(sizeof(int) * length);
    clock_t start = clock();
    b = fibSort(heap);
    clock_t end = clock();
    double timeUsed = ((double)(end - start)) / CLOCKS_PER_SEC;
    FILE* file = fopen("../data/O0/fibSort_1_1.txt","w");
    fprintf(file, "用时:%fs\n占用内存%ldKB\n排序结果为:\n", timeUsed,
usage.ru_maxrss);
    for(int i = 0; i < length; i++){
        fprintf(file, "%d ",b[i]);
    }
    fclose(file);


}
```

结果与分析

对实验结果求平均值并存在data/result文件夹下
使用matlab绘制图像并保存在data/result文件夹下

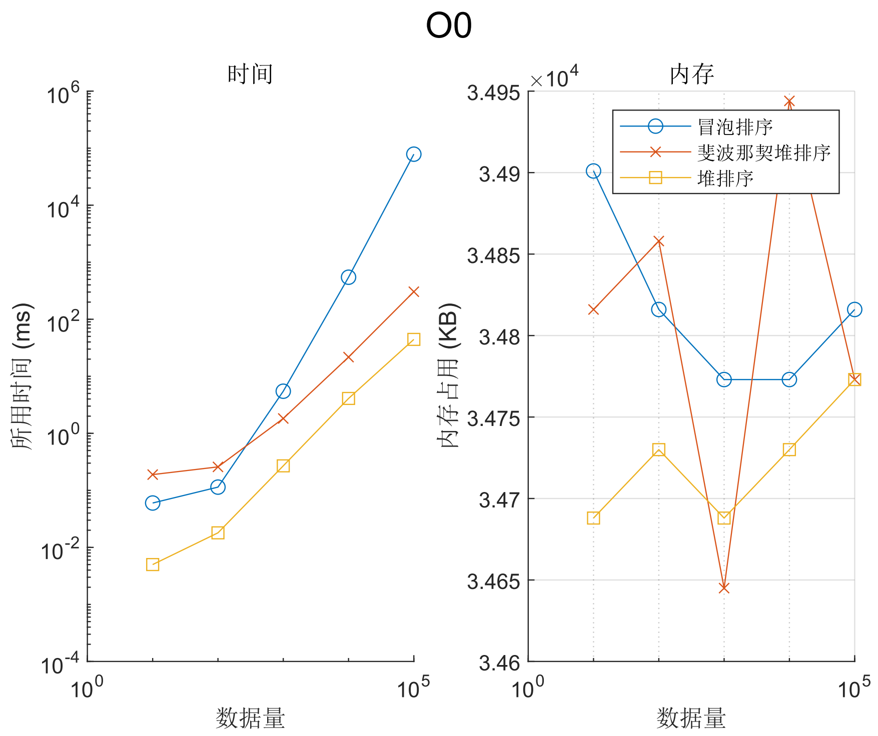
```matlab
types = ["bubbleSort", "fibSort", "heapSort"];
options = ["O0","O1","O2","O3","Ofast"];
times = [];
memory = [];

% 读取文件内容并提取数据
for i = 1:75
    % 计算类型索引，并生成路径
```

```
    index = ceil(i / 15);
    index2 = i - (index - 1) * 15;
    route = sprintf('../data/result/%s/%s%d.txt', options(index),
types(ceil(index2 / 5)), mod(i - 1, 5) + 1);

    % 打开文件并检查是否成功
    fileID = fopen(route, 'r');
    if fileID == -1
        warning('无法打开文件: %s', route);
        continue;
    end

    % 逐行读取文件内容
    while ~feof(fileID)
        line = fgetl(fileID);
        if contains(line, '平均用时')
            time_value = sscanf(line, '平均用时:%fs');
            times = [times; time_value * 1000];  % 追加时间数据
        elseif contains(line, '占用')
            memory_value = sscanf(line, '占用%dKB内存');
            memory = [memory; memory_value];  % 追加内存数据
        end
    end

    % 关闭文件
    fclose(fileID);
end

data_sizes = [10,100,1000,10000,100000];

for i = 1:5
    bubbleSort_times = times(1 + 15 * (i - 1):5 + 15 * (i - 1));
    fibHeapSort_times = times(6 + 15 * (i - 1):10 + 15 * (i - 1));
    heapSort_times = times(11 + 15 * (i - 1):15 + 15 * (i - 1));
    bubbleSort_mem = memory(1 + 15 * (i - 1):5 + 15 * (i - 1));
    fibHeapSort_mem = memory(6 + 15 * (i - 1):10 + 15 * (i - 1));
    heapSort_mem = memory(11 + 15 * (i - 1):15 + 15 * (i - 1));
    figure;
    subplot(1, 2, 1); % 左侧绘制时间曲线
    hold on;
    plot(data_sizes, bubbleSort_times, '-o', 'DisplayName', '冒泡排序');
    plot(data_sizes, fibHeapSort_times, '-x', 'DisplayName', '斐波那契堆排
序');
    plot(data_sizes, heapSort_times, '-s', 'DisplayName', '堆排序');
    set(gca, 'XScale', 'log'); % 将X轴设为对数刻度
    set(gca, 'YScale', 'log'); % 将Y轴设为对数刻度
    xlabel('数据量');
    ylabel('所用时间 (ms)');
    title('时间');

    subplot(1, 2, 2); % 右侧绘制内存曲线
    hold on;
    plot(data_sizes, bubbleSort_mem, '-o', 'DisplayName', '冒泡排序');
    plot(data_sizes, fibHeapSort_mem, '-x', 'DisplayName', '斐波那契堆排序');
```

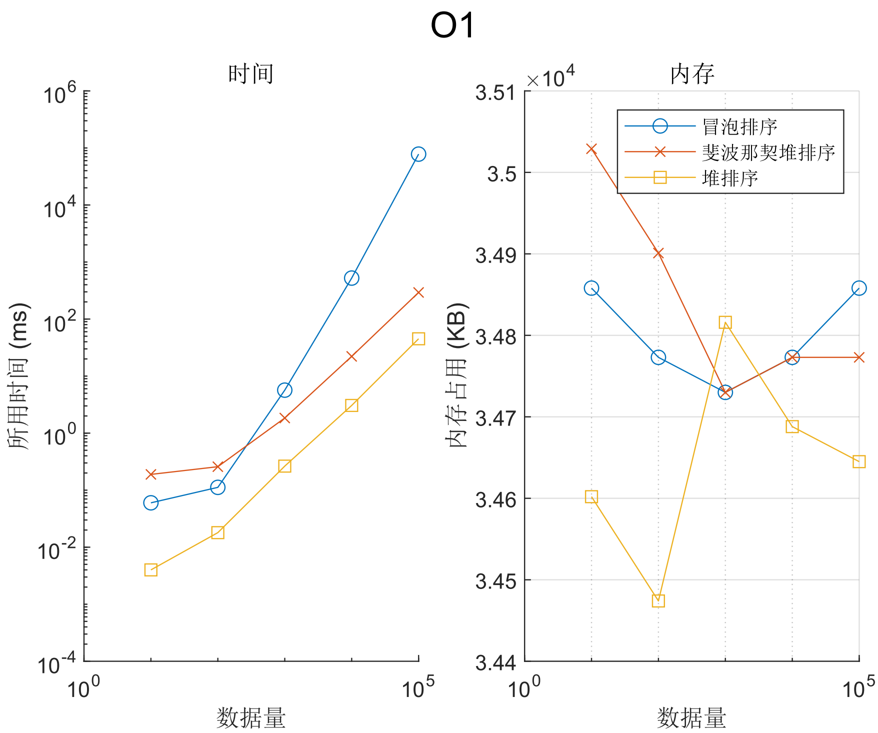
```
    plot(data_sizes, heapSort_mem, '-s', 'DisplayName', '堆排序');
    hold off;
    set(gca, 'XScale', 'log'); % 将X轴设为对数刻度

    xlabel('数据量');
    ylabel('内存占用 (KB)');
    title('内存');
    legend('show');
    grid on;

    % 调整布局
    sgtitle(options(i));
    route2 = sprintf('../data/result/%s.svg', options(i));
    print(route2, '-dsvg');
end


for i = 1:3
    x = [1,2,3,4,5]; % 创建一个数值型索引
    sortTimes1 = [];
    sortTimes2 = [];
    sortTimes3 = [];
    sortTimes4 = [];
    sortTimes5 = [];
    sortMem1 = [];
    sortMem2 = [];
    sortMem3 = [];
    sortMem4 = [];
    sortMem5 = [];

    for j = 1:5
        sortTimes1 = [sortTimes1;times((i-1) * 25 + 1 + (j-1) * 5)];
        sortTimes2 = [sortTimes2;times((i-1) * 25 + 2 + (j-1) * 5)];
        sortTimes3 = [sortTimes3;times((i-1) * 25 + 3 + (j-1) * 5)];
        sortTimes4 = [sortTimes4;times((i-1) * 25 + 4 + (j-1) * 5)];
        sortTimes5 = [sortTimes5;times((i-1) * 25 + 5 + (j-1) * 5)];
        sortMem1 = [sortMem1;memory((i-1) * 25 + 1 + (j-1) * 5)];
        sortMem2 = [sortMem2;memory((i-1) * 25 + 2 + (j-1) * 5)];
        sortMem3 = [sortMem3;memory((i-1) * 25 + 3 + (j-1) * 5)];
        sortMem4 = [sortMem4;memory((i-1) * 25 + 4 + (j-1) * 5)];
        sortMem5 = [sortMem5;memory((i-1) * 25 + 5 + (j-1) * 5)];
    end

    figure;
    subplot(1, 2, 1); % 左侧绘制时间曲线
    hold on;
    plot(x, sortTimes1, '-o', 'DisplayName', '10');
    plot(x, sortTimes2, '-x', 'DisplayName', '100');
    plot(x, sortTimes3, '-s', 'DisplayName', '1000');
    plot(x, sortTimes4, '-*', 'DisplayName', '10000');
    plot(x, sortTimes5, '-+', 'DisplayName', '100000');
    set(gca, 'XScale', 'log'); % 将X轴设为对数刻度
    set(gca, 'YScale', 'log'); % 将Y轴设为对数刻度
    xticks(x); % 设置 X 轴刻度
```

```
    xticklabels(options); % 使用字符串数组作为刻度标签
    xlabel('优化等级');
    ylabel('所用时间 (ms)');
    title('时间');

    subplot(1, 2, 2); % 右侧绘制内存曲线
    hold on;
    plot(x, sortMem1, '-o', 'DisplayName', '10');
    plot(x, sortMem2, '-x', 'DisplayName', '100');
    plot(x, sortMem3, '-s', 'DisplayName', '1000');
    plot(x, sortMem4, '-*', 'DisplayName', '10000');
    plot(x, sortMem5, '-+', 'DisplayName', '100000');
    hold off;
    set(gca, 'XScale', 'log'); % 将X轴设为对数刻度

    xticks(x); % 设置 X 轴刻度
    xticklabels(options); % 使用字符串数组作为刻度标签
    xlabel('优化等级');
    ylabel('内存占用 (KB)');
    title('内存');
    legend('show');
    grid on;

    % 调整布局
    sgtitle(types(i));
    route3 = sprintf('../data/result/%s.svg', types(i));
    print(route3, '-dsvg');
end
```

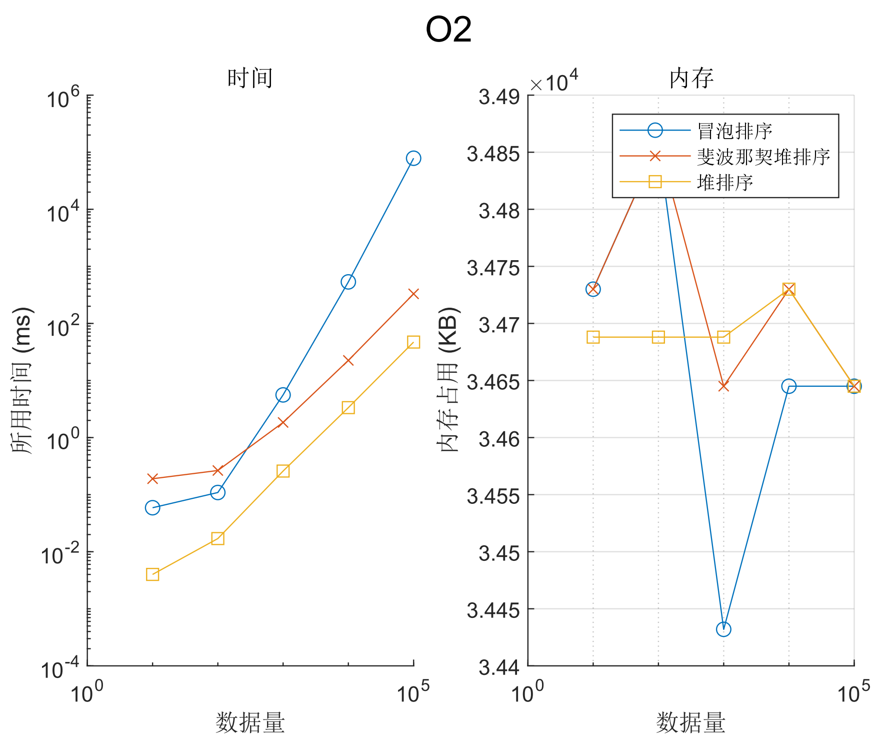
O0



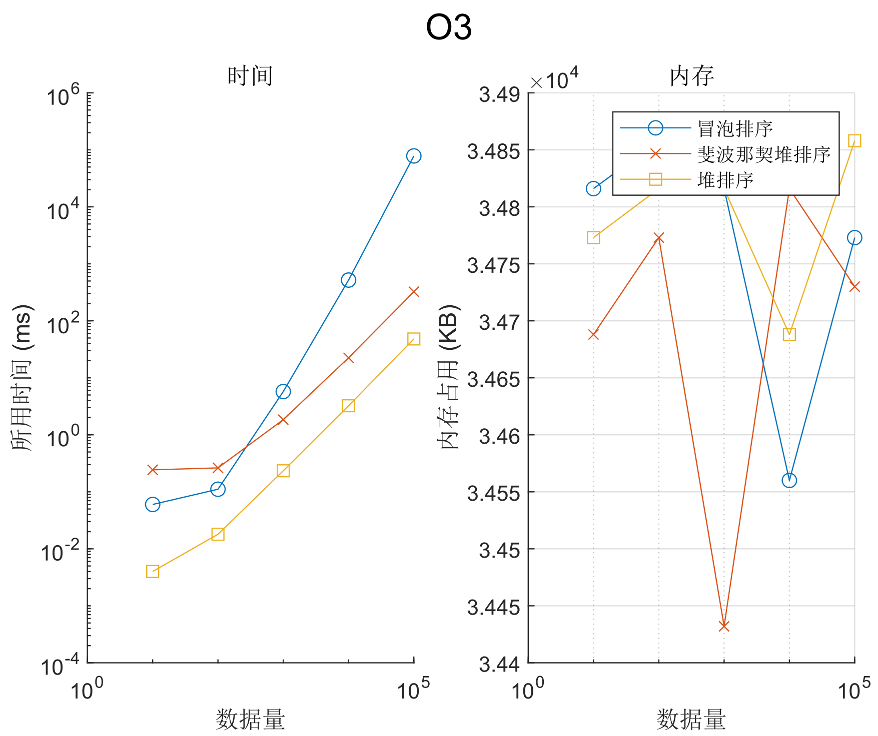
O1


O1
时间
所用时间 (ms)
数据量
内存
内存占用 (KB)
数据量
冒泡排序
斐波那契堆排排序
堆排序

O2

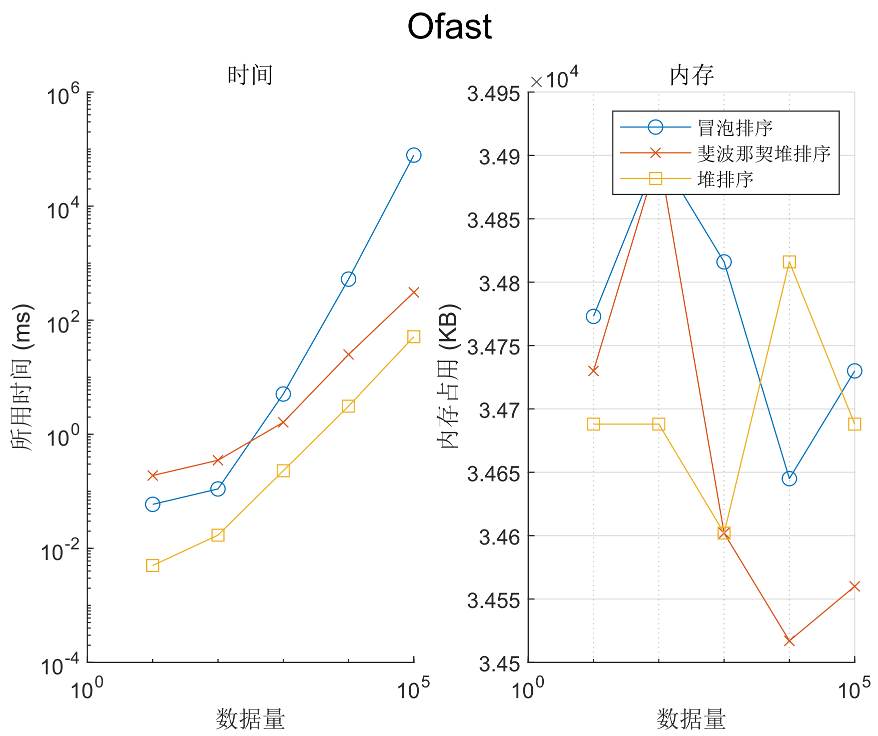

O2
时间
所用时间 (ms)
数据量
内存
内存占用 (KB)
数据量
冒泡排序
斐波那契堆排排序
堆排序

O3



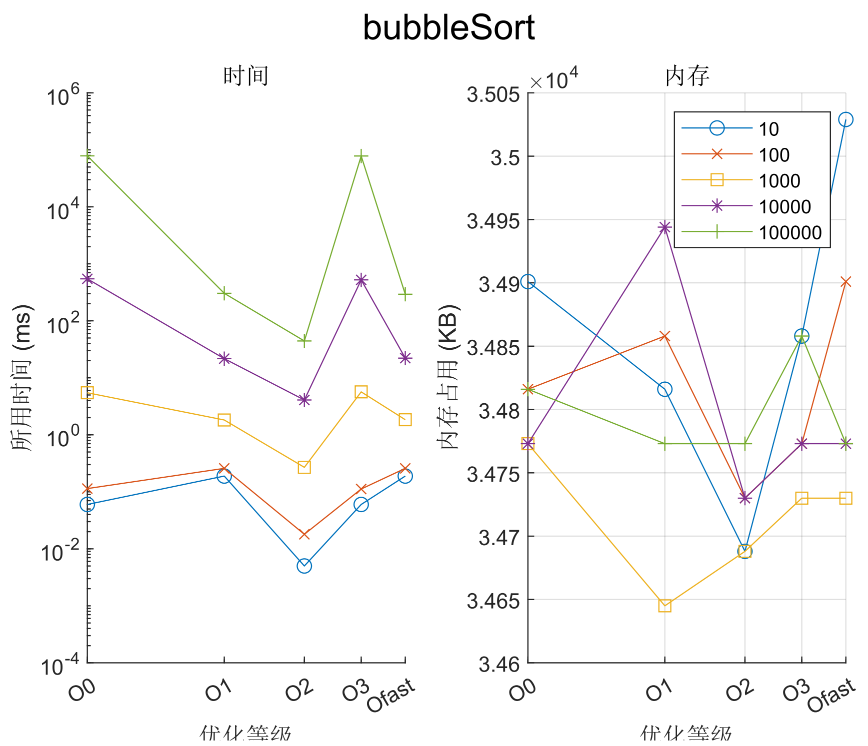
O3
时间
内存
所用时间 (ms)
内存占用 (KB)
数据量
冒泡排序
斐波那契堆排序
堆排序

Ofast

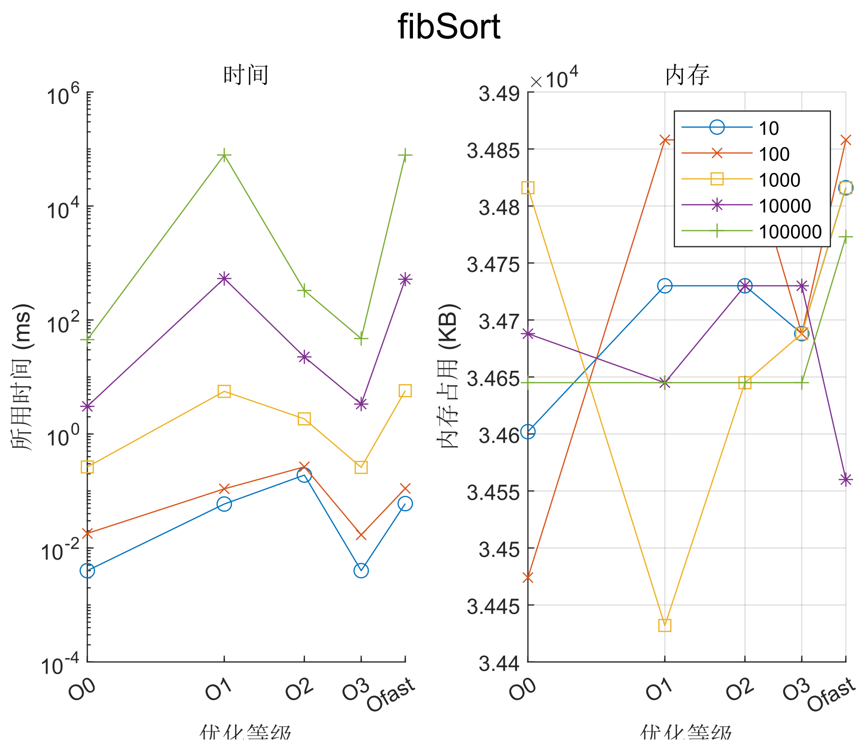


Ofast
时间
内存
所用时间 (ms)
内存占用 (KB)
数据量
冒泡排序
斐波那契堆排序
堆排序

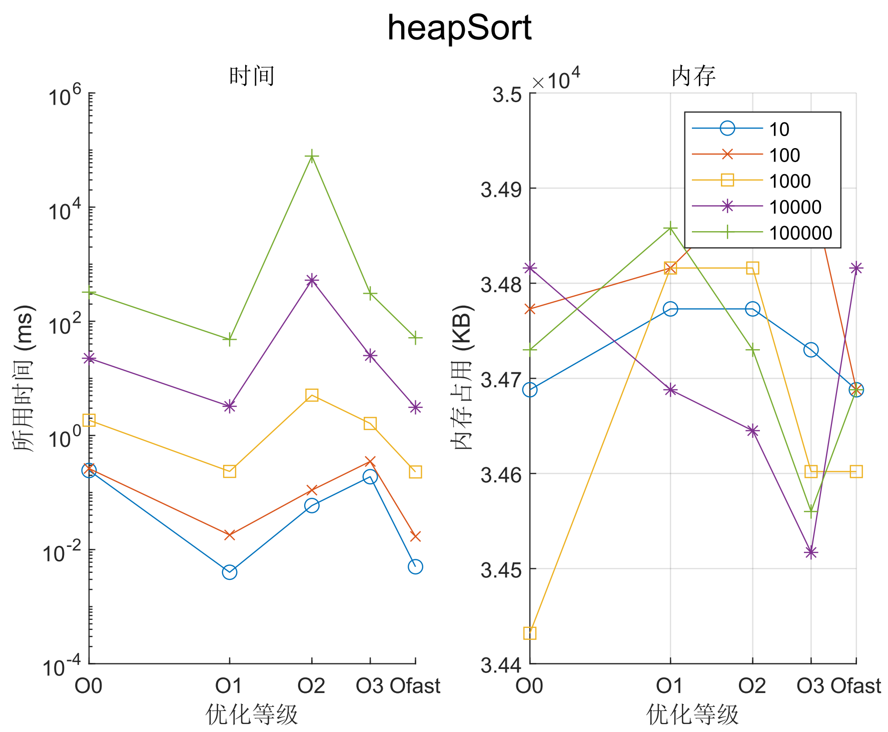
冒泡排序


bubbleSort
时间
内存
所用时间 (ms)
内存占用 (KB)
$\times 10^4$
10
100
1000
10000
100000
O0
O1
O2
O3
Ofast
优化等级

斐波那契堆排序


fibSort
时间
内存
所用时间 (ms)
内存占用 (KB)
$\times 10^4$
10
100
1000
10000
100000
O0
O1
O2
O3
Ofast
优化等级

堆排序



分析

1. 三个算法在不同优化条件下运行时间略有变化

    - 冒泡排序
      在数据量大于1000时在O0到O2优化下速度略有提升,O3优化时速度反而变慢Ofast再次下降
    - 堆排序
      在O0到O1优化下速度略有提升,O2到O3优化时速度反而变慢Ofast再次下降
    - 斐波那契堆排序
      在O0到O2优化下速度略有下降,O3优化时速度最快,Ofast优化时速度再次下降

2. 占用内存大小略有波动都在34000到35000KB之间.
   因程序运行时间不同,**占用内存大小的波动可视为误差**

3. 在不同优化条件下**各算法运行速度与优化选项有关,不同算法最佳优化选项不同**
   其中**冒泡排序**在数据量低于100时运行速度比**斐波那契堆排序**快
   在此之后三种排序算法速度呈现**堆排序>斐波那契堆排序>冒泡排序**的趋势,且**斐波那契堆排序和堆排序差距逐渐减小**
   而**堆排序**一直有着较快的排序速度
   结果与各个排序算法的时间复杂度略有出路
   冒泡排序:O(n^2)
   斐波那契堆排序:O(nlogn)
   堆排序:O(nlogn)
   推测可能是因为**斐波那契堆排序的常数因素影响大**导致在数据量较小时其排序速度比堆排序慢

结论

1. 在数据量小于100000的情况下**不同算法在不同gcc编译优化情况下有不同的最佳优化选项**
2. 在算法速度方面**堆排序最快,当数据量小于100时冒泡排序比斐波那契堆排序快**
3. 之后算法速度呈现**堆排序>斐波那契堆排序>冒泡排序**的规律,且**斐波那契堆排序和堆排序差距逐渐减小**

讨论

- 启示
  对比算法本身的优化gcc的编译优化可以忽略不计
  从代码实现难易程度来看冒泡排序无疑是最简单的,斐波那契堆排序是最复杂的.
  而当数据量小于100000时冒泡排序所用的时间并非不可接受,所以根据数据量来选择算法或许是个好主意.
  斐波那契堆排序就并不适用于较小数据量的排序.
- 改进方向
  1. 数据的处理,生成和测试应选用for循环自动处理,手动处理过于枯燥和浪费时间
  2. 斐波那契堆的实现还有优化空间
  3. 未测试Os优化下算法运行情况数据可能不全面
  4. 本次测试数据范围略小,得出的结论可能并不全面

参考文献

- https://blog.csdn.net/baidu_40395808/article/details/138541629 斐波那契堆的C语言实现
- https://www.cnblogs.com/luanxm/p/10848032.html clash verge安装
- https://chatgpt.com 代码书写帮助

附录

本实验所有代码都在github上托管
代码地址

实验过程所遇问题

- gcc无法自动链接源文件
  解决方法:修改位于.vscode文件下的task.json文件
- 手搓斐波那契堆失败
  解决方法:CV CSDN上fufufunny的代码
- git push总是无法连接到github
  解决方法:因为手动在github上修改README.md导致需要pull.因过于麻烦故重新clone.
- 在终端push时需要passwad但远程认证服务已停止
  解决方法:在github申请token用于登录.