

基于 AGVs 路径规划的物流智能调度系统设计与实现

宋颖颖

(上海济光职业技术学院 经管系, 上海 201901)

摘要: 为了解决现有物流调度系统低效缓慢、容错率低的问题, 设计了基于自动导引运输车 (AGV, automated guided vehicle) 和路径规划优化算法的物流智能调度系统; 系统搭配了 AGV 的物流调度硬件, 又结合了路径规划理论, 开发了基于 Petri 网络的智能路径规划算法; 通过算法性能对比得知, 路径规划算法设计了最优调度路径, 确保了较高的准确率和工作效率; 系统测试结果显示, 基于 AGVs 路径规划的物流智能调度系统能够在各种物流环境或者库房基地完成调度任务, 很好地解决了物流企业在忙碌期的繁杂调度问题; 基于 AGVs 路径规划的物流智能调度系统提高了物流调度的自动化程度, 保证了物流调度和道路运输的效率, 有效推动了商业模式和市场规范的发展。

关键词: AGV 机器人; 路径规划; 物流智能调度系统; Petri 网络; 可达树调度算法

Design and Implementation of Logistics Intelligent Scheduling System Based on AGVs Path Planning

SONG Yingying

(Department of Economy and Management, Shanghai Jiguang Vocational and Technical College, Shanghai 201901, China)

Abstract: In order to solve the problems of inefficiency, slowness and low fault tolerance in the existing logistics scheduling system, a logistics intelligent scheduling system based on Automated Guided Vehicle (AGV) and path planning optimization algorithm is designed. The system is equipped with the AGV's logistics scheduling hardware, combined with path planning theory, and an intelligent path planning algorithm based on Petri network is developed. Through the comparison of algorithm performance, it is known that the path planning algorithm is designed by the optimal scheduling path to ensure the higher accuracy and work efficiency. The system test results show that the logistics intelligent scheduling system based on AGVs path planning can complete scheduling tasks in various logistics environments or warehouse bases, and well solve the complicated scheduling problems of logistics enterprises during busy periods. The logistics intelligent scheduling system based on AGVs path planning improves the automation degree of logistics scheduling, ensures the efficiency of logistics scheduling and road transportation, and effectively promotes the development of business models and market norms.

Keywords: AGV (automated guided vehicle); path planning; logistics intelligent scheduling system; petri network; reachable tree scheduling algorithm

0 引言

在当前电子商务和互联网技术的迅猛发展下, 世界范围内的物流、快递行业进行不同程度的优化和改造。目前物流行业希望通过大规模的升级改造, 将物流体系在时空上的收益最大化, 首当其冲的就是需要对多领域多行业的商品货物进行接受整合, 在装箱、储存、管理和配送方面对货物的需求和体量进行规范化操作^[1-4]。因此, 不同领域、不同行业的公司企业都将物流的调度进行了多方面的应用, 类似于机场、大型库房、海湾码头或者各类集装箱基地等物流调度场所并不少见。而在目前经济全球化和一体化的国际背景下, 高效率、高集成化和高自动化的智能物流调度系统就成了主要的研究对象。

电子商务和网络购物不断发展, 像“618”、“双十一”等电商狂欢节逐渐被年轻的商务群体和学生团体所青睐。在活动期间, 客户在互联网商务平台选购了自己喜欢的商品, 而店家在接受订单之后进行成千上万的物品邮寄, 最终传送到客户手中。面对大规模、大体量的商品货物, 物流企业或者各大仓库经常会面临货物堆积、配送迟缓或者商品丢失的情况, 这也就导致了客户大规模投诉或者巨大的经济赔偿等问题^[5]。而物流企业内亟需解决的问题就是如何能够将上述问题合理规范、有效预防, 降低财务和声誉上的损失。

细化来说, 物流企业或者仓库在进行货物储存或者传送给的过程中, 需要着重关注货物装卸和道路运输的各项成

收稿日期: 2021-11-03; 修回日期: 2021-12-02。

作者简介: 宋颖颖(1986-), 女, 山东菏泽人, 硕士, 讲师, 主要从事物流管理信息系统、智能控制与算法方向的研究。

引用格式: 宋颖颖. 基于 AGVs 路径规划的物流智能调度系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(4): 202-208.

本。无论是时间成本、人力成本还是资源成本，物流行业都需要建立一套低消耗、低成本的物流调度方^[6-7]。通过多方面的调研得知，在整个过程中，花费在货物装卸、道路运输中的时间竟然达到了 70% 以上，而财务方面的花销也仅仅达到了成本总额的 20%~50% 左右。也就是说，相比财务上的开销成本，时间上的消耗才是最需要解决的问题，如何能够制定出一套高效快捷、容错率高的智能物流调度系统将是最大的难题。

随着自动化技术和人工智能的快速发展和广泛应用，物流行业从最初的人力搬运发展到了自动化搬运，进而发展到了计算机人工智能技术与智能物流调度相结合的前沿科技，具有较大的行业竞争力^[8]。截止 2020 年底，我国的物流行业发展依然呈现出爆炸式的增长态势，总值达到了 22 048 亿元，而这个数字也在国家服务行业总产值占据了 19.62% 的主要地位，以此来推算未来的很长一段时间内，世界范围内的物流行业仍会持续增长。然而，尽管物流行业的发展依然迅速，可是大部分的物流企业或者仓库仍然在物流的调度方面存在很多问题，降低了企业效益，损坏了行业声誉，更是遏制了物流行业的进一步发展^[9-11]。究其原因，大部分物流企业并没有科学规范的物流调度系统，在整个布局 and 规划上存在很多漏洞，并且在国家乃至世界上日益严重的人口老龄化背景下，昂贵的人力成本和复杂的企业结构也将导致更严重的问题出现。

为了解决上述的各种问题，一种具备电磁驱动、光学导航定位功能的自由移动智能机器人——自动导引运输车 (AGV, automated guided vehicle) 出现了。AGV 具有被物流行业所需求的各项优势，除了自身的高智能化和高自动化特点之外，还能够准确定位目的地，具有较高的安全性和可靠性，一度成为了物流行业和柔性电子行业争相研究的对象^[12-13]。AGV 具有不可估量的发展前景和应用价值，能够从根本上解决物流行业效率低下、各项成本过高和规范程度低的问题，在未来的现代化物流行业内，将会以 AGV 作为智能操作核心而受到重视^[14]。

本文深入分析了目前物流行业和库房管理在调度过程中所面临的问题，充分调研了物流智能调度、AGV 路径规划和人工智能算法方面的研究成果，设计了基于 AGV 机器人和路径规划优化的智能物流调度系统。该系统将硬件和软件相结合，设计了 AGV 的物流调度硬件，又结合了路径规划理论，开发了基于 Petri 网络的路径规划算法，并且对所设计的系统进行实现和测试。本文所设计的系统很大程度上解决了物流行业内效率低、成本高和可靠性低的诸多问题，提高了生产过程中的自动化程度，有效推动了商业模式和市场规范的发展。

1 AGV 硬件结构设计

为了能够便于修改和完善 AGV 的结构框架和需求功能，同时也能使智能物流调度系统尽快地适应企业日常工作和库房日常运作，本文将通过模块化的设计思想来设计 AGV 结构，并以此实现 AGV 各项需求功能。在下位机的

功能模块方面将会以下 4 个方面着手：导航模块、定位模块、通讯模块和驱动模块。因此，本文针对 4 个模块在整体的设计思路给出了详细的说明，如图 1 所示。

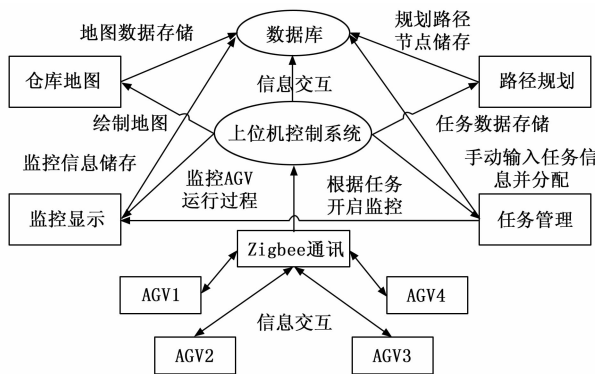


图 1 AGV 调度系统总体设计框架

1.1 AGV 导航模块

AGC 的导航方式有很多种，通常情况下会被划分为 5 种：视觉导航、电磁导航、二维码导航、磁带导航和激光导航^[15]。磁带导航的优点是能够在沿途铺设灵敏度较高的传感器，并且成本也非常低，因此本文针对 AGV 的整体需求功能和物流行业工作环境的综合考虑，采用了磁带导航的方式，如图 2 所示。本文所采用的磁带导航方式较为方便设计，磁带本身均匀分布了 8 个灵敏度很高、分布点距离为 10 mm 的霍尔传感器。在整体布局上，库房地面会在各条道路上铺设宽度均为 4 位的磁带。当 AGV 在行驶过程中捕捉到了电磁信号时，信号接收端则会记录为“0”，而如果没有检测到电磁信号，就会自动记录为“1”。AGV 在行驶过程中会不断向终端传递自己的状态信号，如果将“11000011”作为 AGV 的运动状态基准，那么 AGV 在运行过程中就会不断将自身运动状态所对应的 8 位信号传递至终端，同时会利用 PID 算法进行姿态矫正。在进行了多轮测试实验之后，本文发现磁带导航的机动性良好，在不同的环境和灯光条件下仍然能够保证准确定位，符合本文的设计要求。

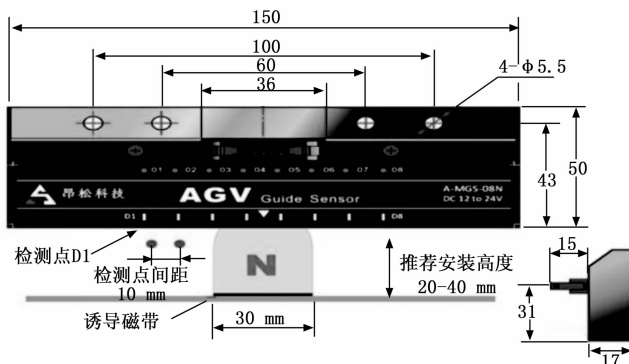


图 2 磁带导航传感器

1.2 AGV 定位模块

上文所设计的 AGV 导航模块只能使得 AGV 按照事先预定好的路径进行行驶，但是不能记录整个行驶过程的路程信息。因此，为了能够对 AGV 的路程信息进行远距离的把控和记录，本文利用无感识别技术——无线射频识别技

术 (RFID) 设计了 AGV 的定位模块^[16-17]。RFID 的工作原理简单有效, 主要包含射频部件和读写部件, 其中射频标签小巧方便, 携带了读写器的 AGV 一旦判别到设别区域内有射频标签的存在, 就能够迅速识别, 在读写器记录此时此刻 AGV 的路程信息之后, 对 AGV 下一步的路线进行预判, 并将预判记录存储在读写器内。本文在工作开展的过程中, 将射频标签设置在物流库房路径的每一条磁带下, 并且对每一个射频标签都进行了读写操作的设置。当携带了读写器的 AGV 运动至不同的射频节点处, 读写器会将识别区域覆盖范围内的所有射频标签的信号进行读写, 并将数据直接上传到终端的上位机, 以此实现路径信息的记录和 AGV 的精准定位。本文在实际操作过程中发现, AGV 的定位精度很高, 误差只有不到 5 mm, 而且识别速度很快, 几乎没有信号延迟, 这也说明了本文所设计的 AGV 定位模块完成定位任务的性能良好。本文所采用的读写装置和射频标签如图 3 所示。

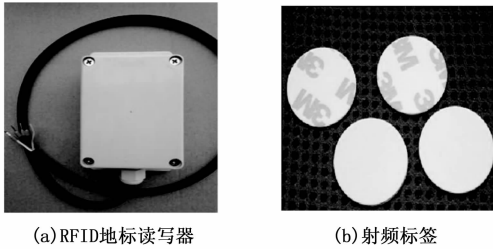


图 3 AGV 定位系统

1.3 AGV 通讯模块

为了能够对 AGV 进行实时准确地指令控制, 本文使用了 Zigbee 模块来设计通讯结构, 并依托上位机向 AGV 发送控制指令。Zigbee 模块能够从上位机传出、下位机接收实时传输十六进制的数据信号^[18], 本身具有成本消耗低、功能齐全和传输距离短等优点, 能够对 AGV 进行快速准确地指令传送和信息传递, 因此本文使用 Zigbee 进行通讯模块的设计。本文在上位机和下位机的信息传输和指令传送的过程中加入了不同符号的识别帧头, 目的就是为能够降低通讯过程中的失误和出错, 而通过实际的操作可以得到, 本文基于 Zigbee 所设计的通讯模块传输信号准确率高、传输速度快, 能够很好地完成调度系统的各项指令。本文所采用的 Zigbee 通讯模块原理如图 4 所示。

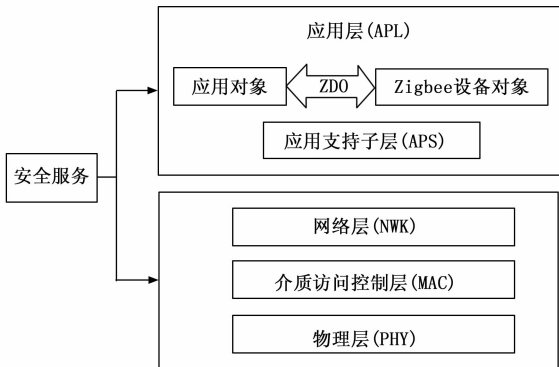


图 4 Zigbee 通讯模块原理

1.4 AGV 驱动模块

本文对 AGV 的驱动模块进行设计, 采用的是差速驱动方式, 设计的前轮为可以随时改变行动方向的万向轮, 设计的后轮是驱动轮, 搭配了 MOXA 的直流伺服电机, 减速比为 18 : 1, 轮胎半径为 24 cm。同时, 本文的驱动器是威龙的双路 12A 直流有刷电机驱动器, 并采用串口指令设置, 通过实际操作得知, 本文所设计的驱动系统反应效果非常灵敏, 操作方法简单易懂, AGV 的驱动效果很好。

最后, 本文将以上所设计的所有模块进行整合, 将硬件和软件结合到一起, 设计完成了本文的 AGV 结构, 原理如图 5 所示。并且在之后的验证工作中发现, 本文所设计的 AGV 结构能够较好地完成物流行业或库房的调度任务。

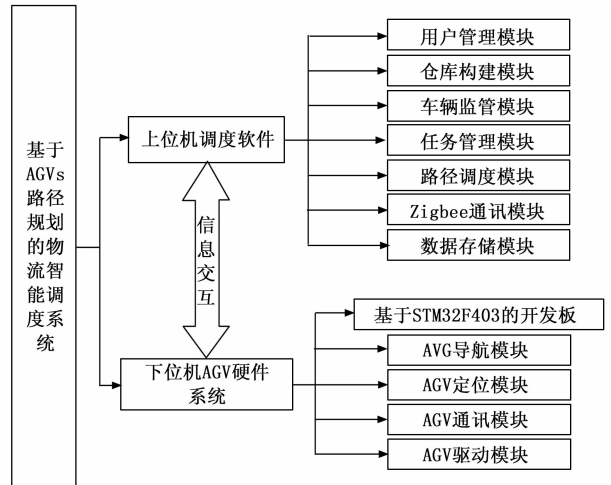


图 5 磁导引小车

2 基于 Petri 网络的智能路径规划算法

2.1 物流仓库的 Petri 网模型构建

Petri 网的提出是作为一种并发、分布式的建模工具存在的, 目前在规划、管理、网络和通讯等方面最为常见^[19]。本文为了能够对不同环境、不同领域下的物流行业或库房仓库进行调度过程中的多路径规划, 并且将整体的动态特征进行描述, 实现网络资源和实体资源的转移, 并且最终实现智能物流调度系统的模型构建和性能优化。

为了能够对物流企业的调度任务进行全面地描述 (图 6), 本文在基于时间 Petri 网络模型的初始便定义了六元组 $TPN = \{P, T, \omega, \theta, M_k, r_k\}$, 六元组的各项参数分别表示为: 物流企业目前的资源状态——定义为有限库所集 $P = \{p_1, \dots, p_n\}$, 企业目前所消耗的资源 and 正在参与的工作状态——定义为有限变迁集 $T = \{t_1, \dots, t_n\}$, 某一时刻 k 所对应的企业运行状态是通过库所集和变迁集之间的关联矩阵实现的, 也就是 $\omega: (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow Z^+$, 并且在此基础上, 将库所集和变迁集的两个关键矩阵定义为 A^+ 和 A^- , 即: $(A^+)_{ji} = \omega(t_j, p_i)$, $(A^-)_{ji} = \omega(p_j, t_i)$, 而 Petri 网络模型在实际过程中的触发时间则用 θ 表示, 在某一时刻 k 智能调度系统数据库的状态变化则会用来表示, 最终设定 $r_k: (t_1, \dots, t_n) \rightarrow t_i \in \{0, 1\}$ 为一组 bool 类型变量组成的向量, 其中, “变迁触发”所对应的变迁值为“1”, 如果对应

“0” 则意味着不触发。

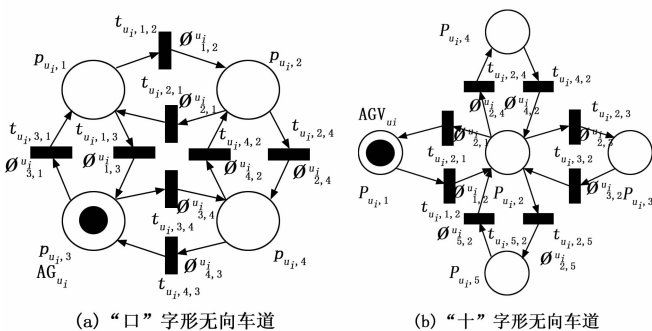


图 6 物流调度仓库 Petri 网络模型

本文所设计的 Petri 网络模型不同于其他的普通模型，在设计之初便加入了物流资源的限制矩阵 P^r ，而 $P^r (Type(P^r) = 1)$ 触发条件也相应地变为 $M(P^r) - I(P^r) + O(P^r) \geq 0 (P^r \in P)$ 。在资源限制矩阵 P^r 的加入下，触发时所引起的令牌变化也会出现不同的状态，也就是说，令牌数量的增加或者减少与 P^r 中的令牌数量变化成对应关系，分别由输入变迁和输出变迁所控制。本文加入资源闲置矩阵的目的是为了将 Petri 网络整体并发运行能力大幅度增加，而之后的效果也能说明本文的方法是正确有效的。该做法能够有效防止 AGV 在物流企业实际调度过程中出现的路径冲突或者 AGV 死锁的问题，将物流仓库的多方面安全隐患降到了最低，避免了道路资源、时间资源和人力成本的浪费。图 7 为图 6 (a) 在加入了资源限制矩阵之后的 Petri 网络模型。

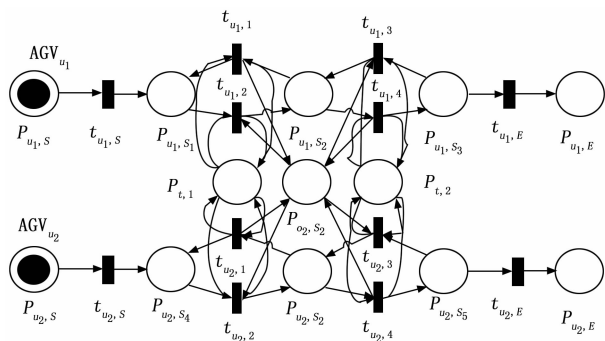


图 7 双 AGV 位于十字型仓库 Petri 网示意图

2.2 基于 Petri 可达树的智能路径规划算法

从上文对 Petri 网络的描述中可以看出，只要存在变迁，就会对网络中的令牌数量产生增加或者减少的影响，这种性质被称为“可达性”。如果 Petri 网络正处在一个初始状态 M_0 ，在 r_1, r_2, \dots, r_n 触发序列的作用下将 M_0 转化为 M_n ，则 M_n 是从 M_0 可达的。本文在此将 Petri 网可达树引入到本文所设计的路径规划算法和智能物流调度系统中，目的是为了将 AGV 在起始节点和终止节点之间的任意路径都能够网络模型中体现出来，以此实现视觉可视化。本文将可达树的树根设置为初始状态 M_0 ，而 M_0 通过一系列的变迁则会将不同的路径或者工作状态作为可达树的各个节点，库所集和变迁集之间的关系就是通过不同节点之间

的连线来确定的。算法如下：

本文在设置可达树树根 M_0 的同时，会对 new 进行特殊标识，本操作设置为算法第一步；当可达树的所有状态量均转化为 old 之后，可达树则会正式成立，此时代表算法正式结束，本操作设置为算法第二步；算法第三步是，如果计算机自动检测到仍然有剩余的 new 存在，则会重复进行以下操作：

- 1) 选择标识为 new 的状态量 M ；
- 2) 如果在可达树算法构建的过程中存在于 M 相同的标识，也就是说找到了重复项，new 会直接转化为 old，并且自动转移至另一个 new；
- 3) 如果检测到此时已经检测不到存在的变迁 M 标识， M 会自动将状态转化为 dead-end，并且直接跳转到算法步骤的第二步；

本文在设计算法的过程中进行上述操作，目的是为了能够解决传统可达树算法所存在的计算复杂度高、整体性能较低的问题，大幅度提高物流智能调度系统的运算时间，降低物流企业的时间成本，而本文所设计的可达树能够对不同物流企业的库房进行不同节点的路径规划。在上述算法中，本文还在传统可达树算法中加入了 M_f 作为不同目标节点的标记数值，并且在可达树的构建过程中不断与 new 节点的状态量 M 值进行对比，如果二者相等，则意味着可达树的构建过程停止，这也大大减少了计算机地图路径的数量，降低了资源成本，极大地提高了计算效率。

2.3 智能路径规划算法验证对比

对于一个高效、准确的调度系统来说，AGV 的调度路径是效率和准确度的关键所在。为了能够找到路径规划最合理的智能算法，本文对国内外主流的路径规划算法进行验证，并与本文所设计的算法在 MATLAB 中进行结果分析对比，将相同环境、相同调度任务的不同算法进行了路径规划结果和 AGV 运动时间的对比分析^[20-22]。最终的智能路径规划算法对比结果如图 8 所示。具体的实验数据如表 1 所示，分别描述了不同算法在路径长度、执行时间和迭代步数上的差异。

表 1 各路径规划算法实验结果

路径规划算法	迭代次数 n	运算时间 t	路径长度/m
A * 算法	1	3.96	914
蚁群算法	200	7.33	868
人工势场算法	1	5.19	797
可达树算法	10	4.27	801

从图 8 和表 1 结果可以看出，在调度路径的规划方面，4 种算法的构造结果虽然不同，但是仍然能够得到较为理想的调度结果。但是从表格中的各项数据分析得知，A * 算法的迭代步数和运算时间 (3.96) 是最少的，但是却得到了最长的路径 (914 m)；人工势场算法的计算过程较为复杂，需要在过程中对 AGV 的目标节点和初始节点进行不断地迭代计算，虽然路径长度 (797 m) 较低，但是消耗的时间较高 (5.19 s)，在调度效率较低的同时也提高了整体计算的复杂

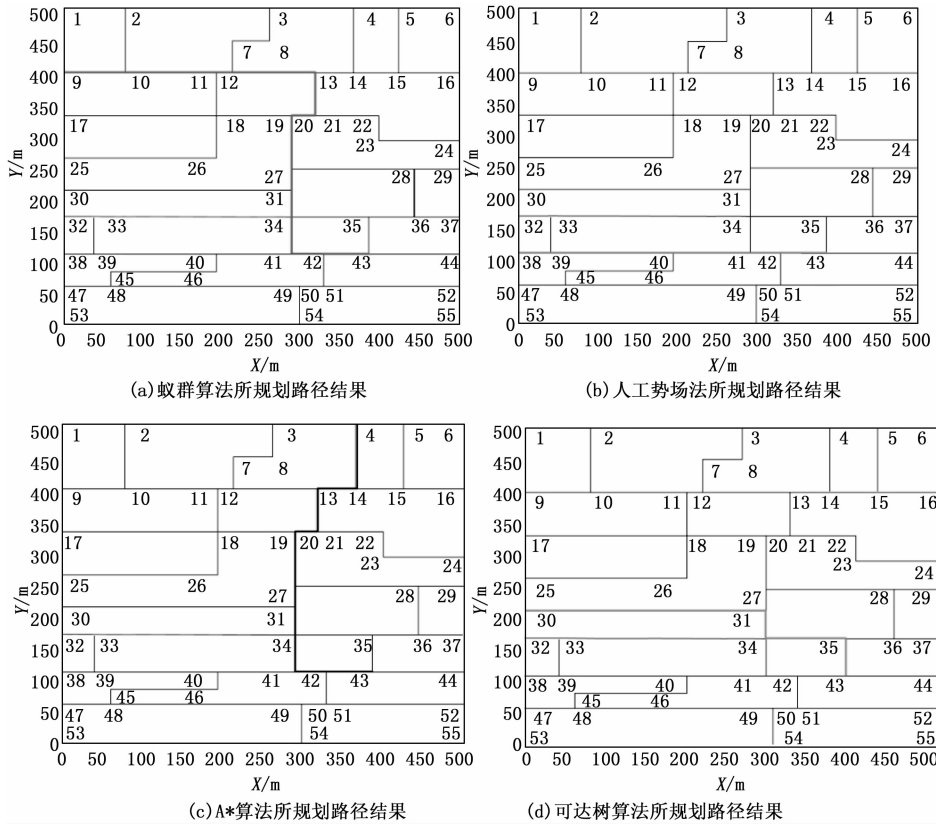


图 8 不同路径规划算法的结果对比

程度；蚁群算法是目前应用最为广泛的方法，迭代步数达到了 200，并且消耗了最长的时间（7.33 s），路径长度也不理想（868 m），整体调度效率最低；而本文基于 Petri 网络所设计的可达树算法路径的长度较低（801 m），迭代步数只需要 10 次，运算时间也比较少（4.27 s），整体的调度效率是最准确、最高效的。并且可达树算法能够迅速对地图网络中的冗余节点进行选择性的淘汰，并针对初始节点和目标节点之间的距离进行最佳调度路径的规划。因此，本文基于 Petri 网络所设计的智能路径规划算法能够保证较高的准确率和工作效率，在物流智能调度系统中更好地应用。

3 基于 AGVs 的物流智能调度系统实现

在经过了 AGV 硬件和软件的设计之后，并基于 Petri 网络设计了路径规划算法，最终实现了本文所设计的物流智能调度系统，打开系统的初始界面如图 9 所示。主界面所包含的内容共涉及到 5 个部分，其中包括 AGV 车辆工作状态管理、地图智能路径规划、AGV 通讯管理、AGV 工作状态和信息交互管理。物流智能调度系统将 5 个模块进行整合，在进行协同运作的同时共同完成物流仓库的调度工作任务。

3.1 地图设计模块实现

在智能调度系统的主界面上，右上角的是系统的智能路径规划模块。路径规划模块能够针对物流行业或者仓库库房的实际工作条件进行最优路径的选择，将 AGV 的运动轨迹以适当的比例缩小，并且将 AGV 的实际运动过程中的路线



图 9 主操作界面

动态实时地呈现在地图模块上。本文所设计的路径规划模块能够对库房地图进行最优路径绘制、路线保存和自动删除等功能操作，并且在 AGV 的实际运动或者路径优化过程中，用户可以通过观察实时的 AGV 运动路径进行直观地显示和更改，在过程中可以根据自身的需要添加物流库房中 AGV 的数量，进行障碍物或者货物搁置点数量的更改，以此适用不同类型或者不同区域范围内的物流行业。例如图 10 中的空心圆代表 AGV 的运动轨迹，AGV 可以对编号的不同节点进行运动状态的改变，并且将直线表示为 AGV 运行的双向路径；实心圆表示的是同一个区域内的不同 AGV。图 10 为基于 Petri 网络通过 PIPE 进行绘制的地图。

3.2 系统管理模块实现

关于 AGV 的信息管理部分和任务查询部分在操作系统

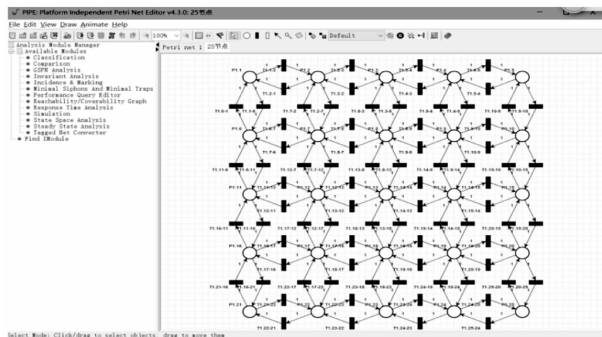


图 10 Petri 网地图

的左下方，而左上角则是 AGV 的工作状态列表。不同的 AGV 对应了不同的工作状态，“工作中”、“维修中”和“空闲中”所对应的指示灯颜色分别为“红色”、“黄色”和“绿色”。AGV 的工作状态只有智能调度系统的工作人员点击主操作界面的按钮才能进行 AGV 的状态设定，而如果 AGV 的工作状态出现异常，则会上传 AGV 的维修指令，此时需要操作人员对 AGV 的状态进行“维修”设定，并且将故障 AGV 的编号、故障原因和故障时间上传到系统终端，这样会更有利于后台终端对故障 AGV 进行数据记录。如果需要执行货物调度任务，工作人员需要在实际操作过程中输入执行任务的编号、起始地图坐标、终点目标坐标和调度任务的缓急程度，并且下达命令之后，后台数据库会在任务工作表中自动记录本次任务信息。此时主操作界面会自动显示新添加的任务为“未执行”状态，同时自动匹配“空闲中”的 AGV 进行调度任务。一旦 AGV 与未执行的任务相互匹配，AGV 的“空闲”状态转变为“工作中”，而“未执行”任务也会变为“执行中”；在任务完成后，AGV 状态恢复为“空闲中”，任务列表则会显示为“已完成”。操作人员能够在此模块中进行“添加”、“更改”和“删除”任务的操作，并且在任务列表可以随时查看过去执行过的任务信息，如图 11 所示。



(a) AGV 工作状态指示 (b) AGV 报修操作界面

图 11 AGV 系统状态管理

3.3 信息交互模块实现

本文所设计的智能调度系统是通过计算机调度软件和多个 AGV 的传输信息进行交互的。AGV 运输信息呈现在系统主界面的最下方，通过信息交互模块可以查询到此时正在执行调度任务的 AGV，并且能够基于 Zigbee 的功能在

车辆数据库中上传所有 AGV 的车辆信息。在数据库中，工作人员可以查询 AGV 的编号、剩余电量、运行状态和当前所在的位置，并且能够实时查询到所有 AGV 的工作进度，如图 12 所示。而过去完成的调度任务可以通过“历史任务”列表进行查询，如图 13 所示。

任务编号	起始节点	目标节点	任务状态	AGV 编号	AGV 剩余电量	已行驶距离	开始时间	日期
1	47	2	执行中	4	68%	128	13:24	2018/6/7
2	28	79	执行中	5	78%	75	2:35	2018/6/7

图 12 状态信息监测模块



图 13 历史任务查询界面

3.4 物流智能调度系统测试结果

本文在本节中进行了智能调度系统的实验验证，通过 8 项调度任务来验证智能调度系统是否能够在众多物流行业或者库房储存中进行正常工作，实验过程如图 14 所示。调度任务的匹配是通过离目标点最近的 AGV 的编号与此点的调度任务进行相互匹配的，主操作界面的任务列表详细介绍了调度任务的起始点、目标点和所对应的 AGV 信息。举例来说，AGV #4 刚好匹配了任务 K4，此时所在位置为地图节点 90，此任务的起始点为 31，在 11:25 时正式接受 K4 任务，并从 90 移动至 31，接着朝着地图节点 100 进行移动。本文所设计的智能路径规划算法会根据各个 AGV 所接受的任务和起始点对 AGV 的下一步路径移动进行智能规划，并且将地图路径信息通过 Zigbee 网络将数据信息传递给所对应的 AGV，接下来智能调度系统的监控模块开始实时关注 AGV 的运动状态，详细路径规划结果如图 15 所示。

任务编号	执行车辆	起始节点	目标节点	当前节点	开始时间	任务状态	AGV 状态
K1	#1	2	98	7	11:15	执行中	工作中
K2	#2	21	94	72	11:15	执行中	工作中
K3	#3	8	99	78	11:20	执行中	工作中
K4	#4	31	100	90	11:25	执行中	工作中
K5	#5	18	70	38	11:30	执行中	工作中
K6	#6	27	82	57	11:35	执行中	工作中
K7	#7	18	92	43	11:40	执行中	工作中
K8	#8	1	78	12	11:45	执行中	工作中

图 14 AGV 任务列表

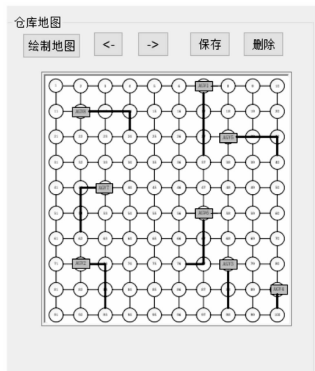


图 15 AGV 运行情况

综上所述, 本文所设计的基于 AGVs 路径规划的物流智能调度系统能够在各种物流环境或者库房基地完成调度任务, 很好地解决了物流企业或者库房仓库在忙碌期的繁杂调度问题, 不仅提高了物流调度的自动化程度, 也极大地降低了物流行业的时间成本和资源成本, 保证了物流调度和道路运输的效率。

4 结束语

传统的物流调度系统或者路径规划算法仅仅针对的是调度任务较少、AGV 调度车辆不足的情况, 随着调度任务的加重和库房规模的扩大, 调度系统的工作压力和算法计算复杂度会急剧增长, 导致工作效率很低。为了解决上述难题, 本文深入分析了目前物流行业和库房管理在调度过程中所面临的问题, 充分调研了物流智能调度、AGV 路径规划和人工智能算法方面的研究成果, 设计了基于 AGV 机器人和路径规划优化的智能物流调度系统。该系统将硬件和软件相结合, 设计了 AGV 的物流调度硬件, 又结合了路径规划理论, 开发了基于 Petri 网络的路径规划算法, 并且对所设计的系统进行实现和测试。

系统测试结果显示, 本文所设计的基于 AGVs 路径规划的物流智能调度系统能够在各种物流环境或者库房基地完成调度任务, 很好地解决了物流企业或者库房仓库在忙碌期的繁杂调度问题, 不仅提高了物流调度的自动化程度, 也极大地降低了物流行业的时间成本和资源成本, 保证了物流调度和道路运输的效率。

参考文献:

- [1] 郑雨婷, 邹浩, 金文字. 智慧物流下快递配送效能的优化[J]. 物流技术, 2020, 39 (2): 26-31.
- [2] 周艳榕. 基于 ASP 的城市物流配送调度系统化设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43 (7): 159-162, 168.
- [3] 张晓磊. 依赖灰色多层次弱收敛序列系数的农村饲料物流车辆调度优化[J]. 物流科技, 2020, 43 (1): 6-8, 25.
- [4] CHEN C L, DENG Y Y, WENG W, et al. A blockchain-based intelligent anti-switch package in tracing logistics system [J]. The Journal of Supercomputing, 2021, 77 (7): 7791-7832.
- [5] GUPTA S, HAQ A, ALI I, et al. Significance of multi-objective optimization in logistics problem for multi-product supply chain network under the intuitionistic fuzzy environment [J]. Complex & Intelligent Systems, 2021, 7 (4): 2119-2139.

- [6] 曾胜, 戴贤君, 肖文, 等. 基于蚁群算法冷链物流运输路径最优化设计[J]. 中国计量大学学报, 2020, 31 (3): 357-362.
- [7] LU Z Y, et al. A Framework of multi-agent based intelligent production logistics system-science direct [J]. Procedia CIRP on SciVerse Science Direct, 2019, 83 (C): 557-562.
- [8] 褚辉, 李长勇, 杨凯, 等. 多信息融合的物流机器人定位与导航算法的研究[J]. 机械设计与制造, 2019, 338 (4): 248-251.
- [9] WEI S, DONG D, JIN R, et al. The ecological chain oriented design model of intelligent logistics architecture [J]. International Journal of Modelling in Operations Management, 2020, 8 (2): 1.
- [10] 曹庆奎, 刘新雨. 考虑外包车辆和加班条件的车辆调度问题研究[J]. 物流技术, 2014 (7): 107-109.
- [11] 白冰, 付中元, 李潇峰, 等. DTMM: 面向疏散灾害管理的应急物流优化调度模型[J]. 起重运输机械, 2020, 568 (20): 109-117.
- [12] 周炳海, 宗师. 冷链物流越库调度的拉格朗日松弛算法[J]. 控制理论与应用, 2020, 37 (3): 505-512.
- [13] 陈厚仁, 蔡延光, 黄戈文, 等. 并行烟花算法求解多货场电子商务物流运输调度问题[J]. 嘉应学院学报, 2020, 38 (3): 21-27.
- [14] SHAN X, LU X, ZHAI M, et al. Analysis of key technologies for artificial intelligence applied to power grid dispatch and control [J]. Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems, 2019, 43 (1): 49-57.
- [15] CHO J H, KIM Y T. Design of autonomous logistics transportation robot system with fork-type lifter [J]. International Journal of Fuzzy Logic & Intelligent Systems, 2017, 17 (3): 177-186.
- [16] 师建华, 刘刚桥. 基于蚁群算法的海洋港口物流运输系统研究[J]. 舰船科学技术, 2020, 42 (4): 203-205.
- [17] 罗梓萱, 刘学文. 基于蚁群算法的物流配送路径优化研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2020, 192 (4): 93-98.
- [18] 段宏霞, 张明亮. 互联网模式下的物流配送优化探索[J]. 产业与科技论坛, 2020, 19 (4): 225-226.
- [19] BUTTON K, DOYLE E, STOUGH R. Intelligent transport systems in commercial fleet management: a study of short term economic benefits [J]. Transportation Planning & Technology, 2001, 24 (2): 155-170.
- [20] 张雨晨, 魏遥. 基于粒子寻优的物流多维度协同管理系统设计[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2020, 315 (11): 53-56.
- [21] 杜宇, 姜伟. 智能机器人仓储物流系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020, (5): 164-168.
- [22] 王晶. 新零售环境下云物流系统运作模型构建[J]. 商业经济研究, 2020, 809 (22): 100-103.