

AGV 在物流分拣系统中的应用

王晓琳¹ 闫芳园¹ 刘芬²

(1. 邯郸学院, 河北 邯郸 056005; 2. 红塔集团大理卷烟厂, 云南 大理 671019)

摘要: 本文基于 AGV 分拣系统的工作特点, 从 AGV 的作业流程、路径规划、避障分析以及分拣系统储位布局优化等方面进行研究, 并以 GQ 公司为案例背景, 通过 Enterprise Dynamics 系统仿真平台分析企业 AGV 分拣系统的工作效率, 最终实现提高企业分拣效率的目标。

关键词: AGV; 物流分拣系统; 路径规划; 储位布局; 系统仿真

DOI:10.12323/j.issn.1673-0542.2022.12.007

1 AGV 运行环境描述

自动导引运输车 (Automated Guided Vehicle, AGV) 路径规划的目标是找出最优路径, 而最优路径往往并非最短路径, 需要考虑 AGV 运行转弯、运行路径的平滑度等因素。为实现 AGV 路径规划方法的应用, 要对 AGV 的运行环境作出如下假设:

(1) AGV 在二维有限空间内运行;

(2) AGV 运行环境中的障碍物数量已知, 并且位置确定, 同时忽略其高度和方向;

(3) AGV 工作时匀速运行, 同时忽略 AGV 的启动、转向、制动、升降等操作因素;

(4) 将 AGV 视为质点, 并以其实际外观尺寸为基准, 适当扩大障碍物所在范围。

2 AGV 作业流程描述

假设运行环境中有 M 项任务, N 个人库口, S 个 AGV 设备, H 个栅格口。其中, 不同的栅格入口代表不同的目的地, M 项任务可随机到达不同的入口处。在运行过程中, 系统根

据各入库口任务的完成情况, 随机将 M 项任务平均分配给 N 个人库口, 同时停放在设备暂存区的 AGV 平均分配给 N 个人库口, 在入库口处, 系统自动识别任务信息, 并将任务所对应的栅格口位置发送给 AGV, AGV 收到指令后将货物送到指定位置。完成任务的 AGV 可根据任务分配规则, 返回指定的入库口处继续进行下一项任务, 直到所有的分拣任务全部完成, AGV 则可以返回设备暂存区或充电区进行充电^[1]。

3 AGV 路径规划模型构建与求解

3.1 模型构建

3.1.1 模型假设

某台 AGV 在某运行节点的载入信息集合为 R , 其中 R 为该运行节点的属性值, 且该集合包含 $\{st, lt, no\}$ 三个元素, 这三个元素分别代表 AGV 运行至该节点的时间、离开该节点的时间和 AGV 的属性代码。假设节点 i 上的第 j 条载入信息为 $R_j^i, st, R_j^i, lt, R_j^i, no$, 那么, 在 AGV 路径规划的过程中, 当分配该节点给 AGV 时, 该

节点上的载入信息表示该节点该时间段内本台 AGV 不可用; 当 AGV 离开该节点时, 则该节点上的相关载入信息随之清除, 同时节点释放, 其他 AGV 可在可用时间段内经过该节点^[2]。

3.1.2 建立目标函数

在物流分拣系统中, AGV 路径规划问题的本质为求解自动导引小车从起点达到目标点的最短时间线。因此, AGV 的路径规划问题即为 AGV 运行时间求解的问题。现假设 AGV 运行过程中经历的某一节点为 x , 运行的目标节点为 t , 根据启发式搜索算法, 建立如下目标函数:

$$f(x) = g(x) + h(x) \quad (1)$$

其中, $g(x)$ 表示 AGV 到达节点 x 的最早时间值; $h(x)$ 表示 AGV 从节点 x 到达目标节点 t 的估计时间。

$g(x)$ 的计算方法分为如下两种情况。

①假设 AGV 从起始节点到达目标节点的过程中, 经历的两个节点分别为 m 和 n , 且节点 m 到达节点 n 的路径通畅且不存在潜在障碍物, 那么, AGV 从节点 m 到达节点 n 的时间可用以下公式表示:

$$V_{mn}=g(m)+t_m+t_{mn} \quad (2)$$

其中, t_m 表示 AGV 占用节点 m 的时间, t_{mn} 表示 AGV 从节点 m 到达节点 n 所用的时间。

若 $R_1^n \cdot st > V_{mn}$, 则 $g(n)=V_{mn}$, 否则搜索其余节点属性值。假设 $T=\max\{R_j^n \cdot lt, V_{mn}\}$, 若 T 值满足条件 $t_{mn} < R_{j+1}^n \cdot st - T$, 那么 $g(m)=T$ 。

②假设 AGV 从节点 m 到达节点 n 的路径存在障碍物, 则通过计算机系统判断, 若判定 $g(m)=\infty$, 则表示该路径无法通行。

$h(x)$ 的计算方法:

$$h(x)=\frac{\sqrt{(X_g-X_p)^2+(Y_g-Y_p)^2}}{v} \quad (3)$$

其中, (X_p, Y_p) 和 (X_g, Y_g) 分别表示节点 m 与节点 n 的位置坐标点, v 表示 AGV 的运行速度。

3.2 模型求解

设 W 为待通过节点集合, K 为已通过节点集合, w 代表始发节点, t 代表目标节点, 那么, 路径规划模型求解的具体过程如下^[3]。

步骤 1: 路径规划开始, 首先对 K 进行初始化, 得到 $W=\{w\}$, $K=\varnothing$, 根据目标函数式, 可得到 $f(w)$ 和 $h(w)$ 。

步骤 2: 分析 W , 若 W 不是空集则继续步骤 3, 若是空集则转步骤 9。

步骤 3: 找出 W 中令 f 值最小的节点 i , 并将 i 节点从集合 W 转入集合 K 中。

步骤 4: 分析节点 i , 若节点 i 不是目标节点, 继续步骤 5, 否则转步骤 8。

步骤 5: 找出与节点 i 相连的节点 j 并对其进行分析, 若节点 j 包含在 W 集合中, 则继续步骤 6, 否则转步骤 7。

步骤 6: 计算上述节点 j 的 g 值, 同时确定令 g 值最小的节点, 并将该节点的 f, g, h 值替换旧值, 转入步骤 2。

步骤 7: 将节点 j 转移到 W 集合中, 此时节点 j 成为节点 i 的子节点, 计算

节点 j 的 f, g, h 值, 转入步骤 2。

步骤 8: 完成节点 w 到节点 t 的路径规划。

步骤 9: 节点 w 到节点 t 的路径不存在。

4 AGV 运行路径避障分析

在物流分拣系统中, AGV 路径规划的最终目标是实现自动导引小车运行时间最短, 以及多台 AGV 间运行路径不冲突。基于此, 本文根据前面构建的 AGV 路径规划模型, 采用预测方法对多台 AGV 的运行路径进行冲突避障分析^[4], 具体分析过程如下。

(1) 选取任务指令中的第一项任务, 运用路径规划模型求解过程开展路径规划任务, 并进行时间窗登记, 载入 AGV 运行节点的信息, 即表示该节点该时间段内本台 AGV 不可用, 当 AGV 离开该节点时, 则该节点上的相关载入信息随之清除, 同时节点释放, 其他 AGV 可在可用时间段内经过该节点。

(2) 选取任务指令中的第二项任务, 分配可执行任务的自动导引小车并对其进行路径规划, 根据建立的目标函数计算出 AGV 的路径时间窗。

(3) 依次将执行任务的 AGV 路径时间加入现有时间窗, 若 AGV 的路径时间窗存在重叠, 则选择提前或推后时间窗的方式寻求空闲时间段载入 AGV 运行节点信息。

(4) 根据以上规则, 将任务指令中其他 AGV 进行时间窗分配并载入运行节点信息, 直至任务指令中的 AGV 全部被分配运行路径, 完成路径规划, 随即结束避障分析。

5 实例分析

为验证 AGV 在物流分拣系统中的应用效果, 本文在完成 AGV 路径规划、避障分析的基础上, 以 GQ 公司为案例背景, 收集该企业 20 天的业

务订单数据和现有 12 种商品信息 (以 I_d 表示, $d=1,2,3,\dots,12$), 并应用 EIQ 分析法对以上订单数据进行分析, 结合 ABC 分类法对企业的 12 种商品进行分类, 最终根据 EIQ-ABC 分析结果对企业分拣系统储位进行布局优化^[5]。

5.1 EIQ 分析方法

在 EIQ 分析法中, E 表示 Entry 订货件数、I 表示 Item 品项、Q 表示 Quantity 数量。该方法的具体实施过程如下:

(1) 收集资料, 获取企业的订单信息;

(2) 分析整理资料, 利用订单信息 (E)、品项数据 (I) 以及商品数量 (Q) 分析企业商品的需求特性, 为后续开展分拣系统储位优化提供依据;

(3) 统计分析, 对获取的企业原始数据进行统计并分类, 在此基础上完成 EIQ 分析;

(4) 规划应用, 应用 EIQ 分析结果结合 ABC 分类法对企业分拣系统储位进行布局优化。

根据以上 EIQ 分析结果, 对企业现有 12 种商品分别进行 EQ、EN、IQ、IK 分析, 分析结果如下。

(1) EQ 分析: 企业 20 天的订单中, 每天的订货数量较为接近, 因此可以将每天的订单按照产品的分类整理汇总并进行批量分拣, 从而提高企业分拣系统的工作效率。

(2) EN 分析: 企业每天的订单出货商品种类较为稳定, 因此可采用摘果式分拣或订单分割策略, 以订单商品种类为依据将企业订单分割为若干部分, 并将不同商品进行统一的区域分拣。

(3) IQ 分析: 根据计算的商品累计数量百分比, 采用 ABC 分类法将商品进行分组储位管理, 即 I_1, I_2, I_3, I_6 商品分为 A 类, 放置在离出货口近且易出货处, 并且储位分配空间最大; I_4, I_7, I_5, I_{12} 分为 B 类, 该类

商品的储存位置要求不高,同时能够满足最基本的储存空间即可; I_8 、 I_9 、 I_{10} 、 I_{11} 分为 C 类, 此类商品出库数量小且出库频率较低, 因此可将其放置在分拣区域相对闲置的位置, 同时储位空间配备也是适量即可。

(4) IK 分析: 此项分析结果与 IQ 分析相似, 考虑商品的出货分布较为极端, 也考虑将采用 ABC 分类法对商品进行分类, 并根据不同类别商品的特性合理地分配储位空间。

5.2 企业分拣系统储位优化结果

综合以上分析结果, 对 GQ 企业的分拣系统分拣储位进行如下调整: 将 A 类商品存放在靠近出货口、方便分拣操作的位置, 并且将至少 70% 的储位分配给 A 类商品, 从而保证充足的商品货源; 将 10% 左右的储位分配给 C 类商品, 并将该类商品放置在离出货口最远处; 其他储位空间分配给 B 类商品。

6 系统仿真与效果对比

应用 Enterprise Dynamics 系统仿真平台, 对 GQ 企业现有分拣系统以及应用 AGV 后的分拣系统分别进行仿真运行, 仿真结果分为如下两种。

6.1 企业现有分拣系统仿真结果

将企业现有分拣系统仿真模型连续运行 8 小时与 10 小时, 观察并分析各原子的运行效果, 具体如表 1 所示。

据调查, 企业一天的订单分拣量为 30,000 件左右, 企业分拣员一天的正常工作时长为 8 小时。由表 1 可以看出, 系统运行 8 小时, 分拣系统共产生 30,619 件待分拣商品(商品来源), 而分拣员 8 小时内共能完成 24,999 件商品分拣。可以看出, 分拣员工作 8 小时未能完成企业分拣系统产生的商品分拣工作量。对此, 将仿真模型继续运行至 10 小时, 这时可以看出, 分拣员此时共完成 30,469 件商品的分拣, 即符合企业一天的分拣

表 1 现有分拣系统仿真模型运行 8 小时与 10 小时结果

原子名称	作业	输入商品数(件) (8小时/10小时)	输出商品数(件) (8小时/10小时)
source	商品来源	30,620/37,040	30,619/37,040
team	分拣员	25,000/30,470	24,999/30,469
server	分拣作业	25,000/30,470	24,999/30,469

工作量。因此, 说明企业原有的分拣系统需要分拣员每天在正常工作 8 小时的基础上加班两小时左右才能完成企业一天的分拣工作量, 可以说分拣效率较低, 有待提高。

6.2 优化后企业分拣系统仿真结果

将企业优化后的分拣系统仿真模型连续运行 2 小时, 观察分析各个原子的运行效果, 具体如表 2 所示。

由表 2 可以看出, 优化后的分拣系统在 2 小时内 AGV 即完成 30,070 件(AGV 分拣三类产品完成总数之和: $8930+7440+8530+2470+2700$) 产品的分拣工作, 该工作量已符合企业

一天的订单量, 这说明优化后的 AGV 分拣系统能够高效率完成企业的订单分拣量。此外, 根据表 2, B、C 类商品的 AGV 分拣量明显低于 A 类商品的分拣量, 因此, 可做进一步调整, 尽量使每台 AGV 的分拣任务量处于平均水平, 从而避免造成资源的浪费, 全面提高企业分拣系统的工作效率。

7 结语

将 AGV 应用于企业物流分拣系统中, 在完成 AGV 路径规划、避障分析的基础上, 以企业业务信息为依据, 对企业物流分拣系统储位进行了布局优化, 最终依托 Enterprise

表 2 优化后的分拣系统仿真模型运行 2 小时结果

原子名称	作业	输入商品数 / 件	输出商品数 / 件	运行时间
Source1	A 类商品来源	24,910	24,909	2 小时
Source2	B 类商品来源	4360	4359	2 小时
Source3	C 类商品来源	810	810	2 小时
Team1	A 类商品分拣 AGV	8930	8930	2 小时
Team2	A 类商品分拣 AGV	7440	7440	2 小时
Team3	A 类商品分拣 AGV	8530	8530	2 小时
Team4	B、C 类商品分拣 AGV	2470	2470	2 小时
Team5	B、C 类商品分拣 AGV	2700	2700	2 小时
Server	订单打包	29,660	29,660	2 小时

Dynamics 系统仿真平台, 验证了 AGV 物流分拣系统运行的可行性。

参考文献

- [1] 王洪. AGV 系统在物流分拣作业中的应用研究[J]. 中国市场, 2017(17): 197-200.
- [2] 王志珍, 张涵跃. 智能小车在物流分拣系统中的应用[J]. 物流工程与管理, 2018(3):67-69.
- [3] 陈香玲, 郭鹏, 温昆, 等. 考虑充电需求和时间窗的多 AGV 调度优化建模[J]. 河北科技大学学报, 2021(4):91-100.

[4] 韩潇, 张炜昊, 刘畅, 等. 一种基于 AGV 小车的智能物流分拣系统[J]. 山东工业技术, 2018(7):115.

[5] 孙磊, 吴耀华, 张冠女. 动态 EIQ-ABC 分析在配送中心规划中的应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2017(3):81-85.

基金项目: 2021 年邯郸市科技专项计划项目“AGV 在物流自动化分拣系统中的应用研究”(21422901189)。

作者简介: 王晓琳(1988—), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 讲师。研究方向: 物流设施规划设计。