

· “青岛港全自动化集装箱码头技术创新”专栏(1) ·



自动化集装箱码头水平运输设备的路径规划

刘耀徽¹, 李永翠¹, 杨杰敏¹, 任荣升², 鲁彦汝¹

(1. 青岛新前湾集装箱码头有限责任公司, 山东 青岛 266500; 2. 青岛港科技有限公司, 山东 青岛 266033)

摘要: 为保证自动化集装箱码头能够实现水平运输设备的高效自动化作业, 水平运输设备行驶路径的规划能力成为评价系统好坏的决定性因素。针对自动化集装箱码头水平运输系统如何生成最优行驶路径的问题, 从码头布局、任务划分、车道选择及路径优化等多方面进行深入探究, 提出一套自动导引车运行路径规划系统方案, 明确路径规划需要考虑的因素, 简化路径规划系统的计算逻辑, 缩短自动导引车的运行距离, 对提高水平运输效率具有重要意义。

关键词: 自动化集装箱码头; 水平运输设备; AGV; 路径规划

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2019)07-0013-04

Route planning of horizontal transportation equipment in automated container terminal

LIU Yao-hui¹, LI Yong-cui¹, YANG Jie-min¹, REN Rong-sheng², LU Yan-ru¹

(1. Qingdao New Qianwan Container Terminal Co., Ltd., Qingdao 266500, China;

2. Qingdao Port Technology Co., Ltd., Qingdao 266033, China)

Abstract: In order to ensure the efficient automation of horizontal transport equipment, the ability of the horizontal transport equipment route planning becomes the decisive factor for evaluating the system. Aiming at the problem of how to generate the optimal driving route for horizontal transport equipment in automated container terminals, we make a deep study on port layout, task partition, lane selection, route optimization and other aspects, and propose a scheme of automated guided vehicle operation route planning system. This system clarifies the factors to be considered in route planning, simplifies the calculation logic of path planning system, shortens the running distance of automated guided vehicle, and has important significance for improving horizontal transportation efficiency.

Keywords: automated container terminal; horizontal transportation equipment; automated guided vehicle (AGV); route planning

码头自动化作为港口行业未来的发展方向, 不仅需要先进的自动化技术助力, 同时也需要软件技术的强力支持。水平运输系统作为自动化码头设备控制系统重要的子系统之一, 在接收生产任务后结合水平运输设备相关信息生成最优行驶路线, 调派水平运输设备执行作业任务。水平运输设备主要负责码头前沿和堆场之间的集装箱运输工作^[1]。目前, 绝大多数自动化集装箱码头均采用自动导引车 (automated guided vehicle, AGV)

作为水平运输工具^[2]。合理的路径规划方案能够确保 AGV 顺畅行驶并缩短行驶距离, 使其在生产过程中快速周转, 从而提高 AGV 作业效率, 不仅有助于降低岸桥和 AGV 数量配比、节省设备一次性投资和后续维修保养开销, 而且有利于降低能源消耗、提升码头生产效益^[3]。目前国内外相关文献仅提及 AGV 路径规划具体算法理论, 未能结合码头实际场地布局、AGV 设备性能及特殊作业工况等因素对其进行简化和优化, 本文将针对

收稿日期: 2019-02-27

作者简介: 刘耀徽 (1993—), 男, 工程师, 从事集装箱码头信息系统、工艺流程、自动化与智能化技术研究。

AGV 控制系统的路径规划问题进行综合分析和探讨, 提出一套切实可行的 AGV 路径规划优化方案。

1 码头水平运输区域整体布局

AGV 路径规划与码头平面布局规划密切相关, 青岛港自动化集装箱码头采用的整体布局方案为: 岸桥后大梁下布置 7 条平行于岸线方向的高速车道, 其中 3 条为通行车道, 仅用于 AGV 穿越通行, 其余 4 条为岸桥与 AGV 进行集装箱交互作业

车道, 每条车道宽 4 m。车道后方为水平缓冲区, 垂直于岸线布局, 数量同泊位宽度成正比, 每条车道宽约 8 m, 主要用于停放等待作业的 AGV。水平缓冲区后方是 6 条高速行驶车道, 平行于岸线方向布置, 用于 AGV 在岸边和堆场之间高速运输集装箱。高速车道后方是堆场海侧交互区, 每个海侧交互区有 5 条垂直于岸线方向的车道, 每条车道宽约 5 m, 主要用于 AGV 和堆场设备进行集装箱收发交互作业, 如图 1 所示。



图1 水平运输区域整体布局

AGV 路径规划的基本工况为: AGV 从堆场收箱后送至岸桥, 需要经过海侧交互区、高速车道、水平缓冲区和岸桥下通行车道到达指定交互作业车道; AGV 从岸桥下收箱完成后送至堆场, 需要经过岸桥下通行车道、水平缓冲区、高速车道到达指定的海侧交互区作业车道; AGV 从堆场收箱后去另一堆场送箱需要经过海侧交互区和高速车道。

2 AGV 路径规划重点解决思路和方法

2.1 作业任务划分

通过对传统码头和自动化集装箱码头海侧区

域生产作业方式进行研究, 总结出 AGV 的作业任务类型主要分为收箱和送箱。根据 AGV 收送箱与岸桥和堆场海侧交互区的作业情况不同, 因此水平运输设备控制系统必须具备以下路径规划的功能: 1) 在任意 AGV 运行区域对 AGV 去堆场海侧交互区或岸桥交互区收箱和送箱作业进行路径规划; 2) 不考虑单、双箱起始目标箱门方向和最终目标箱门方向, 规划 AGV 最短行驶路径; 3) 综合考虑单、双箱起始目标箱门方向和最终目标箱门方向, 规划 AGV 调整箱门的路径; 4) AGV 在行驶过程中, 遇到异常情况, 需要对从当前位置到目标位置的路径进行重新规划。

通过上述 AGV 作业任务的分析,总结出 AGV 作业任务必须包括目标位置、作业类型、目标箱型、目标箱门朝向等信息,AGV 路径规划需要依据这些信息进行综合计算。因此,AGV 水平运输系统路径规划应按照以下概要流程进行设计:首先通过校验任务信息,获取任务目标位置和作业

类型,判断 AGV 空重载状态是否满足收箱或送箱条件;再结合 AGV 当前车头方向和单、双箱目标箱门方向计算 AGV 目标车头方向,综合时间、距离和交通状况等多种因素,规划 AGV 行驶路径。水平运输系统路径规划见图 2。

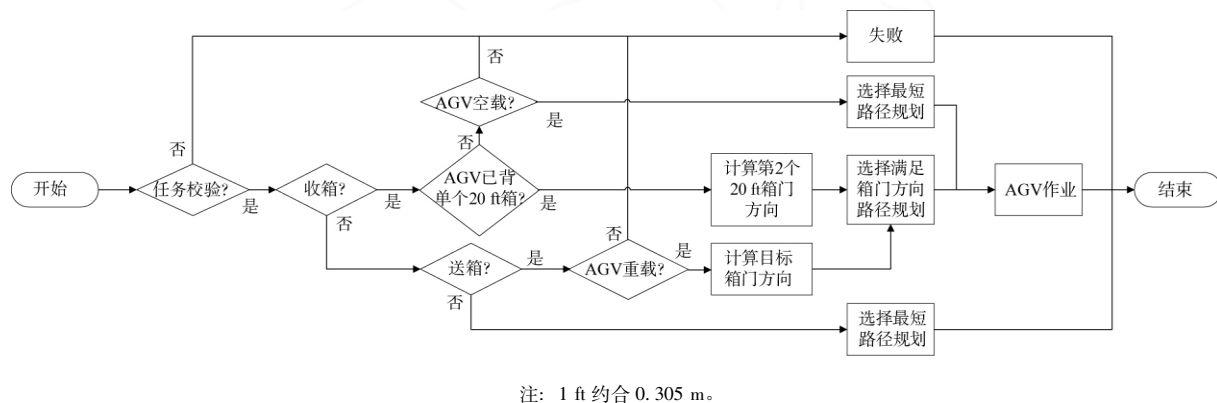


图2 水平运输系统路径规划

2.2 车道状态划分

根据自动化集装箱码头水平运输场地的布局特点,在水平运输系统中将 AGV 运行区域划分为 4 大部分:岸桥交互区、水平缓冲区、高速车道运行区和海侧交互区,系统分别对各区域的每条车道位置、行驶方向、作业属性及充电状态等信息进行定义,在系统层面将车道状态划分为空闲、申请、占用和禁用共 4 种,系统通过对车道状态的综合管理来实现 AGV 目标位置的路径规划。

当车道处于空闲状态时,系统允许 AGV 申请该车道;申请成功后,系统根据作业任务规划 AGV 的最优行驶路径,使其到达目标车道;随后系统将车道状态修改为占用;等待 AGV 离开后,车道释放变成空闲状态。在车道的 4 种状态中,空闲和占用状态的车道能被设置成禁用状态,但申请状态的车道不允许设置禁用状态;就系统层面而言,不允许 AGV 申请禁用状态的车道,也不允许该车道的 AGV 申请其他空闲车道。水平运输系统车道管理流程见图 3。

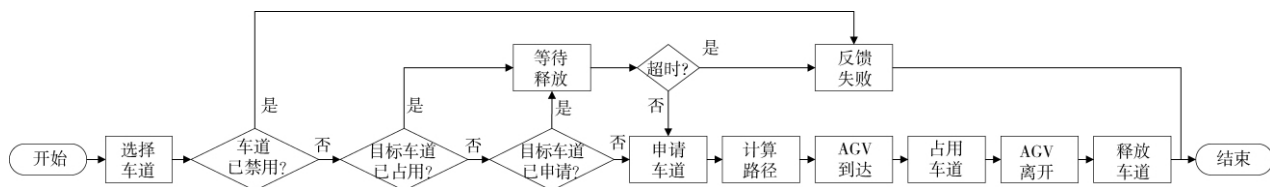


图3 水平运输系统车道管理流程

2.3 高速车道选择

在水平缓冲区和堆场海侧交互区之间有 6 条高速车道,相邻车道行驶方向相反。系统选择高速车道时,会考虑起始位置和目标位置的区域性、起始位置和目标位置的方向、高速车道当前任务

的数目等,综合考虑路径长度、运行时间和拥挤程度选择合适的高速车道生成路径。

2.4 水平缓冲区选择

选择水平缓冲区车道首先考虑的因素是岸桥大车的位置,系统根据岸桥大车位置、岸桥交互

区车流循环方向的设定、岸桥拥挤程度和 AGV 设备的转弯半径等因素, 综合计算得出 AGV 进入和驶出岸桥交互区的最佳水平缓冲区车道。可将距离岸桥中心前后一定距离多条水平缓冲区车道设置为 AGV 进、出车道, 距离的设置同岸桥下各 AGV 位置相关, 若需要转出的 AGV 相邻车道未被申请占用, 该距离可设置为 AGV 最小转弯半径; 若相邻车道存在 AGV 或已经被申请占用, 该距离的设置须考虑 AGV 间的安全避让, 设置为 AGV 最小转弯半径加 1 个 AGV 车身长度。确定第 1 个进、出车道后, 向两边各顺延 5 条车道作为缓冲通行车道, 并始终保留 1 条车道作为备用通行车道, 如图 4 所示。当出现岸桥肩并肩作业时, 被另一岸桥遮挡的进、出车道将重新选择。此种设计能够拓宽水平缓冲区进、出车道的选择范围, 保障车道的最优选择。

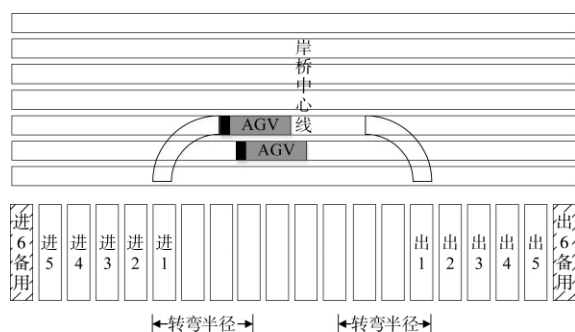


图 4 水平缓冲区选择

2.5 路径计算和拼接

2.5.1 基本原理

根据 AGV 真实行驶的时间节点建立所有车道的时隙矩阵, AGV 接收任务并获取当前起始位置和目标位置后, 开始进行路径分段计算, 分段计算涉及两个方面: 岸桥下交互区车道至水平缓冲区车道的路径计算 ($t_1 \sim t_6$) 和海侧交互区车道至水平缓冲区车道的路径计算 ($T_1 \sim T_6$)。利用上述各区域车道基本选择原则, 确定所有可能的选择组合, 计算全部组合结果的 AGV 行驶时间并进行路径拼接, 统筹考虑交通因素, 寻找最优 AGV 行驶路径, 如图 5 所示。

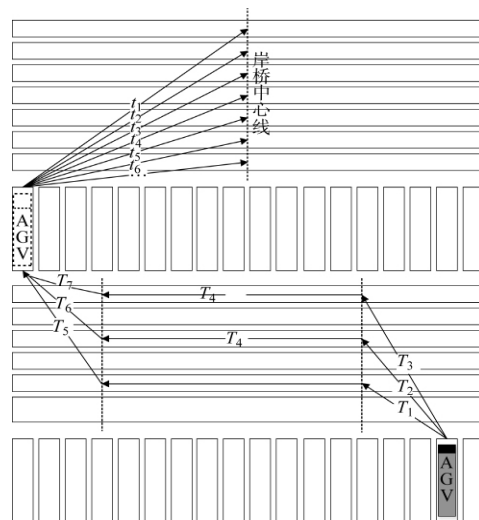


图 5 AGV 行驶时间

2.5.2 其他因素

计算路径时除考虑上述基本因素外, 往往还有以下因素直接限制 AGV 的路径规划: 1) 需要对目标位置箱门方向和起始位置箱门方向进行比较, 计算 AGV 是否需要调整箱门方向; 2) 需要对岸桥下通行车道的循环方向进行考虑, 确定 AGV 进、出交互区的位置等; 3) 需要对 AGV 的运动轨迹进行选择, 计算两个路径点距离较近时采用常规直角转弯拼接, 还是采用 U 形、S 形转弯或斜行等方式; 4) 需要对 AGV 故障、通讯丢失等异常情况进行处理, 自动重新规划路径, 防止造成交通拥堵等不良状况。

3 结论

1) 关于岸桥下高速车道的选择, 可依据作业工况采取不同策略。非岸桥肩并肩作业工况下, 路径可采用直接从进车道转弯再直行驶入作业车道的方式进行规划; 岸桥肩并肩作业工况下, 应采用由岸桥下邻近通行车道斜行转入作业车道的方式规划为最佳。

2) 关于水平缓冲区进、出车道的选择, 主要由岸桥大车位置和岸桥下 AGV 循环方向决定, 选择 AGV 能够转弯进入且满足最短调整距离的水平缓冲区车道作为第 1 条进、出车道并进行扩展, 完全可以绕开复杂的时间和长度计算直接选取有效目标车道。

(下转第 22 页)

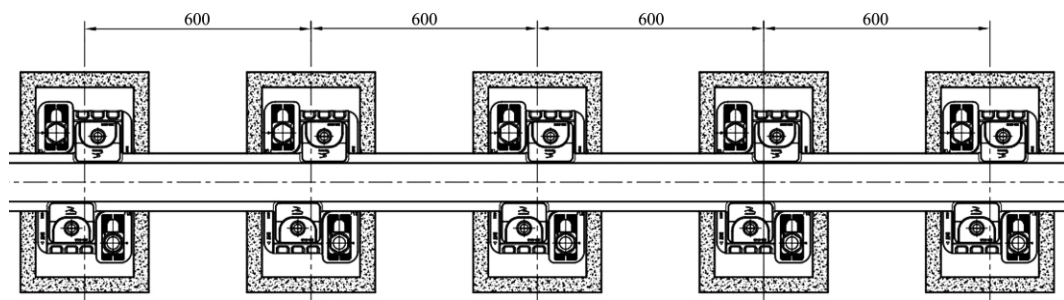


图8 轨道基础布置 (单位: mm)

6 结语

1) 综合考虑 ASC 运行可靠性以及后期使用经济性, 在轨道基础选型上选择 PHC 桩基钢筋混凝土梁结构形式, 能够有效消除不均匀沉降。

2) 通过比较 CR73 和 MRS87A 两种轨道选型, MRS87A 的刚性、承载能力、稳定性相比 CR73 有很大的优越性。

3) 考虑轨道扣件在受力、强度、锁定分析、缓冲减震等方面的性能, 最终选择压板接触面积大、侧向具有挡肩和锯齿设计、四级缓冲减振功能的扣件 a。

4) 环氧胶泥浇筑而成的轨道基座, 强度高、抗蠕变性能强、具有优异的钢材附着力、承载面积大, 能够有效地起到减震缓冲作用, 具有很好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 丁一, 张琼, 林国龙. 自动化集装箱码头岸桥-堆场作业均衡调度研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),

(上接第 16 页)

3) 关于高速车道的选择, AGV 起始位置和任务目标位置决定了高速车道的行驶方向, 可缩小车道选择范围; 高速车道上已经规划的路径条数影响着 AGV 的交通状况, 路径规划时应选择交通状况优良的车道; 非完全穿越高速车道的情况下, 应尽量减少高速车道的跨度。

4) 该路径规划方案有利于缩短 AGV 行驶距离, 节约 AGV 行驶时间, 提高 AGV 作业效率, 降低能源消耗。从系统层面能够简化 AGV 路径规划计算, 便于调整 AGV 运行轨迹, 防止交通拥堵

2018, 37(7): 106-112.

- [2] 雷晋生. 自动化轨道起重机偏斜行走侧向力分析[J]. 起重运输机械, 2016(3): 55-57.
- [3] DORNDORF U, SCHNEIDER F. Scheduling automated triple cross-over stacking cranes in a container yard[J]. OR Spectrum, 2010, 32(3): 617-632.
- [4] 王施恩, 何继红, 林浩, 等. 自动化集装箱码头堆场布置新模式[J]. 水运工程, 2016(9): 23-26+45.
- [5] GHAREHGOZLI A H, VERNOOIJ F G, ZAERPOUR N A. A simulation study of the performance of twin automated stacking cranes at a seaport container terminal [J]. European journal of operational research, 2017, 261(1): 108-128.
- [6] 刘广红, 韩时捷, 何继红, 等. 洋山四期全自动集装箱码头设计创新[J]. 水运工程, 2018(6): 189-194.
- [7] 邢树军, 贾俊梅. 浅析港口堆场轨道扣件系统的选型[J]. 港工技术, 2012, 49(4): 38-40+70.
- [8] 周珣, 童希, 邓达宁. 港口工程中大型扣件式支模架的非线性分析及应用[J]. 水道港口, 2018, 39(3): 336-340.

(本文编辑 武亚庆)

和 AGV 死锁。

参考文献:

- [1] 金祺, 罗勋杰, 韩保爽. 自动化集装箱码头水平运输系统设备选型[J]. 水运工程, 2016(9): 87-90.
- [2] 陈曙权. 厦门远海自动化码头平面布置及设备配置优化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [3] 康志敏. 集装箱自动化码头 AGV 路径优化和调度研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.

(本文编辑 王璁)