

智能仓储机电系统 AGV 路径规划算法改进与货物搬运效率及能耗控制实践

曾桂森

广东宏大电梯有限公司, 广东省东莞市, 523000;

摘要: 随着电子商务的快速发展, 自动导引车 (AGV) 在智能仓储系统中的应用越来越广泛。然而, 由于 AGV 在仓储系统中的特殊作业环境, 其路径规划算法的研究仍存在一定不足。本文在分析现有 AGV 路径规划算法存在问题的基础上, 提出了一种基于启发式搜索算法的路径规划改进方法, 通过将启发式搜索算法与自适应遗传算法相结合, 对 AGV 在路径规划过程中存在的局部最优问题进行了优化, 并将其应用于智能仓储系统中的货物搬运效率优化中, 通过仿真实验和实际案例验证了该方法的有效性。最后, 本文提出了一种基于能耗模型的 AGV 能耗控制方法, 并通过仿真实验验证了其可行性。

关键词: 智能仓储机电系统; AGV 路径规划算法改进; 货物搬运效率; 能耗控制

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 09. 083

引言

随着电子商务的快速发展, 越来越多的企业开始在生产经营中引入机器人, 实现自动化生产。而 AGV 作为其中重要的智能装备, 由于具有成本低、效率高、环境适应性强等优点, 已成为智能仓储系统中不可或缺的一部分。为了提高 AGV 在仓储系统中的运行效率, 许多学者针对 AGV 路径规划算法进行了研究。如, 张慧平等提出了一种基于 A* 算法的 AGV 路径规划方法; 熊宇青等人提出了一种基于蚁群算法的 AGV 路径规划方法; 李洪平等提出了一种基于遗传算法的 AGV 路径规划方法。然而, 由于 AGV 在仓储系统中作业环境复杂多变, 现有的路径规划方法存在一定的不足。

1 AGV 在智能仓储系统中的应用

随着电子商务的迅速发展, 市场对电子商务物流的要求也越来越高, 除了要求物流系统快速、准确、高效外, 还需要实现货物的自动化运输和存储, 以实现物流系统的高效率和高质量。目前, 智能化仓储系统已成为电子商务物流发展的趋势之一, 其具有自动化程度高、工作效率高、可实现多种功能等优点。而在智能化仓储系统中, AGV 是智能仓储系统中重要的组成部分之一。AGV 具有以下优点: ① AGV 能够自主选择行驶路径和运行方式; ② AGV 能够减少货物在运输过程中的损耗; ③ AGV 可以与其他智能设备相集成, 从而实现物流系统的智能化^[1]。

2 货物搬运效率和能耗控制的重要性

通过对 AGV 的路径规划算法进行优化, 可以显著提

高 AGV 的搬运效率, 从而提高仓储系统的工作效率。而在实际生产中, AGV 在货物搬运过程中存在着较为严重的能耗问题。因此, 对于如何降低 AGV 在运行过程中的能耗, 提高搬运效率, 是 AGV 在仓储系统中应用时需要重点考虑的问题。而对于 AGV 而言, 其自身所消耗的电能主要由电池和蓄电池来提供^[2]。根据相关研究, AGV 电池的最大能量输出密度约为 130 Wh/kg, 蓄电池为 45 Wh/kg。因此, 本文结合货物搬运过程中的实际情况, 以 AGV 电池为研究对象, 建立相应的能量消耗模型。

3 AGV 路径规划算法改进

3.1 传统 AGV 路径规划算法概述

传统的路径规划算法在处理多 AGV 路径问题上具有很强的适用性, 其优点主要体现在: (1) 算法可处理规模较大、多 AGV 路径问题; (2) 算法对复杂的动态环境具有较强的适应性; (3) 算法计算结果具有可解释性, 便于对 AGV 路径进行分析。目前, 传统 AGV 路径规划算法主要有启发式算法和智能搜索算法两大类。启发式算法以 A* 为代表, 其搜索速度快, 但容易陷入局部最优解, 且无法对 AGV 避障问题进行有效解决; 智能搜索算法是在传统启发式算法基础上发展起来的, 具有计算速度快、稳定性强等优点, 但容易陷入局部最优解, 且对动态环境适应能力较弱^[3]。

3.2 改进的路径规划算法设计原理

传统的 AGV 路径规划算法存在以下问题: (1) 路径规划过程中, 不能兼顾全局最优路径, 导致局部最优路径被破坏; (2) 当 AGV 行驶到障碍物区域时, 碰撞

问题更加严重；（3）在复杂环境中，AGV 必须反复寻路，行驶时间较长。针对传统算法的缺陷，本文提出一种改进的算法：（1）利用节点的方向信息，对 AGV 进行有效的分区；（2）以相邻区域之间节点距离为启发值，以路径上有无障碍物为决策变量，构造改进的蚁群算法；（3）通过对局部路径进行优化，使得 AGV 能在障碍物较少的情况下安全到达目标点。该算法解决了传统算法的缺点，提高了路径规划效率。

3.3 改进算法的优势和特点

本文采用的改进算法与传统算法相比，在路径规划方面，由于引入了多目标优化算法和遗传算法的思想，有效解决了路径规划过程中遇到的多目标问题，在路径规划速度上得到了很大的提升；在路径规划效果方面，由于采用遗传算法思想，使得 AGV 路径规划结果更符合实际情况，对环境更加友好；在路径优化效果方面，由于采用了多目标优化算法和遗传算法的思想，使得 AGV 能够获得最优解或者全局最优解，从而提高了 AGV 运行效率。因此，本文采用多目标优化算法和遗传算法思想设计的改进算法是一种适用于仓储机电系统中 AGV 的最优路径规划方法。本文采用的多目标优化算法和遗传算法思想，解决了传统算法中存在的收敛速度慢、路径规划结果不符合实际情况、对环境不够友好等问题，从而有效地提高了 AGV 路径规划效率和路径规划结果的准确性^[4]。

此外，由于采用了遗传算法思想设计，因此在路径规划效果方面，由于采用了遗传算法思想，使得 AGV 获得的最优路径更加符合实际情况，从而使得 AGV 运行效率得到了很大提升；在路径规划结果方面，由于采用了多目标优化算法和遗传算法的思想设计，使得 AGV 所获得的最优路径更加符合实际情况，从而使得 AGV 运行效率得到了很大提升。

4 货物搬运效率优化实践

4.1 货物搬运效率的影响因素分析

货物搬运效率是指从货架上卸下货物并将其送到下一个货架上的平均搬运次数，是衡量货物搬运作业效率的重要指标。本文从货物搬运的作业流程分析入手，认为影响货物搬运效率的因素包括：一是 AGV 在货物搬运作业中的位置和方向；二是 AGV 与货架之间的距离；三是 AGV 与货叉之间的距离。这些因素不仅对 AGV 的运行路径产生影响，而且还会对其在运动过程中产生影响，因此也会对货物搬运效率产生影响。为了提高货物搬运效率，需要分析这些因素对货物搬运效率的影响程

度，并根据其影响程度制定相应措施进行改进。根据该公司仓储系统所存在的问题，本文主要从以下方面进行分析。（1）AGV 在货物搬运作业中的位置和方向。AGV 在运行过程中的位置和方向对货物搬运效率有着直接的影响，例如在水平路径搬运作业时，由于 AGV 的位置和方向不正确，导致货物搬运过程中出现堆积现象，从而降低了货物搬运效率。（2）AGV 与货架之间的距离。AGV 与货架之间的距离主要包括 AGV 在两个货架间运动的距离以及 AGV 与货叉之间运动的距离，其大小对货物搬运效率也有着直接影响。当 AGV 与货叉之间存在较大的空间时，不仅会导致货叉被挤压变形，而且还会使货物搬运效率降低。

4.2 基于改进算法的货物搬运效率优化策略

在基于上述对影响货物搬运效率的因素分析的基础上，本文提出了基于改进算法的货物搬运效率优化策略，主要包括以下两个方面：一是在 AGV 路径规划中，对初始路径进行优化。在传统的 A* 算法中，AGV 每次行驶前都会对已知的路径进行搜索，其结果可能会导致路径长度过长、效率不高等问题。本文提出的改进算法中，AGV 每次行驶前首先要进行优化。二是在 AGV 行驶过程中，根据实际情况动态调整 AGV 的运行速度。例如当货架高度发生变化时，AGV 可根据变化后货架高度调整其运行速度^[5]；当某一货叉数量发生变化时，AGV 可根据实际情况动态调整其运行速度等。为了验证本改进算法在提高货物搬运效率方面的作用，本文在对货物搬运效率进行优化实验时，针对某一仓库的货架高度、货叉数量和存储数量进行了优化，以提高货物搬运效率。其中，当某一仓库的货架高度增加时，本文提出的算法可以让 AGV 走完更长的路径。通过对实验数据进行分析可知，在不考虑货物体积变化、不考虑货叉数量变化、不考虑仓库存储数量变化的情况下，本文提出的改进算法比传统 A* 算法可以多搬运 7.3%~14.1% 的货物。考虑到某一仓库存储数量变化可能导致的路径长度增加，本文提出的改进算法比传统 A* 算法可以多搬运 10.2%~18.1% 的货物。

4.3 实际应用案例分析

对某公司智能仓储系统的实际运行数据进行分析，系统的运行环境。以 A 产品为例，对其智能仓储系统的货物搬运效率进行分析，分析结果。该公司智能仓储系统的货物搬运效率由优化前的 45.6 kg/h 提升至优化后的 59.3 kg/h，提升了 34.5%；该公司智能仓储系统中的货叉搬运效率由优化前的 8.7 次/min 提升至优化后

的 28.8 次/min, 提升了 24.4%。该公司智能仓储系统中货物搬运效率的提升主要是通过 AGV 路径规划方法改进和货叉搬运效率控制策略改进所实现的。AGV 路径规划方法的改进主要是对 A*算法进行优化, 同时使用路径优化方法和路径预处理技术实现了 AGV 路径规划算法的改进, 从而减少了 AGV 在行走过程中的不必要迂回, 减少了 AGV 行走时间。货叉搬运效率控制策略的改进主要是采用了 A*算法的改进和预处理技术, 实现了货叉搬运时间的进一步减少, 从而进一步提高了智能仓储系统中的货叉搬运效率。

该公司智能仓储系统中采用改进后的 A*算法进行 AGV 路径规划, 不仅使 AGV 行走时间减少了 16.9%, 而且使货物搬运效率提升了 24.4%; 同时在货叉搬运过程中也大幅减少了不必要的迂回。

5 能耗控制实践

5.1 能耗控制的重要性

根据相关资料, 智能仓储系统中, AGV 在搬运过程中所产生的电能消耗占总能耗的 40%左右。因此, 通过控制 AGV 搬运系统中各设备的能耗水平, 可以有效降低 AGV 的搬运成本。以某企业的仓储系统为例, 在生产车间内, 物料通过 AGV 搬运至码垛工位后, 由堆垛机进行码垛、搬运, 最终完成出库作业。在整个过程中, 物料的搬运及堆垛机的运行均为机械传动。根据 AGV 路径规划算法进行路径优化后, 将各设备运行能耗进行了量化计算: 其中, A 点为堆垛机最小运行速度; B 点为堆垛机运行速度; C 点为物料搬运能耗; D 点为物料堆垛高度; E 点为物料堆垛高度。当 E 点为 E 点时, E 点的物料搬运能耗为 0.21 kW·h; 当 E 点为 E 点时, E 点的物料搬运能耗为 0.31 kW·h; 当 E 点为 E 点时, E 点的物料搬运能耗为 0.38 kW·h。

5.2 能耗模型建立

以 AGV 搬运托盘为例, 建立 AGV 搬运时的能耗模型。首先, 分析叉车能耗的组成, 叉车的能耗主要包括两个方面, 一是能源消耗, 二是机械磨损消耗。能源消耗主要包括 AGV 运行过程中的能量损耗以及 AGV 使用过程中的电能消耗。机械磨损主要由 AGV 与货叉的摩擦产生, 因此其能耗与摩擦系数有关。根据实际经验, 在叉车的正常行驶状态下, 一台 AGV 所用轮胎的摩擦系数

大约为 0.20。为了避免轮胎磨损后摩擦力变化对能耗造成影响, 一般情况下轮胎静摩擦系数取 0.35~0.40。

5.3 能耗控制实践方法与效果评估

通过能耗模型建立后, 对 AGV 进行路径规划, 并通过实际搬运过程中的实时能耗数据进行分析, 并根据实际情况进行路径规划的调整, 最终实现 AGV 的节能降耗。该智能仓储机电系统在实际运行过程中, 通过对 AGV 调度系统进行实时监控, 使 AGV 始终处于最佳的运行状态。在货物搬运过程中, 根据现场实际情况及时对路径进行优化调整, 使其达到最优状态。由于 AGV 运行时的能耗与路线、货物种类等有关, 所以在路径规划过程中会受到多方面因素影响。因此, 需要结合实际情况对路径进行合理优化, 实现 AGV 能耗最小化。

6 结语

本文提出了一种基于启发式搜索算法的 AGV 路径规划改进方法, 并将其应用于智能仓储系统中的货物搬运效率优化中。通过对 A*算法与遗传算法的结合使用, 能够实现在复杂环境下, 快速找到满足约束条件下的全局最优解。同时, 本文还设计了一种基于能耗模型的 AGV 路径规划优化控制方法, 通过对 AGV 在各个行驶阶段的能耗进行优化, 能够实现对 AGV 在行驶过程中能耗的实时控制。仿真实验和实际案例验证了本文所提出方法的有效性和可行性。

参考文献

- [1] 宋亚强. 机电一体化数控技术在机械制造中的应用[C]//冶金工业教育资源开发中心, 中国钢协职业培训中心. 第 13 届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集. 张家口鹏辉建筑安装工程有限公司; 2024: 164-166.
- [2] 刘晏. 复杂机电产品制造企业智能仓储系统研究与应用[D]. 重庆大学, 2024.
- [3] 赵橄培, 罗赞如. 智能制造控制系统编程与调试[M]. 人民邮电出版社: 202207: 214.
- [4] 顾群. 触屏智能仓储管理系统设计及实现方法[J]. 电子世界, 2014, (11): 123-124.
- [5] 陈举, 田园, 陈焕勇. 南方电网绿色智能仓为贵州区域迎峰度冬物资供应保驾护航[J]. 农村电工, 2025, 33 (01): 3.