

数据结构 Project：智能仓储机器人路径规划

实验报告

徐晨欣 24300130064

2025 年 12 月 28 日

1 项目背景

- **项目名称：**智能仓储机器人 (Smart Warehouse AGV)
- **背景描述：**在现代化的电商物流中心，成千上万的 AGV (自动导引车) 在货架间穿梭。它们需要从充电站 (S) 出发，前往指定的货架 (T) 取货，最后将货物运送到打包台 (E)。本项目的任务是设计并实现一个程序，为机器人规划一条满足作业顺序且不发生碰撞的最短路径。

2 实验环境

Windows 操作系统，VSCode C++ 开发环境

3 实现思路

1. 整体设计思想

使用面向对象的思想，将智能仓储机器人的路径规划问题封装为一个完成的类，通过模块划分，实现“地图读取-路径搜索-结果判断-输出与可视化”。

(a) 基础数据结构定义

描述地图中的节点与搜索状态

(b) 核心类 SmartWarehouseAGV

封装地图、搜索算法与求解流程

(c) 路径搜索算法模块 (BFS)

实现最短路径计算

(d) 主函数模块

2. 基础数据结构定义

(a) 地图节点结构 Node

```
struct Node{  
    int x, y;  
};
```

用于表示地图中的一个坐标

在路径回溯时判断是否回到起点

(b) BFS 搜索状态: BFSsearch

```
struct BFSsearch{  
    int x, y;  
    int step;  
};
```

表示 BFS 队列中的一个搜索状态

step 用于记录从起点到当前位置的步数

3. 核心类 SmartWarehouseAGV 的设计

SmartWarehouseAGV 类负责管理路径规划的全部逻辑，其中的变量包括：

- map: 地图数据，用于存储仓库布局
- start: 起点; target: 货物点; end: 终点
- foundST, foundTE: 分段搜索状态标识
- M、N: 地图尺寸; K: 电量限制
- visited: 访问标记数组，用于避免重复搜索
- parent: 前驱节点数组，用于路径回溯
- pathST, pathTE: 分段路径存储结构

```

private:
    vector<string> map; // 存储地图
    Node start, end, target;
    bool foundST, foundTE;
    int M, N, K;
    vector<vector<bool>> visited; // 路径访问
    vector<vector<Node>> parent; // 路径回溯
    vector<Node> pathST; // S -> T
    vector<Node> pathTE; // T -> E

```

4. 构造函数定义

保证创建 SmartWarehouseAGV 对象后，处于初始化状态，避免未初始化变量导致的逻辑错误

```
public:
```

```
SmartWarehouseAGV() : foundST(false), foundTE(false) {}
```

5. 地图读取模块 readMap()

readMap() 函数负责从输入文本中读取地图规模，电量上限以及具体地图内容，并确定起点 S，货物点 T，终点 E 的坐标。

6. BFS 最短路径搜索函数

```
vector<Node> BFS(Node startPoint, Node endPoint)
```

用于在地图中搜索从起点到终点的最短路径，包括：

- 初始化 visited 和 parent 数组
- 将起点加入队列，广度优先搜索
- 按照上下左右四个方向搜索节点
- 排除越界、障碍物以及以搜索过的节点
- 当到达终点时，通过 parent 数组回溯得到完整路径

7. 分段路径规划

在实现路径中，并不是直接从起点到达终点，而是从起点 S 先到达货物点 T，再从 T 到达终点 E，当两个阶段都为可行路径时，任务才能完成。

(a) 第一次 BFS (S->T)

- 以 S 为起点, T 为终点
- 搜索从 S 到 T 的最短路径
- 若搜索失败, 则说明无法到达货物点, 判断为“无解”

```
//S -> T
vector<Node> pathST = BFS(start, target);
if(pathST.empty()){
    cout << "无解" << endl;
    return;
}
```

(b) 第二次 BFS (T->E)

- 以 T 为起点, E 为终点
- 搜索从 T 到 E 的最短路径
- 若搜索失败, 则说明无法从货物点到达终点, 判断为“无解”

```
//T -> E
vector<Node> pathTE = BFS(target, end);
if(pathTE.empty()){
    cout << "无解" << endl;
    return;
}
```

每一次进行 BFS 搜索时都是在原始地图上独立进行, 每次搜索前需要重新初始化 visited 和 parent 数组, 确保不会互相干扰。

(c) 路径长度与电量约束

在分别获得两段最短路径后, 第一段步数为: pathST-1, 第二段步数为: pathTE-1, 总步数为两段步数之和;

将总步数与最大电量 K 比较, 小于等于 K 则可以完成, 大于 K 则判断为“电量不足”, 无法完成。

8. 输出与可视化

在程序求解成功后, 以坐标序列形式输出完整路径, 在原地图上对路径进行标记, 实现可视化输出。

4 测试结果

- 测试环境：

Linux 环境 6.6.87.1 – microsoft-standard–WSL2 Ubuntu 24.04

- 编译命令：

```
g++ -Wall -std=c++20 -O2 main.cpp -o main
```

- 测试指令 e.g.:

```
./main < ./tests/1.in
```

```
xcx051209@XinsPC:~/25fall-ds-pj$ g++ -Wall -std=c++20 -O2 main.cpp -o main
xcx051209@XinsPC:~/25fall-ds-pj$ ./main < ./tests/1.in
(0, 0) -> (1, 0) -> (2, 0) -> (2, 1) -> (2, 2) -> (2, 3) -> (3, 3) -> (4, 3) -> (4, 4)
总步数：8
状态：任务完成

可视化路径：
S0100
·0100
..1*0
111*0
000*E

xcx051209@XinsPC:~/25fall-ds-pj$ ./main < ./tests/2.in
电量不足
xcx051209@XinsPC:~/25fall-ds-pj$ ./main < ./tests/3.in
无解
xcx051209@XinsPC:~/25fall-ds-pj$ ./main < ./tests/4.in
(0, 0) -> (1, 0) -> (2, 0) -> (2, 1) -> (2, 2) -> (2, 2) -> (2, 1) -> (2, 0)
总步数：6
状态：任务完成

可视化路径：
S00
·10
E.T
```

程序读取 “1.in” “2.in” “3.in” “4.in” 中的地图数据，输出的内容分别与提供的 “1.out” “2.out” “3.out” “4.out” 一致，程序能正常运行，测试通过。

5 问题与收获

1. 出现的问题

- 在第一次编译 main.cpp 时，出现了以下报错内容：

```
main.cpp: In member function ‘void SmartWarehouseAGV::solve()’:
main.cpp:135:26: warning: comparison of integer expressions of different
signedness: ‘int’ and ‘std::vector<Node>::size_type’ {aka ‘long unsigned
int’} [-Wsign-compare]
  135 |         for(int i = 0; i < pathST.size(); i++){
              ~~^~~~~~
main.cpp:139:26: warning: comparison of integer expressions of different
signedness: ‘int’ and ‘std::vector<Node>::size_type’ {aka ‘long unsigned
int’} [-Wsign-compare]
  139 |         for(int i = 0; i < pathTE.size(); i++){
              ~~^~~~~~
main.cpp:141:22: warning: comparison of integer expressions of different
signedness: ‘int’ and ‘std::vector<Node>::size_type’ {aka ‘long unsigned
int’} [-Wsign-compare]
  141 |             if((i+1) < pathTE.size()){
              ~~^~~~~~
main.cpp:151:26: warning: comparison of integer expressions of different
signedness: ‘int’ and ‘std::vector<Node>::size_type’ {aka ‘long unsigned
int’} [-Wsign-compare]
  151 |         for(int i = 0; i < pathST.size(); i++){
              ~~^~~~~~
main.cpp:157:26: warning: comparison of integer expressions of different
signedness: ‘int’ and ‘std::vector<Node>::size_type’ {aka ‘long unsigned
int’} [-Wsign-compare]
  157 |         for(int i = 0; i < pathTE.size(); i++){
              ~~^~~~~~
```

说明在定义变量类型时，最初将循环变量 i 定义为 int 型，与容器长度的变量类型不匹配，对于路径长度而言，是由 size() 获得的，返回类型为 size_t，将 i 定义为 size_t 类型后可以通过编译。

- 路径保存问题

在 BFS 搜索中，如果只记录步数而不保存路径来源，则无法输出完整的行驶路径，因此引入了 parent 数组，记录每个节点的前驱节点，并在到达终点后回溯完整路径。

2. 实验收获

通过本次实验，我进一步理解了广度优先搜索在无权图最短路径中的使用，学会了如何通过路径回溯将搜索结果转化为可输出的具体路径；同时，我也体会到了面向对象的程序设计中，将问题划分成不同阶段，可以使程序逻辑更加直观。