数据结构与算法分析
课程设计报告

课题名称：排序算法的实现与性能比较分析

基于哈夫曼编码的文本压缩与解压缩

班　　级：_____

小组成员1：学号：_____ 姓名：_____

小组成员2：学号：_____ 姓名：_____

小组成员3：学号：_____ 姓名：_____

小组成员4：学号：_____ 姓名：_____

课题一　排序算法的实现与性能比较分析

1. 任务要求：

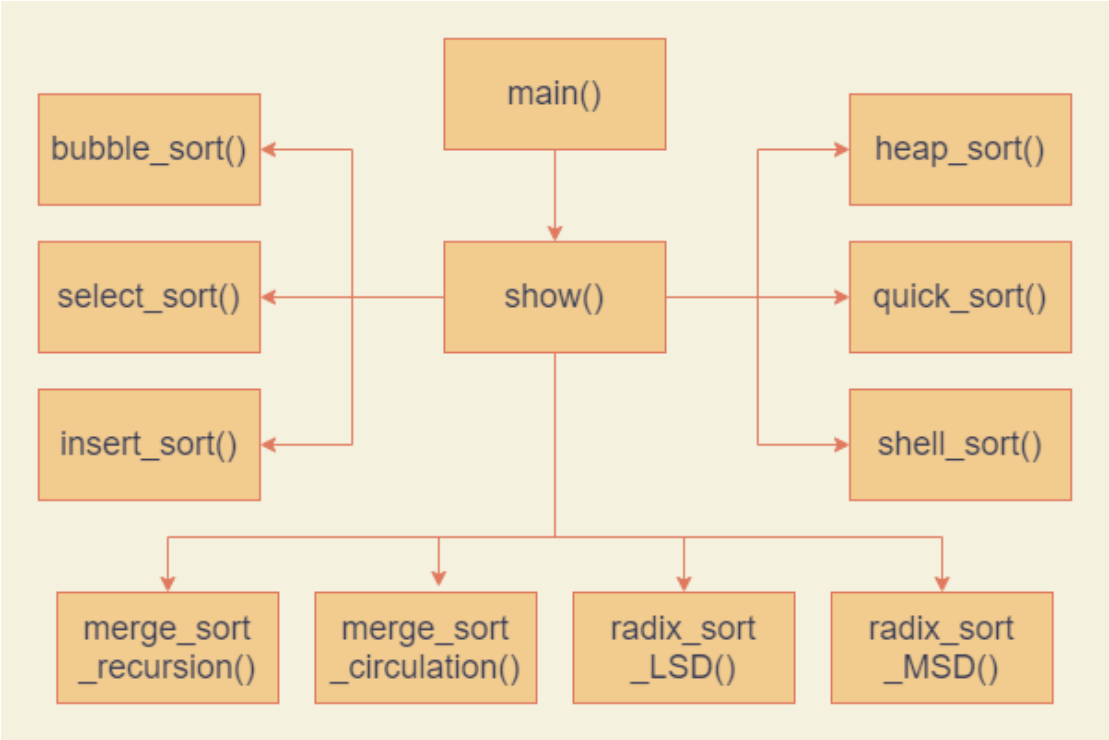
利用随机函数产生 100000 个随机整数，利用插入排序、起泡排序、选择排序、快速排序、堆排序、归并排序、基数排序、希尔排序排序方法进行排序，并统计每一种排序上机所花费的时间。

2. 系统功能：

1) 利用数组建立线性表。
2) 利用 rand()函数生成 100000 个随机数存储到数组中。
3) 利用函数指针结构体数组调用不同的函数，复制生成的随机数数组，对复制的数组进行排序。
4) 利用<windows.h>头文件中的 QueryPerformanceFrequency（）函数和 QueryPerformanceCounter()函数，记录排序函数运行前的时间和排序后的时间，二者之差即为排序所花费的时间，实现精确的计时。

3. 系统方案：

- 逻辑结构分析：逻辑结构为线性表：线性表是最基本、最简单、也是最常用的一种数据结构，数据元素之间的关系是一对一的关系。
- 存储结构设计：存储结构为顺序存储结构，具体为数组，顺序存储结构可以随机存取，存储密度大
- 系统功能框图：



3-1 系统功能框图

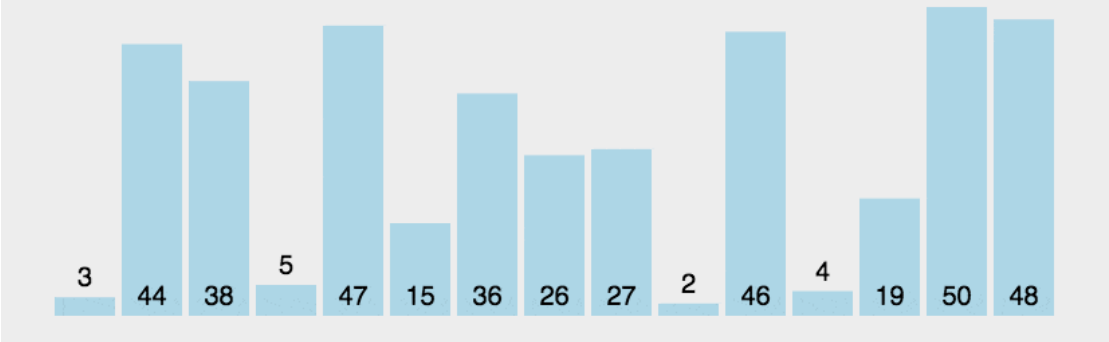
4. 系统详细设计与实现：

本程序共有 8 种排序，10 个排序函数，函数定义如下：

```
void bubble_sort(int *arr, int left, int right);  // 冒泡排序
void insert_sort(int *arr, int left, int right);  // 插入排序
void select_sort(int *arr, int left, int right);  // 选择排序
void shell_sort(int *arr, int left, int right);  // 基于sedgewick 增量的
希尔排序
void quick_sort(int *arr, int left, int right);  // 快速排序
void heap_sort(int *arr, int left, int right);   // 堆排序 递归实现
void merge_sort_recursion(int *arr, int left, int right);  // 归并排
序 递归实现
void merge_sort_circulation(int *arr, int left, int right);  // 归并排
序 循环实现
void radix_sort_LSD(int *arr, int left, int right);  // 基数排序 低位优先
void radix_sort_MSD(int *arr, int left, int right);  // 基数排序 高位优先
```

（1）bubble_sort 冒泡排序

冒泡排序又称为泡式排序，是一种简单的排序算法。它重复地走访过要排序的数列，一次比较两个元素，如果他们的顺序错误就把他们交换过来。走访数列的工作是重复地进行直到没有再需要交换，也就是说该数列已经排序完成。这个算法的名字由来是因为越小的元素会经由交换慢慢“浮”到数列的顶端。



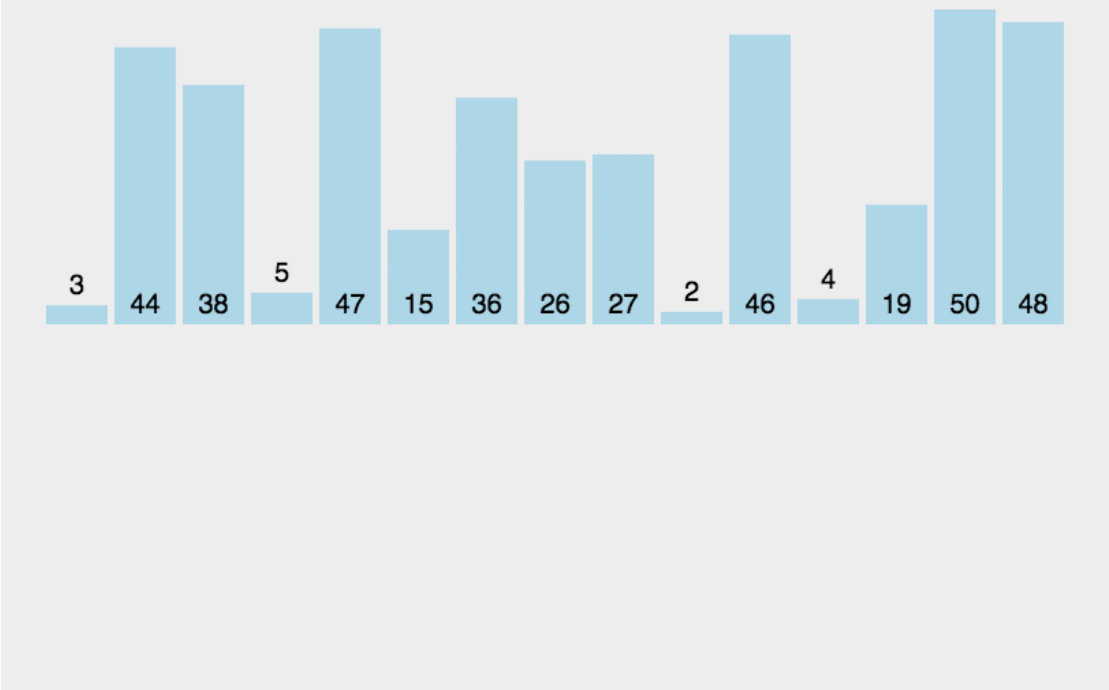
4-1 冒泡排序动画

```
// 冒泡排序
void bubble_sort(int *arr, int left, int right) {
  bool sorted;
  for (int i = left; i < right; i++) {  // 第i+1趟
    sorted = true;
    for (int j = left; j < right - i;
         j++) {  // 从left到right - i 最大的数放在right-i 位置上
      if (arr[j] > arr[j + 1]) {
        swap(arr[j], arr[j + 1]);
        sorted = false;
```

```
      }
    }
    if (sorted == true) {
      return;
    }
  }
}
```

(2) insert_sort 插入排序

插入排序是一种简单直观的排序算法。它的工作原理是通过构建有序序列，对于未排序数据，在已排序序列中从后向前扫描，找到相应位置并插入。插入排序在实现上，通常采用 in-place 排序，因而在从后向前扫描过程中，需要反复把已排序元素逐步向后挪位，为最新元素提供插入空间。

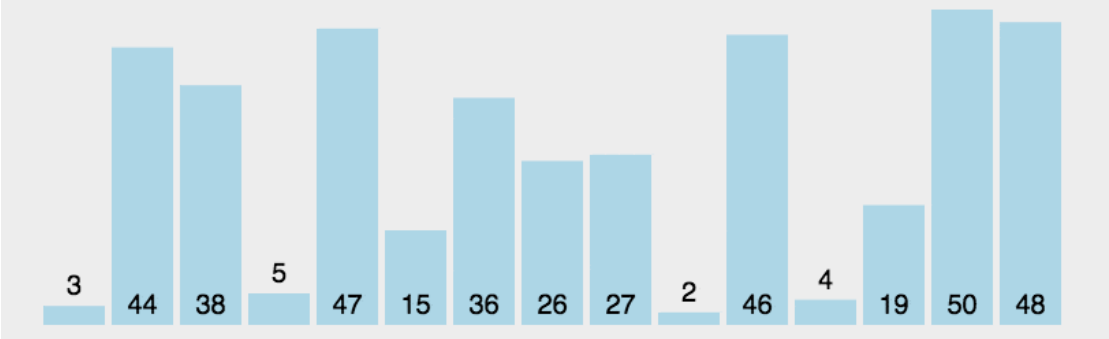


4-1 插入排序动画

```
void insert_sort(int *arr, int left, int right) {
  for (int i = left + 1; i <= right; i++) {
    int temp = arr[i];  // 当前位置的值给 temp
    int j = i;
    for (; j > 0 && arr[j - 1] > temp; j--) {
      // 假如 arr[j-1]>temp 后移
      arr[j] = arr[j - 1];
    }
    arr[j] = temp;
  }
}
```

（3）select_sort 选择排序

选择排序是一种简单直观的排序算法。它的工作原理如下。首先在未排序序列中找到最小(大)元素，存放到排序序列的起始位置，然后，再从剩余未排序元素中继续寻找最小(大)元素，然后放到已排序序列的末尾。以此类推，直到所有元素均排序完毕。



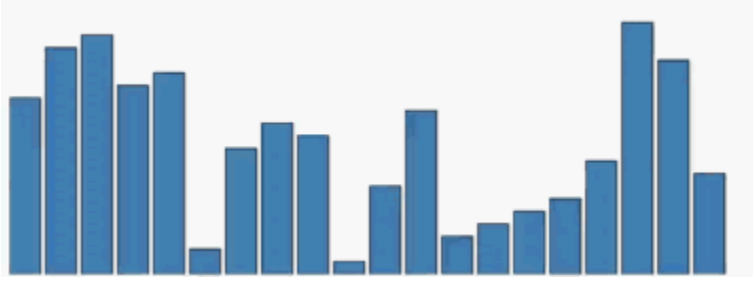
4-3 选择排序动画

```
// 选择排序
void select_sort(int *arr, int left, int right) {
  for (int i = left; i < right; i++) {
    int index = i;
    for (int j = i + 1; j <= right; j++) {
      if (arr[index] > arr[j]) {
        index = j;
      }
    }
    if (index != i) {
      swap(arr[index], arr[i]);
    }
  }
}
```

（4）shell_sort 希尔排序

希尔排序是把记录按下标的一定增量分组，对每组使用直接插入排序算法排序；随着增量逐渐减少，每组包含的关键词越来越多，当增量减至 1 时，整个文件恰被分成一组，算法便终止。

本程序的希尔排序是基于 sedgewick 增量序列的。



4-3 希尔排序动画

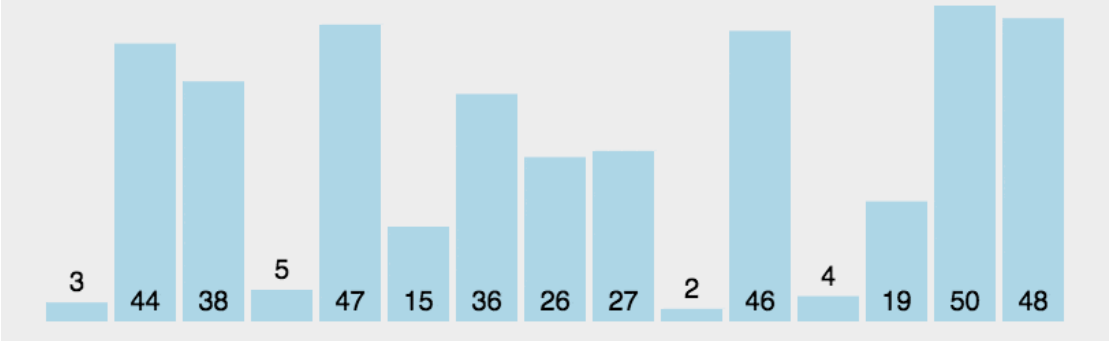
```
// 基于sedgewick 增量的希尔排序
void shell_sort(int *arr, int left, int right) {
  // 希尔增量序列
  int sedgewick[15] = {146305, 64769, 36289, 16001, 8929, 3905, 929, 21
61,
                       505,    209,   109,   41,    19,   5,    1};
  int h = 0, len = right - left + 1, temp;
  for (h = 0; sedgewick[h] >= len; h++);
  for (int i = sedgewick[h]; i > 0;
       i = sedgewick[++h]) {          // 不同的增量，增量递减
    for (int j = i; j < len; j++) {  // 间隔为i 的插入排序
      temp = arr[j];
      int k = j;
      for (; k >= i && arr[k - i] > temp; k -= i) {
        // 假如arr[k-i]>temp 后移
        arr[k] = arr[k - i];
      }
      arr[k] = temp;
    }
  }
}
```

（5）quick_sort 快速排序

通过一趟排序将待排记录分隔成独立的两部分，其中一部分记录的关键字均比另一部分的关键字小，则可分别对这两部分记录继续进行排序，以达到整个序列有序。

算法步骤：

1) 从数列中挑出一个元素，称为 “基准”；
2) 重新排序数列，所有元素比基准值小的摆放在基准前面，所有元素比基准值大的摆在基准的后面（相同的数可以到任一边）。在这个分区退出之后，该基准就处于数列的中间位置。这个称为分区（partition）操作；
3) 递归地（recursive）把小于基准值元素的子数列和大于基准值元素的子数列排序；



4-5 快速排序动画

```c
// 快速排序
void quick_sort(int *arr, int left, int right) {
  if (left >= right) return;
  int i = left, j = right;  // i、j 为两个“指针”
  int base = arr[left];     // 基准
  while (i < j) {
    while (i < j && arr[j] >= base) j--;  // 循环结束时 a[j] < base 或 i == j;
    while (i < j && arr[i] <= base) i++;  // 循环结束时 a[i] > base 或 i == j
    if (i < j) swap(arr[i], arr[j]);      // 交换
  }
  swap(arr[left], arr[i]);  // 交换
  // 递归对左右区间进行排序
  quick_sort(arr, left, i - 1);   // 还没有到右边界
  quick_sort(arr, i + 1, right);  // 还没有到左边界
}
```

（6）归并排序（heap_sort）

算法步骤：

1) 申请空间，使其大小为两个已经排序序列之和，该空间用来存放合并后的序列
2) 设定两个指针，最初位置分别为两个已经排序序列的起始位置
3) 比较两个指针所指向的元素，选择相对小的元素放入到合并空间，并移动指针到下一位置
4) 重复步骤 3 直到某一指针超出序列尾
5) 将另一序列剩下的所有元素直接复制到合并序列尾

算法分析：

1) 对 n 个记录的文件进行归并排序，共需 log_2n 趟
2) 每趟所需比较关键字的次数不超过 n，共比较 $O(nlog_2n)$次
3) 每趟移动 n 个记录，共移动记录 $O(nlog_2n)$个
4) 归并排序需要 一个大小为 n 的辅助空间
5) 归并排序是稳定的

merge 函数：

```c
// 将有序的arr[l]~arr[l-1]和arr[r]~arr[right_end]归并成一个有序序列
void merge(int *arr, int *temp_arr, int l, int r, int right_end) {
  int left_end = r - 1;  // 左边终点位置
  int temp = l, i = l;  // temp i 有序序列的起始位置 i 用于后期的复制

  while (l <= left_end && r <= right_end) {
    if (arr[l] <= arr[r]) {
```

```
      temp_arr[temp++] = arr[l++];  // 将左边元素复制到temp_arr
    } else {
      temp_arr[temp++] = arr[r++];  // 将右边元素复制到temp_arr
    }
  }

  while (l <= left_end) {
    temp_arr[temp++] = arr[l++];  // 直接复制左边剩下的
  }
  while (r <= right_end) {
    temp_arr[temp++] = arr[r++];  // 直接复制右边剩下的
  }

  for (; i <= right_end; i++) {
    arr[i] = temp_arr[i];
  }
}
```

递归实现：

```
void m_sort(int *arr, int *temp_arr, int l, int right_end) {
  // 核心递归排序程序
  int mid;
  if (l < right_end) {
    mid = (l + right_end) / 2;
    m_sort(arr, temp_arr, l, mid);
    m_sort(arr, temp_arr, mid + 1, right_end);
    merge(arr, temp_arr, l, mid + 1, right_end);
  }
}

// 归并排序 递归实现
void merge_sort_recursion(int *arr, int left, int right) {
  int len = right - left + 1;
  int *temp_arr = new int[len];
  if (temp_arr != NULL) {
    m_sort(arr, temp_arr, left, right);
    delete temp_arr;
  } else {
    cout << "Space is not enough!!!" << endl;
```

```
  }
}
```

循环实现：

```
// 两两归并相邻有序子列
void merge_pass(int *arr, int *temp_arr, int left, int right, int lengt
h) {
  int len = right - left + 1;  // 数组长度  length 合并的子序列的长度
  int i, j;
  for (i = left; i <= len - 2 * length; i += 2 * length) {
    merge(arr, temp_arr, i, i + length, i + 2 * length - 1);
  }
  if (i + length <= right) {
    merge(arr, temp_arr, i, i + length, right);
  } else {
    for (j = i; j <= right; j++) {
      temp_arr[j] = arr[j];
    }
  }
}

// 归并排序 循环实现
void merge_sort_circulation(int *arr, int left, int right) {
  int len = right - left + 1;  // 归并的数组长度
  int length = 1;              // 最开始的子序列长度
  int *temp_arr = new int[len];
  if (temp_arr != NULL) {
    while (length < len) {
      merge_pass(arr, temp_arr, left, right, length);
      length *= 2;
      merge_pass(temp_arr, arr, left, right, length);
      length *= 2;
    }
    delete temp_arr;
  } else {
    cout << "Space is not enough!!!" << endl;
  }
}
```

（7）堆排序

算法思想：

1) 构建大顶堆（小顶堆）；
2) 输出大顶堆的根节点，交换堆顶和堆底元素；
3) 把剩余的 i-1 个元素整理成堆。

构建大根堆的基本思想：n 表示元素的个数，从 n/2 位置开始遍历，直到遍历完所有根节点；

1) 若孩子节点都小于双亲节点，则调整结束。
2) 若存在孩子节点大于双亲节点，则将最大的孩子节点与双亲节点进行交换，并对孩子节点进行（1），（2）直到出现（1）或者叶节点为止。

算法分析：

1) 堆排序的时间，主要由建立初始堆和反复重建堆这两部分的时间开销构成
2) 堆排序的最坏时间复杂度为 $O(n\log_2 n)$
3) 堆排序的平均性能较接近于最坏性能。由于建初始堆所需要的比较次数较多，所以堆排序不适宜于记录数较少的文件
4) 堆排序是就地排序，辅助空间为 $O(1)$
5) 它是不稳定的排序方法

```
// 最大堆的建立
void perc_down(int *arr, int p, int len) {
  int parent, child, value = arr[p];  // 父节点 子节点 根节点存放的值
  for (parent = p; parent * 2 + 1 < len; parent = child) {
    child = parent * 2 + 1;
    if (child != len - 1 && arr[child] < arr[child + 1]) {
      child++;  // child 指向左右子节点的较大者
    }
    if (value >= arr[child]) {
      break;
    } else {
      arr[parent] = arr[child];  // 下滤
    }
  }
  arr[parent] = value;
}

// 堆排序
void heap_sort(int *arr, int left, int right) {
  int len = right - left + 1;
  int i;
  for (i = len / 2 + 1; i >= 0; i--) {  // 建立最大堆
    perc_down(arr, i, len);
  }
```

```
  for (i = len - 1; i >= 0; i--) {
    // 删除最大堆顶
    swap(arr[0], arr[i]);
    perc_down(arr, 0, i);
  }
}
```

（8）基数排序

基数排序是一种非比较型整数排序算法，其原理是将整数按位数切割成不同的数字，然后按每个位数分别比较。由于整数也可以表达字符串（比如名字或日期）和特定格式的浮点数，所以基数排序也不是只能使用于整数。基数排序的发明可以追溯到 1887 年赫尔曼·何乐礼在打孔卡片制表机上的贡献。

```
// 基数排序
// 桶元素节点
const int MaxDigit = 5;  // 关键字
const int Radix = 10;    // 基数
typedef struct Node *PtrToNode;
struct Node {
  int key;
  PtrToNode next;
};
// 桶头节点
struct HeadNode {
  PtrToNode head, tail;
};
typedef struct HeadNode Bucket[Radix];
// 默认次位D=1, 主位D<=MaxDigit
int get_digit(int X, int D) {
  int d, i;

  for (i = 1; i <= D; i++) {
    d = X % Radix;
    X /= Radix;
  }
  return d;
}
```

次位优先（Least Significant Digit）

```
// 基数排序 低位优先
void radix_sort_LSD(int *arr, int left, int right) {
  int d, di, i;
  Bucket B;
  PtrToNode temp, p, list = NULL;
  for (i = 0; i < Radix; i++) {  // 初始化每个桶为空链表
    B[i].head = B[i].tail = NULL;
  }
  for (i = left; i <= right; i++) {  // 将原始序列逆序存入初始链表 list
    temp = new Node;
    temp->key = arr[i];
    temp->next = list;
    list = temp;
  }

  // 下面开始排序
  for (d = 1; d <= MaxDigit; d++) {  // 对数据得每一位循环处理
    // 下面时分配的过程
    p = list;
    while (p) {
      di = get_digit(p->key, d);
      temp = p;
      p = p->next;
      temp->next = NULL;
      if (B[di].head == NULL) {
        B[di].head = B[di].tail = temp;
      } else {
        B[di].tail->next = temp;
        B[di].tail = temp;
      }
    }
    // 下面是收集的过程
    list = NULL;
    for (di = Radix - 1; di >= 0; di--) {
      if (B[di].head) {
        B[di].tail->next = list;
        list = B[di].head;
```

```
        B[di].head = B[di].tail = NULL;
      }
    }
  }
  for (i = left; i <= right; i++) {
    temp = list;
    list = list->next;
    arr[i] = temp->key;
    delete temp;
  }
}
```

主位优先（Most Significant Digit）

```
void MSD(int *arr, int l, int r, int d) {
  int di, i, j;
  Bucket B;
  PtrToNode temp, list = NULL;
  if (d == 0) {
    return;
  }
  for (i = 0; i < Radix; i++) {  // 初始化每个桶为空链表
    B[i].head = B[i].tail = NULL;
  }
  for (i = l; i <= r; i++) {  // 将原始序列逆序存入初始链表 list
    temp = new Node;
    temp->key = arr[i];
    temp->next = list;
    list = temp;
  }

  // 下面是分配的过程
  PtrToNode p = list;
  while (p) {
    di = get_digit(p->key, d);

    temp = p;
    p = p->next;

    if (B[di].head == NULL) {
```

```
      B[di].tail = temp;
    }
    temp->next = B[di].head;
    B[di].head = temp;
  }

  // 下面是收集的过程
  i = j = l;
  for (di = 0; di < Radix; di++) {
    if (B[di].head) {
      p = B[di].head;
      while (p) {
        temp = p;
        p = p->next;
        arr[j++] = temp->key;
        delete temp;
      }
      MSD(arr, i, j - 1, d - 1);
      i = j;
    }
  }
}

// 基数排序 高位优先
void radix_sort_MSD(int *arr, int left, int right) {
  MSD(arr, left, right, MaxDigit);
}
```

5. 程序代码

```
#include <ctime>
#include <fstream>
#include <iomanip>
#include <iostream>
#include <string>
#include <windows.h>
using namespace std;

void bubble_sort(int *arr, int left, int right);  // 冒泡排序
void insert_sort(int *arr, int left, int right);  // 插入排序
```

```
void select_sort(int *arr, int left, int right);  // 选择排序
void shell_sort(int *arr, int left, int right);  // 基于sedgewick增量的
希尔排序
void quick_sort(int *arr, int left, int right);  // 快速排序
void heap_sort(int *arr, int left, int right);   // 堆排序 递归实现
void merge_sort_recursion(int *arr, int left, int right);  // 归并排
序 递归实现
void merge_sort_circulation(int *arr, int left, int right);  // 归并排
序 循环实现
void radix_sort_LSD(int *arr, int left, int right);  // 基数排序 低位优先
void radix_sort_MSD(int *arr, int left, int right);  // 基数排序 高位优先

void swap(int &a, int &b) {
  int temp = a;
  a = b;
  b = temp;
}

// 冒泡排序
void bubble_sort(int *arr, int left, int right) {
  bool sorted;
  for (int i = left; i < right; i++) {  // 第i+1趟
    sorted = true;
    for (int j = left; j < right - i;
         j++) {  // 从left到right - i 最大的数放在right-i位置上
      if (arr[j] > arr[j + 1]) {
        swap(arr[j], arr[j + 1]);
        sorted = false;
      }
    }
    if (sorted == true) {
      return;
    }
  }
}

// 插入排序
void insert_sort(int *arr, int left, int right) {
```

```
  for (int i = left + 1; i <= right; i++) {
    int temp = arr[i];  // 当前位置的值给 temp
    int j = i;
    for (; j > 0 && arr[j - 1] > temp; j--) {
      // 假如 arr[j-1]>temp 后移
      arr[j] = arr[j - 1];
    }
    arr[j] = temp;
  }
}

// 选择排序
void select_sort(int *arr, int left, int right) {
  for (int i = left; i < right; i++) {
    int index = i;
    for (int j = i + 1; j <= right; j++) {
      if (arr[index] > arr[j]) {
        index = j;
      }
    }
    if (index != i) {
      swap(arr[index], arr[i]);
    }
  }
}

// 基于 sedgewick 增量的希尔排序
void shell_sort(int *arr, int left, int right) {
  // 希尔增量序列
  int sedgewick[15] = {146305, 64769, 36289, 16001, 8929, 3905, 929, 21
61,
                       505,    209,   109,   41,    19,   5,    1};
  int h = 0, len = right - left + 1, temp;
  for (h = 0; sedgewick[h] >= len; h++)
    ;

  for (int i = sedgewick[h]; i > 0;
       i = sedgewick[++h]) {          // 不同的增量，增量递减
```

```
    for (int j = i; j < len; j++) {  // 间隔为i的插入排序
      temp = arr[j];
      int k = j;
      for (; k >= i && arr[k - i] > temp; k -= i) {
        // 假如arr[k-i]>temp 后移
        arr[k] = arr[k - i];
      }
      arr[k] = temp;
    }
  }
}

// 快速排序
void quick_sort(int *arr, int left, int right) {
  if (left >= right) return;
  int i = left, j = right;  // i、j为两个“指针”
  int base = arr[left];     // 基准
  while (i < j) {
    while (i < j && arr[j] >= base) j--;  // 循环结束时 a[j] < base 或
i == j;
    while (i < j && arr[i] <= base) i++;  // 循环结束时 a[i] > base 或
i == j
    if (i < j) swap(arr[i], arr[j]);      // 交换
  }
  swap(arr[left], arr[i]);  // 交换
  // 递归对左右区间进行排序
  quick_sort(arr, left, i - 1);   // 还没有到右边界
  quick_sort(arr, i + 1, right);  // 还没有到左边界
}

// 最大堆的建立
void perc_down(int *arr, int p, int len) {
  int parent, child, value = arr[p];  // 父节点 子节点 根节点存放的值
  for (parent = p; parent * 2 + 1 < len; parent = child) {
    child = parent * 2 + 1;
    if (child != len - 1 && arr[child] < arr[child + 1]) {
      child++;  // child指向左右子节点的较大者
    }
```

```
    if (value >= arr[child]) {
      break;
    } else {
      arr[parent] = arr[child];  // 下滤
    }
  }
  arr[parent] = value;
}

// 堆排序
void heap_sort(int *arr, int left, int right) {
  int len = right - left + 1;
  int i;
  for (i = len / 2 + 1; i >= 0; i--) {  // 建立最大堆
    perc_down(arr, i, len);
  }
  for (i = len - 1; i >= 0; i--) {
    // 删除最大堆顶
    swap(arr[0], arr[i]);
    perc_down(arr, 0, i);
  }
}

// 将有序的arr[l]~arr[l-1]和arr[r]~arr[right_end]归并成一个有序序列
void merge(int *arr, int *temp_arr, int l, int r, int right_end) {
  int left_end = r - 1;  // 左边终点位置
  int temp = l, i = l;  // temp i 有序序列的起始位置 i 用于后期的复制

  while (l <= left_end && r <= right_end) {
    if (arr[l] <= arr[r]) {
      temp_arr[temp++] = arr[l++];  // 将左边元素复制到temp_arr
    } else {
      temp_arr[temp++] = arr[r++];  // 将右边元素复制到temp_arr
    }
  }

  while (l <= left_end) {
    temp_arr[temp++] = arr[l++];  // 直接复制左边剩下的
```

```
  }
  while (r <= right_end) {
    temp_arr[temp++] = arr[r++];  // 直接复制右边剩下的
  }

  for (; i <= right_end; i++) {
    arr[i] = temp_arr[i];
  }
}

void m_sort(int *arr, int *temp_arr, int l, int right_end) {
  // 核心递归排序程序
  int mid;
  if (l < right_end) {
    mid = (l + right_end) / 2;
    m_sort(arr, temp_arr, l, mid);
    m_sort(arr, temp_arr, mid + 1, right_end);
    merge(arr, temp_arr, l, mid + 1, right_end);
  }
}

// 归并排序 递归实现
void merge_sort_recursion(int *arr, int left, int right) {
  int len = right - left + 1;
  int *temp_arr = new int[len];
  if (temp_arr != NULL) {
    m_sort(arr, temp_arr, left, right);
    delete temp_arr;
  } else {
    cout << "Space is not enough!!!" << endl;
  }
}

// 两两归并相邻有序子列
void merge_pass(int *arr, int *temp_arr, int left, int right, int lengt
h) {
  int len = right - left + 1;  // 数组长度  length 合并的子序列的长度
  int i, j;
```

```
  for (i = left; i <= len - 2 * length; i += 2 * length) {
    merge(arr, temp_arr, i, i + length, i + 2 * length - 1);
  }
  if (i + length <= right) {
    merge(arr, temp_arr, i, i + length, right);
  } else {
    for (j = i; j <= right; j++) {
      temp_arr[j] = arr[j];
    }
  }
}

// 归并排序 循环实现
void merge_sort_circulation(int *arr, int left, int right) {
  int len = right - left + 1;  // 归并的数组长度
  int length = 1;              // 最开始的子序列长度
  int *temp_arr = new int[len];
  if (temp_arr != NULL) {
    while (length < len) {
      merge_pass(arr, temp_arr, left, right, length);
      length *= 2;
      merge_pass(temp_arr, arr, left, right, length);
      length *= 2;
    }
    delete temp_arr;
  } else {
    cout << "Space is not enough!!!" << endl;
  }
}

// 基数排序
// 桶元素节点
const int MaxDigit = 5;  // 关键字
const int Radix = 10;    // 基数
typedef struct Node *PtrToNode;
struct Node {
  int key;
  PtrToNode next;
```

```
};
// 桶头节点
struct HeadNode {
  PtrToNode head, tail;
};
typedef struct HeadNode Bucket[Radix];
// 默认次位D=1, 主位D<=MaxDigit
int get_digit(int X, int D) {
  int d, i;

  for (i = 1; i <= D; i++) {
    d = X % Radix;
    X /= Radix;
  }
  return d;
}

// 基数排序 低位优先
void radix_sort_LSD(int *arr, int left, int right) {
  int d, di, i;
  Bucket B;
  PtrToNode temp, p, list = NULL;
  for (i = 0; i < Radix; i++) {  // 初始化每个桶为空链表
    B[i].head = B[i].tail = NULL;
  }
  for (i = left; i <= right; i++) {  // 将原始序列逆序存入初始链表list
    temp = new Node;
    temp->key = arr[i];
    temp->next = list;
    list = temp;
  }

  // 下面开始排序
  for (d = 1; d <= MaxDigit; d++) {  // 对数据得每一位循环处理
    // 下面时分配的过程
    p = list;
    while (p) {
      di = get_digit(p->key, d);
```

```
      temp = p;
      p = p->next;
      temp->next = NULL;
      if (B[di].head == NULL) {
        B[di].head = B[di].tail = temp;
      } else {
        B[di].tail->next = temp;
        B[di].tail = temp;
      }
    }
    // 下面是收集的过程
    list = NULL;
    for (di = Radix - 1; di >= 0; di--) {
      if (B[di].head) {
        B[di].tail->next = list;
        list = B[di].head;
        B[di].head = B[di].tail = NULL;
      }
    }
  }
  for (i = left; i <= right; i++) {
    temp = list;
    list = list->next;
    arr[i] = temp->key;
    delete temp;
  }
}

void MSD(int *arr, int l, int r, int d) {
  int di, i, j;
  Bucket B;
  PtrToNode temp, list = NULL;
  if (d == 0) {
    return;
  }
  for (i = 0; i < Radix; i++) {  // 初始化每个桶为空链表
    B[i].head = B[i].tail = NULL;
  }
```

```
  for (i = l; i <= r; i++) {  // 将原始序列逆序存入初始链表 list
    temp = new Node;
    temp->key = arr[i];
    temp->next = list;
    list = temp;
  }

  // 下面是分配的过程
  PtrToNode p = list;
  while (p) {
    di = get_digit(p->key, d);

    temp = p;
    p = p->next;

    if (B[di].head == NULL) {
      B[di].tail = temp;
    }
    temp->next = B[di].head;
    B[di].head = temp;
  }

  // 下面是收集的过程
  i = j = l;
  for (di = 0; di < Radix; di++) {
    if (B[di].head) {
      p = B[di].head;
      while (p) {
        temp = p;
        p = p->next;
        arr[j++] = temp->key;
        delete temp;
      }
      MSD(arr, i, j - 1, d - 1);
      i = j;
    }
  }
}
```

```
// 基数排序 高位优先
void radix_sort_MSD(int *arr, int left, int right) {
  MSD(arr, left, right, MaxDigit);
}

struct fun {
  void (*fun_point)(int *, int, int);
  string fun_name;
} fun_arr[10] = {{bubble_sort, "bubble_sort"},
                 {insert_sort, "insert_sort"},
                 {select_sort, "select_sort"},
                 {shell_sort, "shell_sort"},
                 {quick_sort, "quick_sort"},
                 {heap_sort, "heap_sort"},
                 {merge_sort_recursion, "merge_sort_recursion"},
                 {merge_sort_circulation, "merge_sort_circulation"},
                 {radix_sort_LSD, "radix_sort_LSD"},
                 {radix_sort_MSD, "radix_sort_MSD"}};

// 运行指定排序函数并将排好序的序列写入 txt 文件中
void run(fun function, double &time, int arr[], int temp_arr[], int lef
t,
         int right) {
  int len = right - left + 1;
  for (int i = 0; i < len; i++) {
    temp_arr[i] = arr[i];
  }

  // 低精度计时 精确到1ms
  /*
  clock_t start_time, end_time;
  start_time = clock();
  function.fun_point(temp_arr, left, right);  // 执行相应的排序函数

  end_time = clock();

  time = end_time - start_time;
```

```
  cout << function.fun_name << ":";
  cout << time << "ms" << endl;
  */

  LARGE_INTEGER start_time, end_time, time_clock;  // time_clock 时钟频率
  QueryPerformanceFrequency(&time_clock);
  QueryPerformanceCounter(&start_time);

  function.fun_point(temp_arr, left, right);  // 执行相应的排序函数

  QueryPerformanceCounter(&end_time);
  time = (double)((end_time.QuadPart - start_time.QuadPart) * 1000) / (
double)time_clock.QuadPart;  // ms 毫秒
  cout << function.fun_name << ":";
  cout << fixed << setprecision(2) << time << "ms" << endl;

  fstream out(function.fun_name + ".txt", ios::out);
  for (int i = left; i <= right; i++) {
    out.setf(ios::left);
    out << setw(6) << temp_arr[i] << " ";
  }
  out.close();
}

int main() {
  srand(time(NULL));

  int len = 100000;
  int arr[len];  // 随机数数组
  int temp_arr[len];  // 临时数组

  int cnt = 1, fun_size = 10;  // cnt:每个排序执行次数 fun_size:函数个数
  double time[fun_size][cnt];  // 存储临时时间数组

  // 每个排序的同一个随机数数组调用 cnt 次
  for (int k = 0; k < cnt; k++) {
    //cout << k + 1 << endl;
    for (int i = 0; i < len; i++) {
```

```
      arr[i] = rand();
    }
    for (int i = 0; i < fun_size; i++) {
      run(fun_arr[i], time[i][k], arr, temp_arr, 0, len - 1);
    }
  }

  // 写入时间
  fstream out("time.txt", ios::out);
  for (int i = 0; i < fun_size; i++) {
    out << fun_arr[i].fun_name << ":";
    for (int j = 0; j < cnt; j++) {
      out << fixed << setprecision(2) << time[i][j] << " ";
    }
    out << endl;
  }
  return 0;
}
```

6. 实验结果及分析

程序运行环境：处理器为 i5-9300h，四核八线程，内存 16GB
操作系统为 win10，IDE 为 VSCODE

数据量：100000

运行时间：

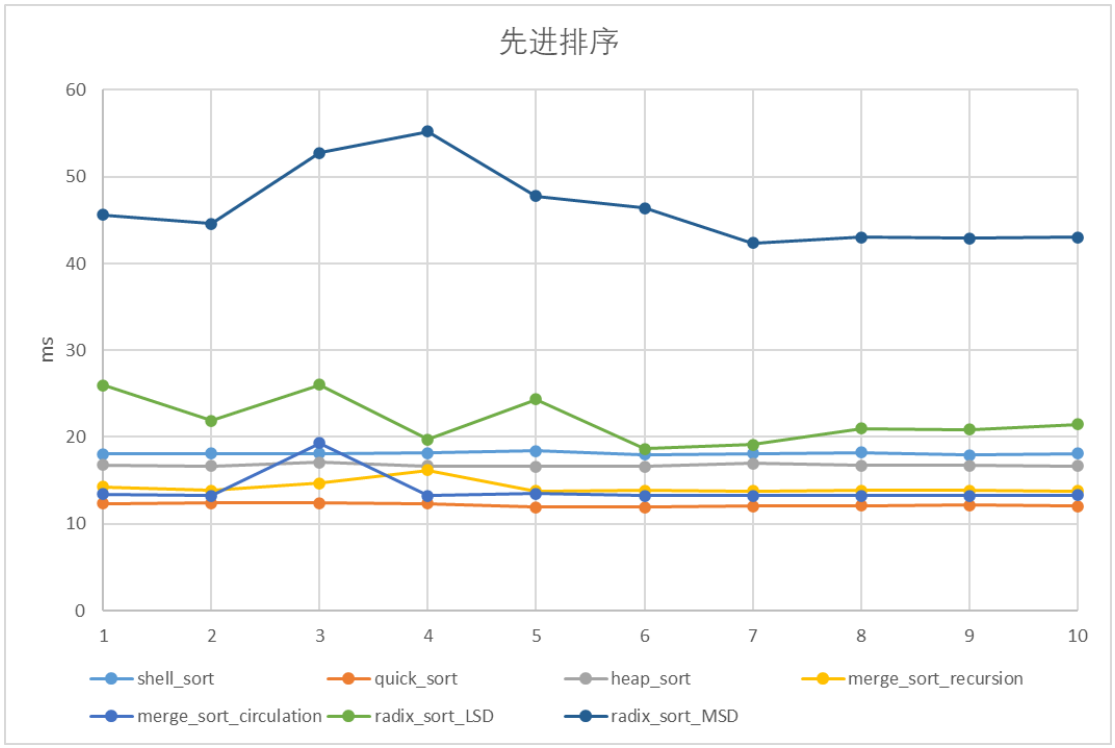
```
C:\Users\He\Desktop\Data Structure Pra
bubble_sort:28649.35ms
insert_sort:5347.21ms
select_sort:8709.94ms
shell_sort:18.00ms
quick_sort:12.01ms
heap_sort:16.54ms
merge_sort_recursion:13.84ms
merge_sort_circulation:13.20ms
radix_sort_LSD:36.80ms
radix_sort_MSD:41.44ms
```

6-1 运行时间图

排序结果：

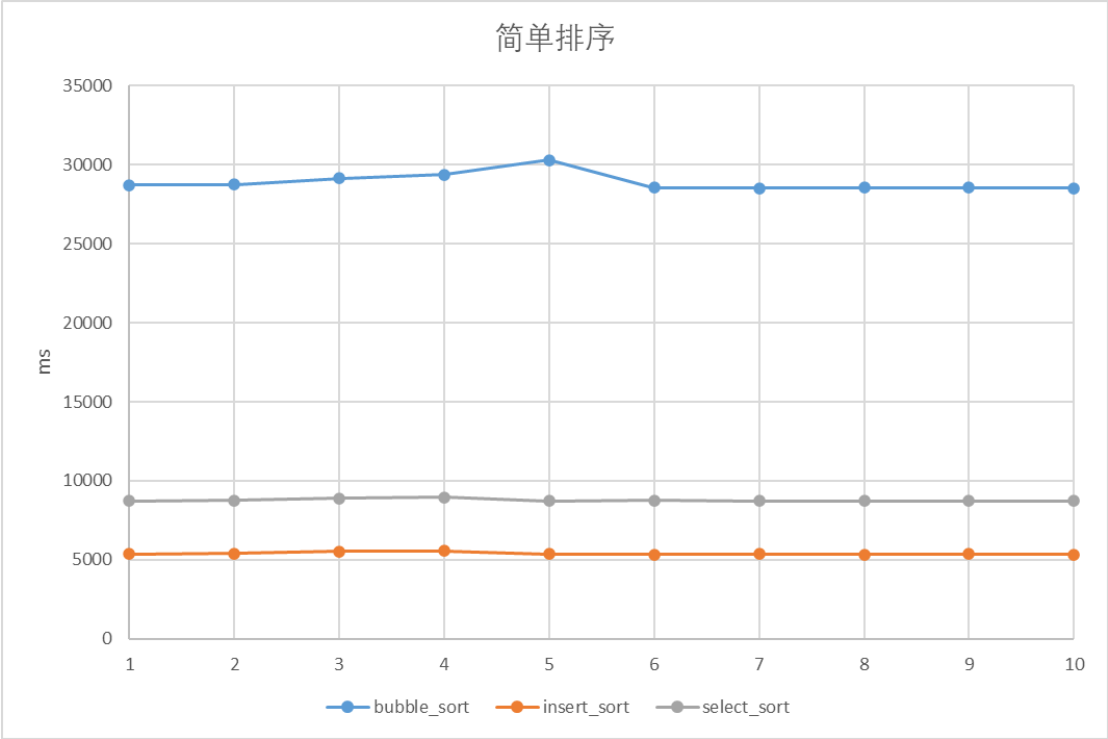
6-2 排序结果图

先进排序时间对比：



6-3 先进排序时间对比图

简单排序时间对比：



6-4 简单排序时间对比图

时间复杂度及空间复杂度：

6-5 算法对比表

排序方法	时间复杂度（平均）	时间复杂度（最坏）	时间复杂度（最好）	空间复杂度	稳定性
冒泡排序	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(1)$	稳定
选择排序	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(1)$	不稳定
插入排序	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(1)$	稳定
希尔排序	$O(n^{1.3})$	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(1)$	不稳定
快速排序	$O(nlog_2n)$	$O(n^2)$	$O(nlog_2n)$	$O(nlog_2n)$	不稳定
归并排序	$O(nlog_2n)$	$O(nlog_2n)$	$O(nlog_2n)$	$O(n)$	稳定
堆排序	$O(nlog_2n)$	$O(nlog_2n)$	$O(nlog_2n)$	$O(1)$	不稳定
基数排序	$O(n*k)$	$O(n*k)$	$O(n*k)$	$O(n+k)$	稳定

在我们的排序过程中，快速排序始终是最快的，而平均时间复杂度和最坏时间复杂度为$O(log_2n)$的堆排序和归并排序一直慢于快速排序。这是因为：

- 在快速排序中，每次数据移动都意味着该数据距离它正确的位置越来越近
- 在堆排序（大根堆）中，每次总是将最大的元素移除，然后将最后的元素放到堆顶，再让其自我调整。这样一来，想要维持大根堆，要进行很多次无效的比较
- 归并排序中有着大批量的数据复制

课题二　基于哈夫曼编码的文本压缩与解压缩

1. 任务要求：

有 data 文件给出一段英语明文（不少于 1000 字母，含标点符号），设计程序将原文经过编码进行压缩，显示压缩都二进制代码（主要，是简单二进制数表示，应该 bit 位），再设计程序压缩后文件压缩。原理：统计字母及标点符号概率，定若干权值，建立哈夫曼树，并进行编码，将编码输出。

2. 系统功能：

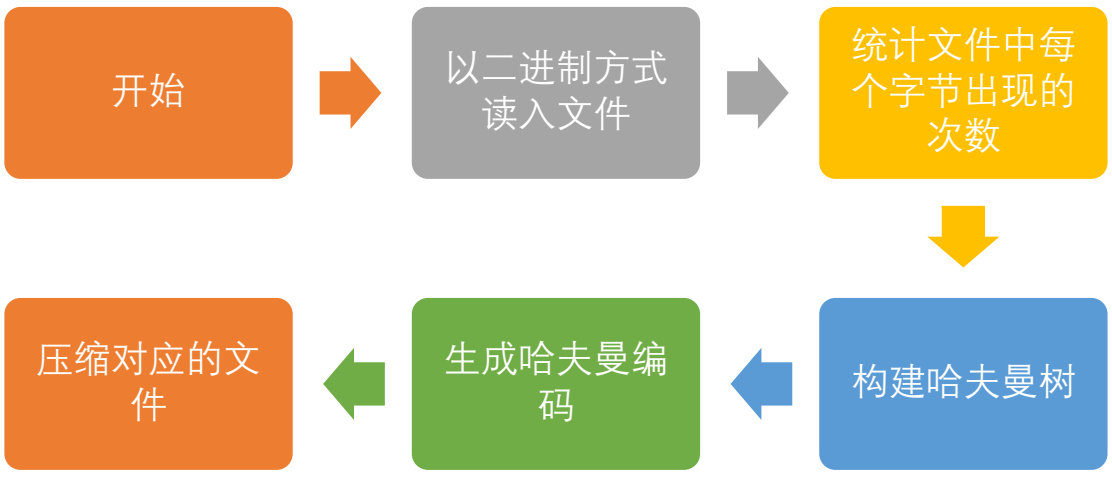
- 压缩
  1) 对于一给定的文件，统计其不同值的字节出现的次数
  2) 根据每个字节出现的次数，建立哈夫曼树
  3) 根据哈夫曼树，得到哈夫曼编码
  4) 根据得到的哈夫曼编码，对给定的文件进行压缩，并将 huffman 编码保存到哈夫曼编码文件中
- 解压
  1) 读取压缩文件的哈夫曼编码
  2) 根据哈夫曼编码，建立哈夫曼树
  3) 根据压缩文件及其哈夫曼树，对文件进行解压

3. 系统方案：

逻辑结构分析：哈夫曼树建立，编码和译码中字符权值采用的是逻辑结构为树形结构，具体为二叉树

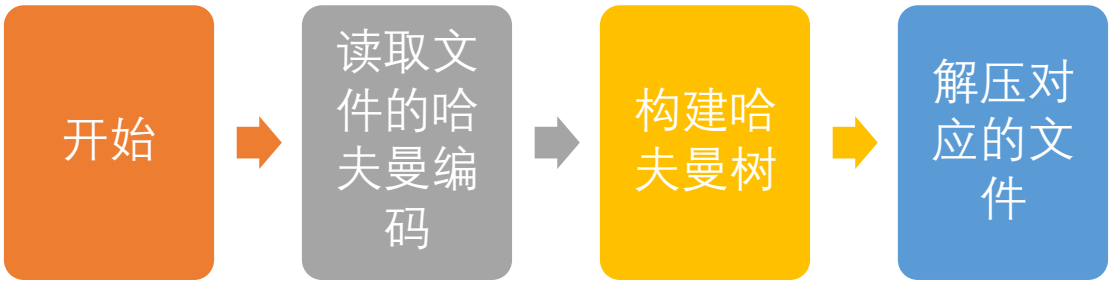
存储结构设计：存储结构为链式存储结构，具体为二叉链表

压缩流程：



3-1 压缩流程图

解压流程：



3-2 解压流程图

4. 系统详细设计与实现：

主要函数设计（类）：

```
class MyHuffman {
 private:
  string filepath;                              // 要压缩的文件路径
  long long byte_value_frequency[256] = {};  // 值为0-255 的字节出现的次
数
  HuffmanNode *root = NULL;                     // 哈夫曼树根节点
  string huffman_code[256] = {};  // 值为0-255 字节对应的哈夫曼编码
  long long bit_size = 0;          // 压缩文件bit 总数
 public:
  MyHuffman(string filepath);
  ~MyHuffman();

  // 压缩所用函数
  void count_byte_frequency();  // 统计不同值得字节出现次数
  void create_huffman_tree();   // 创建哈夫曼树
  // 成员函数的默认参数只能在类内声明
  // 根据哈夫曼树得到哈夫曼编码
  void huffman_tree_to_huffman_code(HuffmanNode *root = NULL, string co
de = "");
  void compress();  // 压缩
```

```
  // 解压所用函数
  void get_huffman_code();  // 读取 huffman 文件得到哈夫曼编码
  void huffman_code_to_huffman_tree();  // 根据哈夫曼编码构建哈夫曼树
  void decompress();                    // 解压

  void show_huffman_tree();  // 展示哈夫曼树
  void show_huffman_code();  // 展示哈夫曼编码
};
```

二叉链表节点设计：

```
struct HuffmanNode {
  unsigned char value = 0;
  int frequency = 0;
  struct HuffmanNode *left = NULL;
  struct HuffmanNode *right = NULL;
};
```

```
void count_byte_frequency();  // 统计不同值得字节出现次数
```

该函数的功能是记录每个字节出现的次数

实现方法：遍历整个文件，碰到不同的字节便在数组相应的位置中+1

```
void create_huffman_tree();   // 创建哈夫曼树
```

该函数的功能是根据字节出现的次数建立哈夫曼树

实现方法：根据字节出现的次数，利用 Huffman 编码思想创建 Huffman 树，将所记录的字节的频率作为权值来创建 Huffman 树，依次选择权值最小的两个字节作为左右孩子，其和作为父结点的权值，依次进行下去，直到所有的字节结点都成为叶子结点

```
// 根据哈夫曼树得到哈夫曼编码
  void huffman_tree_to_huffman_code();
```

该函数的功能是根据哈夫曼树得到哈夫曼编码

实现方法：根据创建的 Huffman 树来确定每个字节的哈夫曼编码，左孩子为 0，右孩子为 1，类似于树的前序遍历，当达到叶子节点时，记录哈夫曼编码

```
void compress();  // 压缩
```

该函数的功能是压缩文件

实现方法：读取文件的每个字节，在哈夫曼编码数组中找到对应的哈夫曼编码，用 unsinged char 存储哈夫曼编码，当 unsinged char 中记录了 8bit 时，写入 unsinged char 即一个字节，清空 unsinged char，如此反复，直到文件被读完

```
void get_huffman_code();  // 读取 huffman 文件得到哈夫曼编码
```
该函数的功能是读取保存在文件中的哈夫曼编码
实现方法：读取文件中的信息即可

```
void huffman_code_to_huffman_tree();  // 根据哈夫曼编码构建哈夫曼树
```
该函数的功能是根据哈夫曼编码构建哈夫曼树
实现方法：先创建根节点，再读取每个字节的哈夫曼编码，‘0’代表右节点，‘1’代表左节点，若节点不存在就创建该节点，最后在叶子节点中写入字节的值

```
void decompress();                    // 解压
```
该函数的功能是解压
实现方法：先获取输入的路径中的后缀名，如”.txt”，再打开压缩文件和解压文件，从压缩文件中读入字节，在哈夫曼树寻找对应的叶子节点，没找到就继续读入下一个字节，找到了就将叶子节点对应的字节写入解压文件，继续寻找下一个叶子节点，如此反复，直到压缩文件被读完

5 程序代码

MyHuffman.h：

```
#ifndef MYHUFFMAN_H
#define MYHUFFMAN_H

#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

struct HuffmanNode {
  unsigned char value = 0;
  int frequency = 0;
  struct HuffmanNode *left = NULL;
  struct HuffmanNode *right = NULL;
};

class MyHuffman {
 private:
  string filepath;                              // 要压缩的文件路径
  long long byte_value_frequency[256] = {};  // 值为0-255 的字节出现的次数
  HuffmanNode *root = NULL;                     // 哈夫曼树根节点
  string huffman_code[256] = {};  // 值为0-255 字节对应的哈夫曼编码
```

```
  long long bit_size = 0;          // 压缩文件bit总数
 public:
  MyHuffman(string filepath);
  ~MyHuffman();

  // 压缩所用函数
  void count_byte_frequency();  // 统计不同值得字节出现次数
  void create_huffman_tree();   // 创建哈夫曼树
  // 成员函数的默认参数只能在类内声明
  // 根据哈夫曼树得到哈夫曼编码
  void huffman_tree_to_huffman_code(HuffmanNode *root = NULL, string co
de = "");
  void compress();  // 压缩

  // 解压所用函数
  void get_huffman_code();  // 读取huffman文件得到哈夫曼编码
  void huffman_code_to_huffman_tree();  // 根据哈夫曼编码构建哈夫曼树
  void decompress();                    // 解压

  void show_huffman_tree();  // 展示哈夫曼树
  void show_huffman_code();  // 展示哈夫曼编码
};

#endif  // MYHUFFMAN_H
```

MyHuffman.cpp：

```
#include "MyHuffman.h"

#include <algorithm>
#include <fstream>
#include <iomanip>
#include <iostream>
#include <queue>
#include <string>
#include <vector>
using namespace std;

MyHuffman::MyHuffman(string filepath) { this->filepath = filepath; }
```

```cpp
MyHuffman::~MyHuffman() {}

void MyHuffman::count_byte_frequency() {
  ifstream in(filepath, ios::in | ios::binary);
  if (!in) {
    cout << "File is not exist!!!" << endl;
  } else {
    unsigned char temp;  // 临时变量 读入每个字节
    while (in.peek() != EOF) {
      in.read((char *)&temp, sizeof(unsigned char));
      byte_value_frequency[temp]++;
    }
    /* for (int i = 0; i < 256; i++) {
      if (byte_value_frequency[i] != 0) {
        cout << i << ":" << byte_value_frequency[i] << endl;
      }
    } */
  }
  in.close();
}

struct cmp {  // priority_queue 比较级是用结构体, 而不是函数
  bool operator()(const HuffmanNode &a,
                  const HuffmanNode &b) {  // 重载操作, 记住就行
    return a.frequency > b.frequency;  // 小的优先在前面, 因为是用"堆"去实现的,
  }
};

void MyHuffman::create_huffman_tree() {  // 建造哈夫曼树
  priority_queue<HuffmanNode, vector<HuffmanNode>, cmp> que;  // 优先队列
  for (int i = 0; i < 256; i++) {
    if (byte_value_frequency[i] > 0) {
      HuffmanNode *temp = new HuffmanNode;
      temp->value = i;
      temp->frequency = byte_value_frequency[i];
      // temp->left = temp->right = NULL;
```

```
      que.push(*temp);
    }
  }

  HuffmanNode *temp_left, *temp_right, *temp_root;
  while (que.size() >= 2) {  // 不只有一棵树
    temp_left = new HuffmanNode;
    temp_right = new HuffmanNode;
    temp_root = new HuffmanNode;

    *temp_left = que.top();
    que.pop();
    *temp_right = que.top();
    que.pop();
    // 父节点的频率为左右孩子节点之和
    temp_root->frequency = temp_left->frequency + temp_right->frequency
;
    temp_root->left = temp_left;
    temp_root->right = temp_right;
    que.push(*temp_root);
  }
  root = temp_root;
}

void MyHuffman::huffman_tree_to_huffman_code(HuffmanNode *root, string
code) {
  // 初始化 root 仅在第一层执行
  if (root == NULL && code == "") root = this->root;
  if (root == NULL) return;
  if (root->left == NULL && root->right == NULL) {
    huffman_code[root->value] = code;
  }
  huffman_tree_to_huffman_code(root->left, code + '0');   // 左分支为'0'
  huffman_tree_to_huffman_code(root->right, code + '1');  // 右分支为'1'
}

void MyHuffman::compress() {
  ifstream in(filepath, ios::in | ios::binary);
```

```
  ofstream out(filepath + ".compress", ios::out | ios::binary);
  if (!(in && out)) {
    cout << "File is not exist or can't create!!!" << endl;
  } else {
    unsigned char temp_read = 0;    // 临时变量 读入每个字节
    unsigned char temp_write = 0;   // 临时变量 写入每个字节
    string temp_str;                // 临时字符串 存储哈夫曼编码
    long long temp_write_bit_size = 0;  // 临时变量temp_write 所写的二进制位数
    while (in.peek() != EOF) {
      in.read((char *)&temp_read, sizeof(unsigned char));
      temp_str = huffman_code[temp_read];
      for (int i = 0; i < temp_str.size(); i++) {
        // 位运算的预先级低
        temp_write = (temp_write << 1) + (temp_str[i] - '0');
        temp_write_bit_size++;
        bit_size++;
        if (temp_write_bit_size == 8) {  // 8bit 为1 字节
          out.write((char *)&temp_write, sizeof(unsigned char));
          temp_write_bit_size = 0;
        }
      }
    }
    // 还有bit 没写进去
    if (temp_write_bit_size != 0) {
      while (temp_write_bit_size != 8) {
        temp_write = temp_write << 1;
        temp_write_bit_size++;
      }
      out.write((char *)&temp_write, sizeof(unsigned char));
    }
    in.close();
    out.close();

    // 写入哈夫曼编码文件
    out.open(filepath + ".huffman", ios::out);
    out << "HuffmanCode:" << endl;
    int types = 0;
```

```
    for (int i = 0; i < 256; i++) {
      if (byte_value_frequency[i] > 0) {
        types++;
      }
    }
    out << "TypesOfCharacter: " << types << endl;

    out.setf(ios::left);
    for (int i = 0; i < 256; i++) {
      if (byte_value_frequency[i] > 0) {
        out << setw(5) << i << huffman_code[i] << endl;
      }
    }

    out << "WriteBitSize: " << bit_size << endl;
  }
}

void MyHuffman::get_huffman_code() {
  ifstream in_huffman(filepath + ".huffman", ios::in);  // 以文本方式打开
  // 读取哈夫曼编码信息
  string temp_str, code_str;            // 临时字符串 哈夫曼编码
  int types_character, value;           // 字节种类 字节值
  in_huffman >> temp_str >> temp_str;   // 跳过不必要的信息
  in_huffman >> types_character;        // 读入字节种数
  for (int i = 0; i < types_character; i++) {
    in_huffman >> value >> code_str;
    huffman_code[value] = code_str;
  }
  in_huffman >> temp_str >> bit_size;
  in_huffman.close();
}

void MyHuffman::huffman_code_to_huffman_tree() {
  root = new HuffmanNode;
  HuffmanNode *temp_parent, *temp_child;  // temp_child 用于开辟空间
  for (int i = 0; i < 256; i++) {
    // 没有该字节的哈夫曼编码就跳过
```

```
    if (huffman_code[i].size() == 0) continue;

    temp_parent = root;
    for (int j = 0; j < huffman_code[i].size(); j++) {
      if (huffman_code[i][j] == '0') {
        if (temp_parent->left == NULL) {
          temp_child = new HuffmanNode;  // 该节点不存在就开辟空间
          temp_parent->left = temp_child;
        }
        temp_parent = temp_parent->left;
      } else if (huffman_code[i][j] == '1') {
        if (temp_parent->right == NULL) {
          temp_child = new HuffmanNode;  // 该节点不存在就开辟空间
          temp_parent->right = temp_child;
        }
        temp_parent = temp_parent->right;
      }
    }
    temp_parent->value = i;
  }
}

void MyHuffman::decompress() {
  string exten;  // 后缀名
  for (int i = filepath.size() - 1; i >= 0; i--) {
    exten.push_back(filepath[i]);
    if (filepath[i] == '.') break;
  }
  reverse(exten.begin(), exten.end());

  // 以二进制的方式打开文件
  ifstream in_compress(filepath + ".compress", ios::in | ios::binary);
  ofstream out_decompress(filepath + ".decompress" + exten,
                          ios::out | ios::binary);

  if (!(in_compress && out_decompress)) {
    cout << "File is not exist or can't create!!!" << endl;
  } else {
```

```
    /* // 哈夫曼树不存在 读取哈夫曼编码
    if (root == NULL) {
      get_huffman_code();               // 读取哈夫曼编码
      huffman_code_to_huffman_tree();   // 构建哈夫曼树
    } */

    unsigned char temp_read = 0;    // 临时变量 读入每个字节
    unsigned char temp_write = 0;   // 临时变量 写入每个字节
    long long now_bit_size = 0;     // 现在读入的bit 总数
    HuffmanNode *temp = root;
    // show_huffman_code();
    while (in_compress.peek() != EOF) {
      in_compress.read((char *)&temp_read, sizeof(unsigned char));
      for (int i = 7; i >= 0; i--) {
        if ((temp_read >> i & 1) == 0) {  // 该bit 为0
          temp = temp->left;
        } else if ((temp_read >> i & 1) == 1) {  // 该bit 为1
          temp = temp->right;
        }
        // 找到了对应的字节
        if (temp->left == NULL && temp->right == NULL) {
          temp_write = temp->value;
          out_decompress.write((char *)&temp_write, sizeof(unsigned cha
r));
          temp = root;
        }
        now_bit_size++;
        if (now_bit_size == bit_size) break;
      }
    }
    in_compress.close();
    out_decompress.close();
  }
}

void MyHuffman::show_huffman_code() {
  for (int i = 0; i < 256; i++) {
    if (huffman_code[i].size() > 0) {
```

```
      cout << i << " " << huffman_code[i] << endl;
    }
  }
}
```

main.cpp

```
#include <iostream>

#include "MyHuffman.h"
using namespace std;

void show();       //开始界面
void option_1();  // 压缩
void option_2();  // 解压

int main() {
  while (1) {
    show();
    int option;
    cin >> option;
    if (option == 1) {
      option_1();
    } else if (option == 2) {
      option_2();
    } else {
      break;
    }
    //_sleep(5000);
    system("cls");
  }
  return 0;
}

void show() {
  cout << "------------哈夫曼编码------------" << endl;
  cout << "1 压缩文件" << endl;
  cout << "2 解压文件" << endl;
  cout << "0 退出" << endl;
  cout << "------------哈夫曼编码------------" << endl;
```

```
  cout << "请输入选项：";
}

void option_1() {
  string filepath;
  cout << "请输入要压缩的文件路径：";
  cin >> filepath;
  MyHuffman huffman(filepath);
  huffman.count_byte_frequency();
  huffman.create_huffman_tree();
  huffman.huffman_tree_to_huffman_code();
  huffman.compress();
  cout << "压缩成功！！！" << endl;
  cout << "是否解压该压缩文件" << endl;
  cout << "1 是" << endl;
  cout << "2 否" << endl;
  int is_decompress;
  cin >> is_decompress;
  if (is_decompress == 1) {
    huffman.decompress();
    cout << "解压成功！！！" << endl;
  }
}

void option_2() {
  string filepath;
  cout << "请输入被压缩原文件的路径：";
  cin >> filepath;
  MyHuffman Huffman(filepath);
  Huffman.get_huffman_code();
  Huffman.huffman_code_to_huffman_tree();
  Huffman.decompress();
  cout << "解压成功！！！" << endl;
}
```

6 实验结果及分析：

程序运行环境：处理器为 i5-9300h，四核八线程，内存 16GB
操作系统为 win10，IDE 为 VSCODE

运行截图：

```
c:\Users\He\Desktop\My Data Structure Practicum\sort>cd "c:\
------------哈夫曼编码------------
1 压缩文件
2 解压文件
0 退出
------------哈夫曼编码------------
请输入选项：1
请输入要压缩的文件路径：data\text.txt
压缩成功！！！
是否解压该压缩文件
1 是
2 否
1
解压成功！！！
------------哈夫曼编码------------
1 压缩文件
2 解压文件
0 退出
------------哈夫曼编码------------
请输入选项：2
请输入被压缩原文件的路径：data\movie.mp4
解压成功！！！
------------哈夫曼编码------------
1 压缩文件
2 解压文件
0 退出
------------哈夫曼编码------------
请输入选项：2
请输入被压缩原文件的路径：data\text.txt
解压成功！！！
------------哈夫曼编码------------
1 压缩文件
2 解压文件
0 退出
------------哈夫曼编码------------
请输入选项：1
请输入要压缩的文件路径：data\photo.png
压缩成功！！！
是否解压该压缩文件
1 是
2 否
1
解压成功！！！
------------哈夫曼编码------------
1 压缩文件
2 解压文件
0 退出
------------哈夫曼编码------------
请输入选项：0
```

6-1 压缩截图

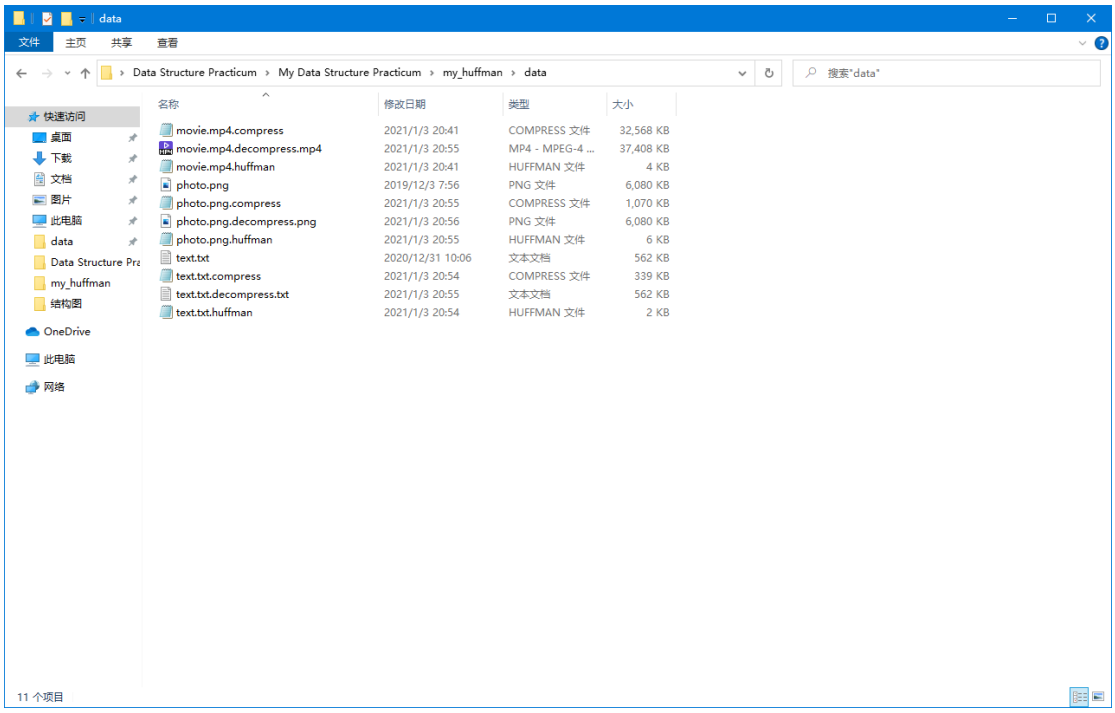
压缩结果：

.xxx 为原文件

.compress 为原文件

.huffman 为对应的哈夫曼编码文件

.decompress.xxx 为解压文件

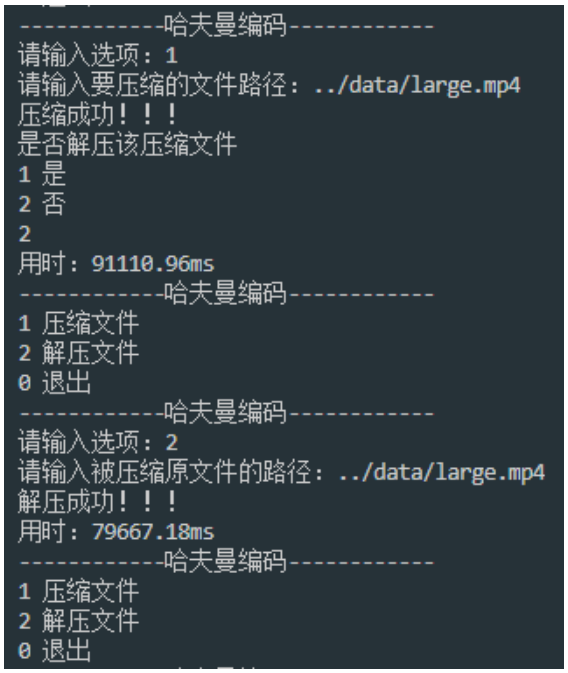


6-2 压缩截图

运行时间：

压缩 808 MB 的视频用时 91s

解压 808 MB 的压缩文件用时 80s



6-3 运行时间图