



上海海事大學

SHANGHAI MARITIME UNIVERSITY

## 期 末 论 文

题    目：基于 ASTAR 的自动化港口 AGV 行走策略

课    程：港口物流信息系统

学    院：物流科学与工程研究院

专    业：物流工程

学生姓名：沈立文

学    号：201930511179

方    向：设备调度与优化

2020 年 6 月 14 日

# 基于 ASTAR 的自动化港口 AGV 行走策略

沈立文<sup>1</sup>

(1. 上海海事大学 物流工程与科学研究院 上海)

**摘要:** 在使用自动导引车辆 (Auto Guided Vehicle, AGV) 的自动化港口中, 多车辆的行走控制面临着动态环境下不确定性因素多, 易发生交通拥堵或冲突的问题, 使用静态线性模型进行多车路径规划与交通控制建模复杂, 求解困难。本文基于 A\*算法进行快速路径规划, 对于路径冲突区域进行实时检测与再规划, 实现了一种在线的实时 AGV 行走控制方法, 并使用仿真方法验证有效性。可以在不设置车道行驶方向约束的条件下协调多车自主行走。

**关键词:** A\*算法、AGV、自动化港口、在线式

## 0. 前言

现代自动化港口中为了提高岸边与堆场间水平运输自动化程度, 改善整体装卸效率, 会考虑使用 AGV 作为集装箱水平运输工具。典型的工艺是岸边设置多条平行岸线的单向车道, 用于衔接岸桥, 堆场海侧设置平行岸线的方向交错的双向缓冲车道, 中央使用垂直岸线的双向缓冲车道进行连接, 布局示意如图 1:

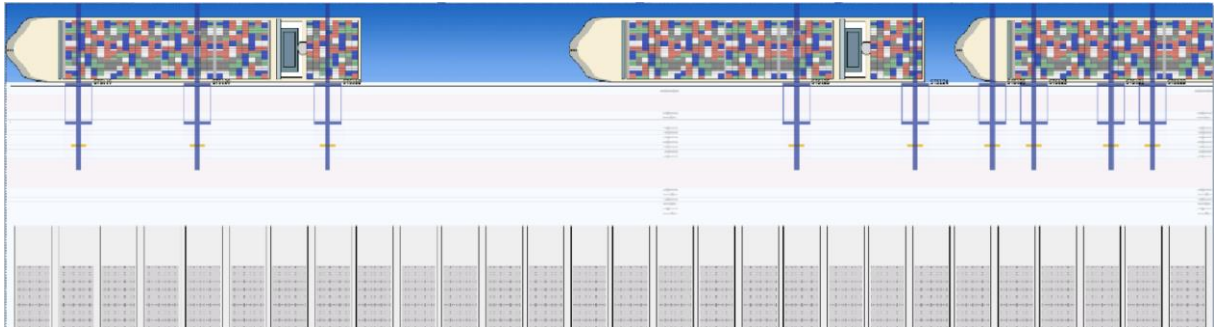


图 1 自动化码头水平运输布局

本文将不作车道方向限制, 因此也为路径规划留下更大的优化空间。对于如何描述水平运输地图, 常用的方法是将地图栅格化, 每辆 AGV 占用一个或数个栅格, 而 AGV 行驶路径可以由一组栅格序列描述, AGV 行走控制的精度取决于栅格划分的粒度, 细粒度的栅格划分可以更精确地确定 AGV 的面积占用, 有利于更高效地利用地图空间, 但也会导致路径规划与交通控制时运算量的增大。细粒度的栅格划分也会使多 AGV 冲突检测算法更为复杂。本文旨在尝试在线路径规划与交通控制的可行性, 不希望引入这些复杂性, 因此将栅格大小设定为可容纳一辆 AGV。

## 1. A\*算法

A\*算法是一种常用的启发式路径规划算法, 与 Dijkstra、Floyd 等算法相比, A\*算法尽管不是最优解算法, 但更加快速高效, 适用于实时路径规划。

A\*算法路径规划地图在本文使用一个二维矩阵表示:

$$\text{Maze} = \begin{bmatrix} p & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q & \cdots & 0 \end{bmatrix}_{(m \times n)} \quad (\text{式 1})$$

矩阵中每个元素表示一个栅格，其中不为 0 的值表示所在栅格被占用，求解时将避开占用栅格。

A\*算法寻路过程使用启发式策略逐渐探索地图，将待探索的栅格加入一个名为 open list 栅格的集合，将以探索得到的路径所在栅格加入名为 close list 的栅格集合，通过特定的策略不断将靠近终点的栅格加入 open list 集合，直至找到终点。其中每个栅格拥有三个属性分别为 g、h 与 f，g 的值为起点到该栅格的距离，h 则为一个估计值，是 A\*算法能否快速找到终点的关键，本文取 h 值为该栅格到终点的欧氏距离。f 为 g 与 h 的和，A\*算法每次探索新栅格时将计算栅格 g、h、f 三个值，将 f 值最小的加入到路径上，即从 open list 集合中转移到 close list 集合中。新栅格通过父栅格属性链接到上一栅格，最终路径通过回溯父栅格得到。

算法步骤：

- 1) 初始化 open list 并加入起点栅格，栅格 g、h、f 初值为 0
- 2) 初始化 close list
- 3) 重复直至 open list 为空：
  - a) 在 open list 中找到 f 值最小的栅格，令为 q
  - b) 将 q 从 close list 中删除
  - c) 探索 q 的 8 个方向上的相邻栅格，将其父栅格设为 q
  - d) 对 c 中的 8 个栅格判断：
    - i) 如果是终点则停止搜索，并回溯返回路径
    - ii) 如果 open list 中有 f 值比该栅格更小的则跳过该栅格
    - iii) 如果该栅格在 close list 中则跳过，否则加入 open list
  - e) 将 q 加入 close list

算法步骤中 8 个方向指上、下、左、右、左上、左下、右上、右下，栅格间距离均使用欧氏距离计算。

## 2. 冲突检测与路径重规划

多 AGV 路径之间的冲突窗口往往受多方面因素影响，例如当处于多个路径上的某辆 AGV 发生故障，则将直接导致相关路径上其它 AGV 的冲突，也可能间接导致该区域不相关路径的 AGV 阻塞。本文采用的策略为令各 AGV 到达当前栅格时主动探测下一栅格判断冲突情况，若无冲突或不构成需要重新规划路径的情况则抢占下一栅格资源，即对栅格而言先到的 AGV 先服务，每辆 AGV 每次抢占 1 个栅格，每次到达当前栅格时抢占下一栅格；必要时进行路径重规划。

将地图简化为一辆 AGV 占用一个栅格后，冲突类型也得到大幅简化，可以表示为图 2 中几种类型：

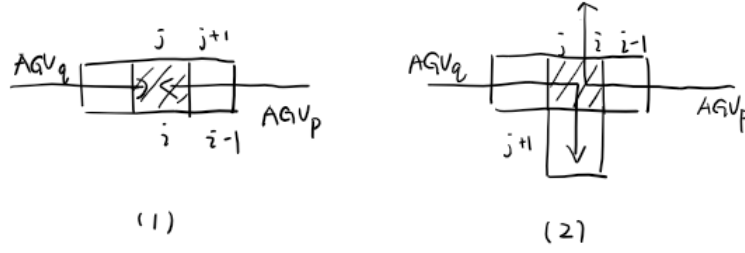


图 2 冲突类型

图中第一种情形为两车相向行驶，阴影栅格为冲突栅格，分别处于 $AGV_q$ 路径上的第  $j$  个栅格和 $AGV_p$ 路径上的第  $i$  个栅格，此种冲突需要重新规划路径，可由 $AGV_p$ 避开冲突栅格。第二种情形则不需要重新规划路径，可由 $AGV_p$ 等待 $AGV_q$ 驶离冲突栅格。

通过式 2 与式 3 可以判断两车构成哪种类型的冲突：

$$d_p \cdot d_q < 0 \quad (\text{式 2})$$

$$d_p \times d_q = 0 \quad (\text{式 3})$$

其中 $d_p$ 与 $d_q$ 分别为 $AGV_p$ 与 $AGV_q$ 的行驶方向向量，令 $AGV_p^i$ 表示 $AGV_p$ 所在路径的第  $i$  个栅格的坐标向量：

$$d_p = AGV_p^i - AGV_p^{i-1} \quad (\text{式 4})$$

$$d_q = AGV_q^{j+1} - AGV_q^j \quad (\text{式 5})$$

当检测同时满足式 2 与式 3 时，则为第一种冲突情形，否则为第二种。若需要重新规划路径，以 $AGV_p$ 为例，重规划时设置冲突前一栅格 $AGV_p^{i-1}$ 为起点，终点不变，用计算得到的无冲突路径替换原路径第  $i$  到最后的栅格组成的路段。

### 3. 仿真试验

本文使用 Python 3.7 asyncio 异步事件（协程）模型对多车场景进行建模仿真。为了便于观察，设置水平运输区域为  $5 \times 10$  规模的栅格区域，即 5 条水平车道，10 条垂直车道，所有 AGV 服务 2 台岸桥，4 个堆场支架，所有箱任务平均分配给各 AGV。各 AGV 匀速行驶，初始位置均匀分布在中央缓冲车道，各 AGV 完成任务后回到初始位置。

仿真流程：

- 1) 初始化地图，生成 AGV 与岸桥与堆场交接位置
- 2) 生成随机任务，平均分配给各 AGV
- 3) 启动每辆 AGV 协程：
  - a) 设置初始位置为当前位置
  - b) 依次前往箱任务交接位置：
    - i) 规划路径并保存路径
    - ii) 重复直至到达规划路径终点
  - 判断下一栅格冲突类型：

无需重新规划路径则抢占栅格并前往栅格，否则重新规划路径并替换原路径相应路段

iii) 到达交接位置等待完成交接

4) 等待所有 AGV 协程完成

试验不同数量 AGV 执行 5 个箱任务，得到如图 3 最终完成花费时间趋势：

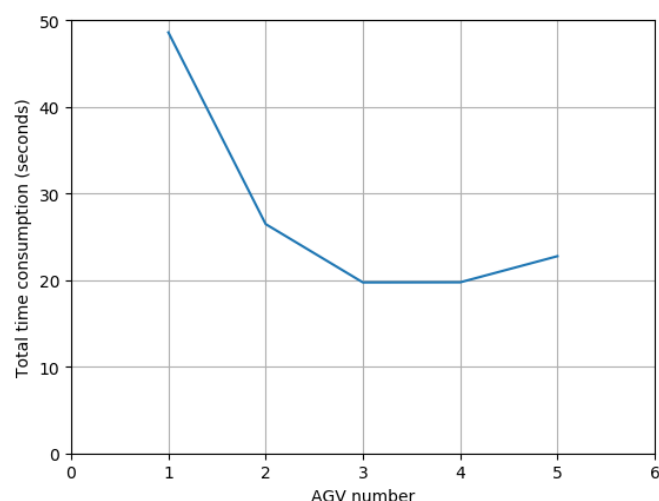


图 3 不同数量 AGV 完成 5 个箱任务时间花费

当 AGV 数量大于 3 时，开始出现路径冲突，同样伴随着 AGV 等待时间的增加，导致整体运输效率下降，但本文的策略依然有效。

## 4. 改进方向

对栅格的抢占是对栅格资源的盲目分配，各箱任务现实中可能存在优先次序，在交通控制过程中应该考虑特定箱任务优先获得栅格资源。

路径规划方式较为粗暴，在极端情况下可能出现多车死锁，可以考虑潜在冲突区域预测，A\*算法中对潜在冲突区域栅格 h 值加入惩罚量。

## 参考文献

- [1]. Robotics; New Robotics Study Findings Reported from Beijing Jiaotong University (Yard Crane and Agv Scheduling In Automated Container Terminal: a Multi-robot Task Allocation Framework)[J]. Journal of Robotics & Machine Learning,2020.
- [2]曾庆成,李明泽,薛广顺.考虑拥堵因素的自动化码头多 AGV 无冲突动态路径规划模型[J].大连海事大学学报,2019,45(04):35-44.
- [3]刘耀徽,李永翠,杨杰敏,任荣升,鲁彦汝.自动化集装箱码头水平运输设备的路径规划[J].水运工程,2019(07):13-16+22.
- [4]Zhenming Yang,Chenghao Li,Qianchuan Zhao. Dynamic Time Estimation Based AGV Dispatching Algorithm in Automated Container Terminal[C]. 中国自动化学会控制理论专业委员会.第 37 届中国控制会议论文集 (E).中国自动化学会控制理论专业委员会:中国自动化学会控制理论专业委员会,2018:1010-1015.
- [5]李静. 基于在线学习的自动化码头 AGV 调度方法研究[D].大连理工大学,2018.
- [6]施剑烽,杨勇生.基于改进的 Dijkstra 算法 AGV 路径规划研究[J].科技视界,2016(20):111-112.
- [7]Seyed Mahdi Homayouni,Sai Hong Tang. Optimization of integrated scheduling of handling and storage operations at automated container terminals[J]. WMU Journal of Maritime Affairs,2016,15(1).
- [8]Ri Choe,Jeongmin Kim,Kwang Ryel Ryu. Online preference learning for adaptive dispatching of AGVs in an automated container terminal[J]. Applied Soft Computing,2016,38.
- [9]陶经辉,蔡寒,张晓萍.一种解决集装箱港口拖车调度的混合策略(英文)[J].运筹学学报,2009,13(03):10-22.
- [10]Panagiotis Angeloudis,Michael G.H. Bell. An uncertainty-aware AGV assignment algorithm for automated container terminals[J]. Transportation Research Part E,2009,46(3).
- [11]Kap Hwan Kim,Su Min Jeon,Kwang Ryel Ryu. Deadlock prevention for automated guided vehicles in automated container terminals[J]. OR Spectrum,2006,28(4).