同济大学

TONGJI UNIVERSITY

数据结构课程设计

项目名称	电网建设造价模拟系统
学　　院	计算机科学与技术学院
专　　业	软件工程
学生姓名	杨瑞晨
学　　号	2351050
指导教师	张颖
日　　期	2024 年 12 月 4 日

目 录

1 项目分析

1.1 项目背景分析

在网络设计和连接问题中，最小生成树是一个关键概念，它涉及到如何在加权连通图中找到一棵连接所有顶点的树，且这棵树的总权重（即所有边的权重之和）最小。这样的树可以被视为网络布线成本的最小化，其中顶点代表网络节点（如城市、计算机等），边的权重代表连接这些节点的成本（如距离、电缆长度等）。最小生成树问题在多个领域都有广泛的应用，包括网络设计、电路设计、供水系统规划等。

1.2 项目功能分析

1.2.1 功能要求

假设一个城市有 n 个小区，要实现 n 个小区之间的电网都能够相互接通，构造这个城市 n 个小区之间的电网，使总工程造价最低。请设计一个能够满足要求的造价方案。

项目功能要求：在每个小区之间都可以设置一条电网线路，都要付出相应的经济代价。n 个小区之间最多可以有 $\frac{n(n-1)}{2}$ 条线路，选择其中的 n-1 条使总的耗费最少。

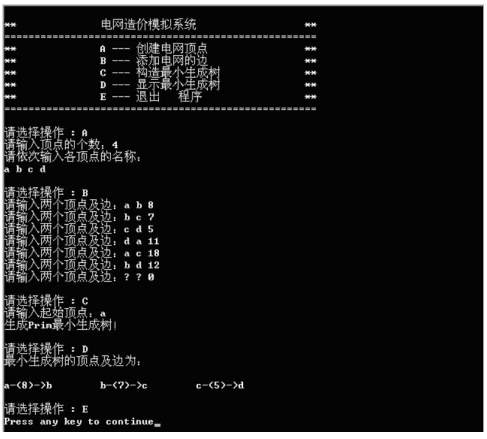
1.2.2 输入要求

输入对应的操作构建电网造价模拟系统。包括顶点个数 n，以及 n 个顶点之间的边的权重。

1.2.3 输出要求

输出最小生成树的顶点和边的信息。

1.2.4 项目实例



2 项目设计

2.1 数据结构设计

根据题目的要求，采用 Kruskal 算法生成最小生成树，确立了以下数据结构：

2.1.1 边（Edge）

边是构成图的基本元素之一，包含起点、终点和权重三个属性。边的权重表示该边的成本或长度。（1） 顶点连接表示：在电网造价模拟中，边用于表示两个顶点之间的连接，因此需要记录每个边的起点和终点。（2）权重存储：每条边都有一个权重，代表边的成本或长度，因此边结构需要存储权重信息。（3） 排序需求：Kruskal 算法要求边按权重排序，因此边结构需要支持排序操作。

2.1.2 点（Vertex）

点代表图中的顶点，包含名称和祖先两个属性。名称用于标识顶点，祖先用于在并查集中追踪顶点的祖先。（1） 顶点标识：顶点需要一个唯一的标识，名称是一个直观的选择。（2） 并查集支持：在 Kruskal 算法中，使用并查集来检测环，并合并集合。因此，顶点结构需要记录每个顶点在并查集中的祖先。

2.1.3 图（Graph）

图是由顶点和边构成的数据结构，包含顶点数、边数、顶点数组和边数组。图还包含一个指向最小生成树的指针。（1） 顶点和边的存储：图需要存储所有的顶点和边，因此需要有相应的数组来存储。（2） 最小生成树：图需要一个额外的图来存储最小生成树的结果。（3） 快速排序：图中需要对边进行排序，因此需要实现快速排序算法。

2.2 类设计

2.2.1 Edge 类

Edge 类是边的实现，存储边的起点、终点和权重，并且支持边的比较操作，以便在算法实现中进行排序。

```
// 边
class Edge
{
public:
    int start, end;   // 顶点
    double weight; // 权重
    bool operator<(const Edge &other) const { return weight < other.weight; }
    bool operator>(const Edge &other) const { return weight > other.weight; }
    Edge() {}
```

```
    Edge(int u, int v, double weight) : start(u), end(v), weight(weight) {}
};
```

2.2.2 Vertex 类

设计该类是为了表示图中的顶点并管理与顶点相关的信息。它提供了顶点名称的存储和并查集中祖先的跟踪，这对于在图形算法中处理顶点至关重要。

```
// 点
struct Vertex
{
public:
    char name[STRING_SIZE]; // 名称
    int ancestor;  // 记录在并查集中的祖先
    Vertex() {}
    Vertex(char *name, int ancestor) : ancestor(ancestor) { strcpy(this->name, name); }
};
```

2.2.3 Graph 类

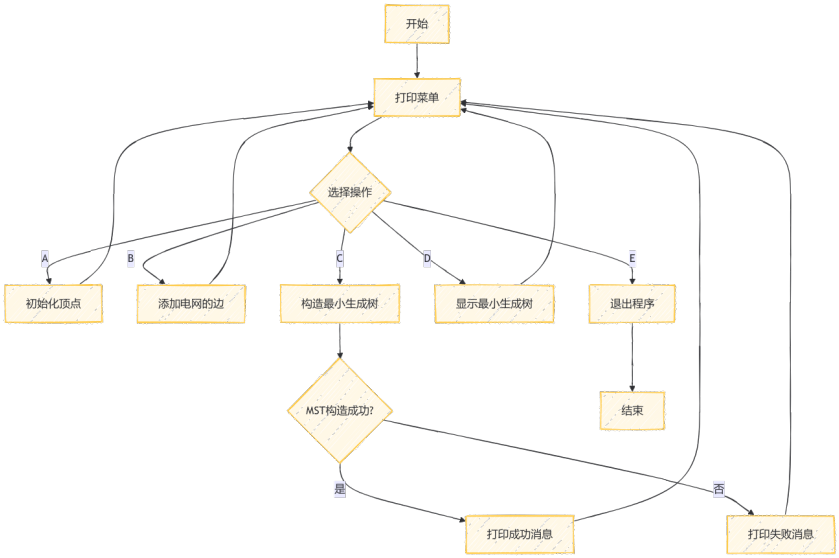
核心类，负责整个电网构造项目的图形表示和算法实现。它定义了初始化图形的方法以及构建和打印最小生成树的方法。

```
// 图
class Graph
{
    template <class T>
    friend void quickSort(T *arr, int low, int high);
private:
    int V;           // 顶点数
    int E;           // 边数
    Vertex *vertexes;  // 顶点数组
    Edge *edges;     // 边数组
    Graph *mst;      // 最小生成树

    // 根据名称查找顶点
    int findVertex(char *name)
    {
        for (int i = 0; i < V; ++i) { if (strcmp(name, vertexes[i].name) == 0) return i; }
        return -1;
    }
    // 在并查集中查找顶点祖先
    int findAncestor(int i)
    {
        if (vertexes[i].ancestor != i) { vertexes[i].ancestor =
        ↪  findAncestor(vertexes[i].ancestor); } // 路径压缩
        return vertexes[i].ancestor;
    }

    // 重置图
```

```
27      void reset() {
28          V = 0, E = 0;
29          if (vertexes) delete[] vertexes;
30          if (edges) delete[] edges;
31          if (mst) delete mst;
32          vertexes = nullptr;
33          edges = nullptr;
34      }
35
36      // 根据名称快速排序边
37      void quickSortEdgesByName(Edge edges[], int left, int right, Vertex vertexes[])
38      {
39          if (left >= right) return;
40
41          int i = left, j = right;
42          Edge pivot = edges[left];
43
44          while (i < j)
45          {
46              // 从右向左，找到起点名称小于基准的边
47              while (i < j && strcmp(vertexes[edges[j].start].name, vertexes[pivot.start].name)
                ↪  >= 0) j--;
48              if (i < j) edges[i++] = edges[j];
49
50              // 从左向右，找到起点名称大于基准的边
51              while (i < j && strcmp(vertexes[edges[i].start].name, vertexes[pivot.start].name)
                ↪  <= 0) i++;
52              if (i < j) edges[j--] = edges[i];
53          }
54
55          edges[i] = pivot;
56
57          quickSortEdgesByName(edges, left, i - 1, vertexes);
58          quickSortEdgesByName(edges, i + 1, right, vertexes);
59      }
60  public:
61      Graph(int V = 0, int E = 0) : V(V), E(E)
62      {
63          edges = nullptr;
64          vertexes = nullptr;
65          mst = nullptr;
66          edges = new Edge[E];
67          vertexes = new Vertex[V];
68      }
69
70      ~Graph()
71      {
72          delete[] vertexes;
73          delete[] edges;
74          delete mst;
75      }
76
77      void printMST(); // 打印最小生成树
78      bool kruskalMST(); // Kruskal 算法构造最小生成树
79      void initVertexes(); // 初始化顶点
80      void initEdges(); // 初始化边
81  };
```

3 项目实现

3.1 流程表示



3.2 功能实现

3.2.1 初始化顶点（initVertexes）

- 用户输入顶点数量：程序首先要求用户输入顶点的数量，并进行错误检查（非负整数）。
- 动态分配顶点数组：根据用户输入的数量，动态分配一个顶点数组。
- 用户输入顶点名称：程序要求用户依次输入每个顶点的名称，并检查是否有重复的顶点名称。
- 顶点初始化：程序将用户输入的顶点名称和索引存储到顶点数组中。

```
1   void initVertexes()
2   {
3       reset();
4
5       cout << " 请输入顶点的个数: ";
6       while (true)
7       {
8           cin >> V;
9           if (cin.fail() || V < 2)
10          {
11              cerr << " 输入错误，请重新输入! " << endl;
12              cin.clear();
13              cin.ignore(numeric_limits<streamsize>::max(), '\n');
14              continue;
15          }
16          else break;
17      }
18      vertexes = new Vertex[V];
19
```

```
        cout << " 请依次输入各顶点的名称: " << endl;
        for (int i = 0; i < V; ++i)
        {
            char name[STRING_SIZE];
            cout << " 第 " << i + 1 << " 个顶点: ";
            cin >> name;
            if (findVertex(name) != -1)
            {
                cerr << " 顶点名称重复, 请重新输入! " << endl;
                --i;
            }
            else vertexes[i] = Vertex(name, i);
        }
    }
```

3.2.2 初始化边（initEdges）

- 用户输入边的数量：程序要求用户输入边的数量，并进行错误检查（边数应在一定范围内）。
- 动态分配边数组：根据用户输入的数量，动态分配一个边数组。
- 用户输入边的详细信息：程序要求用户依次输入每条边的起点、终点和权重，并进行错误检查。
- 边初始化：程序将用户输入的边的起点、终点和权重存储到边数组中。

```
    void initEdges()
    {
        delete[] edges;

        cout << " 请输入边的个数: ";
        while (true)
        {
            cin >> E;
            if (cin.fail() || E < V - 1 || E > V * (V - 1) / 2)
            {
                cerr << " 输入错误, 请重新输入" << endl;
                cin.clear();
                cin.ignore(numeric_limits<streamsize>::max(), '\n');
                continue;
            }
            else break;
        }
        edges = new Edge[E];

        cout << " 请依次输入两个顶点及边: " << endl;
        for (int i = 0; i < E; ++i)
        {
            char u[STRING_SIZE], v[STRING_SIZE];
            double weight;
            while (true)
            {
                cin >> u >> v;
                if (findVertex(u) == -1 || findVertex(v) == -1)
                {
```

```
                    cerr << " 未找到顶点，请重新输入！ " << endl;
                    cin.clear();
                    cin.ignore(numeric_limits<streamsize>::max(), '\n');
                    continue;
                }
                else break;
            }

            while (true)
            {
                cin >> weight;
                if (cin.fail() || weight < 0)
                {
                    cerr << " 权重输入错误，请重新输入！ " << endl;
                    cin.clear();
                    cin.ignore(numeric_limits<streamsize>::max(), '\n');
                    continue;
                }
                else break;
            }

            edges[i] = Edge(findVertex(u), findVertex(v), weight);
        }
    }
```

3.2.3 构建最小生成树（kruskalMST）

- 初始化最小生成树：程序创建一个新的 Graph 对象来存储最小生成树。
- 排序边：程序将所有的边按照权重从小到大排序。
- 遍历边并构建 MST：程序遍历排序后的边，使用并查集来检测环，并逐步构建最小生成树。
- 检查是否完成：当选择的边数等于顶点数减一时，最小生成树构建完成。

```
// 快速排序模版函数
template <class T>
void quickSort(T *arr, int low, int high)
{
    if (low > high) return;
    T mid = arr[(low + high) / 2];
    int i = low, j = high;
    while (i < j) {
        while (arr[i] < mid) ++i;
        while (arr[j] > mid) --j;
        if (i <= j) {
            swap(arr[i], arr[j]);
            ++i;
            --j;
        }
    }
    if (low < j) quickSort(arr, low, j);
    if (i < high) quickSort(arr, i, high);
}
```

quickSort 函数：模板函数，用于对任意类型的数组进行快速排序。

```cpp
// 快速排序模版函数
template <class T>
void quickSort(T *arr, int low, int high)
{
    if (low > high) return;
    T mid = arr[(low + high) / 2];
    int i = low, j = high;
    while (i < j) {
        while (arr[i] < mid) ++i;
        while (arr[j] > mid) --j;
        if (i <= j) {
            swap(arr[i], arr[j]);
            ++i;
            --j;
        }
    }
    if (low < j) quickSort(arr, low, j);
    if (i < high) quickSort(arr, i, high);
}
```

3.2.4 打印最小生成树（printMST）

- 检查 MST 是否已构造：在显示最小生成树之前，先检查是否已经成功构造了最小生成树。
- 排序 MST 的边：为了更清晰地显示最小生成树，将 MST 中的边按照顶点名称排序。
- 打印 MST 的边：遍历 MST 中的每条边，并打印出起点、权重和终点。

```cpp
    void printMST()
    {
        if (mst == nullptr)
        {
            cerr << " 请先构造最小生成树! " << endl;
            return;
        }

        quickSortEdgesByName(mst->edges, 0, mst->E - 1, vertexes);

        cout << " 最小生成树的顶点及边如下: " << endl;

        for (int i = 0; i < mst->E; ++i)
        {
            cout << vertexes[mst->edges[i].start].name << " - (" << mst->edges[i].weight << ")
            ↪  -> " << vertexes[mst->edges[i].end].name << endl;
        }
    }
```

3.3 main 函数

根据用户选择调用相关函数。

- 初始化顶点：程序首先调用 initVertexes 函数来初始化顶点。
- 初始化边：程序调用 initEdges 函数来初始化边。

- 构建最小生成树：程序调用 kruskalMST 函数来构建最小生成树。
- 打印最小生成树：程序调用 printMST 函数来打印最小生成树。

```
1  void printMST()
2  {
3      if (mst == nullptr)
4      {
5          cerr << " 请先构造最小生成树！ " << endl;
6          return;
7      }
8
9      quickSortEdgesByName(mst->edges, 0, mst->E - 1, vertexes);
10
11     cout << " 最小生成树的顶点及边如下： " << endl;
12
13     for (int i = 0; i < mst->E; ++i)
14     {
15         cout << vertexes[mst->edges[i].start].name << " - (" << mst->edges[i].weight << ")
           ↪  -> " << vertexes[mst->edges[i].end].name << endl;
16     }
17 }
```

4 项目测试

4.1 输入有效数据

4.1.1 正常测试

```
********** 电网造价模拟系统 **********
========================================
**        A --- 创建电网顶点           **
**        B --- 添加电网的边           **
**        C --- 构造最小生成树         **
**        D --- 显示最小生成树         **
**        E --- 退出程序               **
========================================
请选择操作: A
请输入顶点的个数: 4
请依次输入各顶点的名称:
第 1 个顶点: a
第 2 个顶点: b
第 3 个顶点: c
第 4 个顶点: d
请选择操作: B
请输入边的个数: 6
请依次输入两个顶点及边:
a b 8
b c 7
c d 5
d a 11
a c 18
b d 12
请选择操作: C
构造最小生成树成功!
请选择操作: D
最小生成树的顶点及边如下:
a - (8) -> b
b - (7) -> c
c - (5) -> d
请选择操作: E
```

```
********** 电网造价模拟系统 **********
========================================
**        A --- 创建电网顶点           **
**        B --- 添加电网的边           **
**        C --- 构造最小生成树         **
**        D --- 显示最小生成树         **
**        E --- 退出程序               **
========================================
请选择操作: A
请输入顶点的个数: 2
请依次输入各顶点的名称:
第 1 个顶点: t
第 2 个顶点: j
请选择操作: B
请输入边的个数: 1
请依次输入两个顶点及边:
t j 1907
请选择操作: C
构造最小生成树成功!
请选择操作: D
最小生成树的顶点及边如下:
t - (1907) -> j
请选择操作: E

 ~/projects  master !1 ?2
```

4.1.2 边界测试

点的数量 n 需要 ≥ 2，边的数量需要 $\geq n-1$ 且 $\leq \frac{n(n-1)}{2}$。

```
请选择操作: A
请输入顶点的个数: 1
输入错误，请重新输入!
3
请依次输入各顶点的名称:
第 1 个顶点: a
第 2 个顶点: b
第 3 个顶点: c
请选择操作: B
请输入边的个数: 1
输入错误，请重新输入
4
输入错误，请重新输入
3
请依次输入两个顶点及边:
```

4.2 健壮性测试

输入非法字符或负数，程序提示输入错误，重新输入。

```
请选择操作: A
请输入顶点的个数: 1
输入错误，请重新输入!
q
输入错误，请重新输入!
2
请依次输入各顶点的名称:
第 1 个顶点: a
第 2 个顶点: a
顶点名称重复，请重新输入!
第 2 个顶点: 3
请选择操作: 2q
输入错误，请重新输入!
B
请输入边的个数: 1
请依次输入两个顶点及边:
a a 2
请选择操作: C
构造最小生成树失败!
请选择操作: D
请先构造最小生成树!
```

5 项目心得与体会

通过本项目的深入开发与实践，我获得了许多宝贵的经验和深刻的认识，这些不仅增强了我的专业知识，也提升了我的实践技能。

在实现电网造价模拟系统的过程中，我深刻体会到了数据结构的重要性。通过设计和实现 Edge、Vertex 和 Graph 类，我不仅复习了基本的数据结构知识，如数组、结构体等，还学会了如何将这些数据结构应用于解决实际问题；Kruskal 算法的实现让我对贪心算法有了更深的理解。在实际操作中，我学会了如何对算法进行优化，比如通过快速排序模板函数来提高边的排序效率，以及如何使用并查集来高效地处理元素的合并和查找操作；在编写和调试代码的过程中，我的编程能力得到了显著提升。我学会了如何编写清晰、高效且易于维护的代码，并且掌握了一些调试技巧，这些都对我未来的编程工作大有裨益。

总的来说，这个项目不仅让我掌握了数据结构和算法的具体应用，还提升了我的编程能力、问题解决能力和系统设计能力。这些经验和技能将为我未来的学习和工作奠定坚实的基础。