

基于多 AGV 协同的大容积率高效立体车库系统设计

姚燕生^{1,2} 王业山^{1,2} 姚宝珍³ 汪名洋¹ 张峰² 吴厚团²

1.安徽建筑大学 工程机械智能制造重点实验室,安徽 合肥 230601

2.安徽鸿杰威尔停车设备有限公司,安徽 六安 237000

3.大连理工大学 汽车工程学院,辽宁 大连 116024

[摘要]随着当今社会科技经济发展,汽车的数量在快速增加,为充分利用每个城市有限的土地资源,更好的解决停车难问题,机械式立体车库应运而生。但是常规的机械式立体车库,升降横移运输设备数量多、结构复杂、空间利用率和存取效率不高。针对这些不足,提出了一种九宫格式的大容积立体车库系统设计,采用多 AGV 和多轿厢电梯协同的策略来提升任务执行效率和垂直运输效率,并设计了一种遗传算法实现存取车时长全局最优决策。该立体车库系统在保证车辆高效存放、取出的同时,兼顾灵活性和安全性,具有极高的推广潜力和应用价值。

[关键词]多 AGV 协同;九宫格;高效停车;机械式立体车库

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17976

中图分类号: TP23

文献标识码: A

Design of High-efficiency Three-dimensional Garage System with Large Floor Area Ratio Based on Multi-AGV Collaboration

YAO Yansheng^{1,2}, WANG Yesan^{1,2}, YAO Baozhen³, WANG Mingyang¹, ZHANG Feng², WU Houtuan²

1. Key Laboratory of Intelligent Manufacturing of Engineering Machinery, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui, 230601, China

2. Anhui Hugewohe Parking Equipment Co., Ltd., Lu'an, Anhui, 237000, China

3. College of Automotive Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning, 116024, China

Abstract: With the passage of time, the number of cars has been increasing, in order to make full use of each city's limited land resources, to better solve the problem of parking difficulties, mechanical three-dimensional parking garage came into being. However, in the conventional three-dimensional parking garage, the number of conventional transportation equipment is large, the structure is complex, resulting in its space utilization and work efficiency is not high. Aiming at those shortcoming, this paper proposes a design method of large volume stereo garage system with nine-cell pattern, adopts the strategy of multi-AGV parallel and multi-car elevator cooperation to improve task execution efficiency and vertical transportation efficiency, and designs a genetic algorithm to achieve the global optimal decision of vehicle access time. The stereo garage system not only ensures the efficient storage and removal of vehicles, but also takes into account the flexibility and safety, which has high promotion potential and application value.

Keywords: multi-AGV collaboration; a nine-palace grid; efficient parking; mechanical stereo-garage

引言

AGV(Automated Guided Vehicle)是一种具有可编程、安全防护和装运物品功能的自带动力的自动驾驶小车,在汽车、电子、纺织、医药、食品、造纸等领域有着广阔的应用前景^[1-2]。为满足大型智能车库的大量快速存取车,同时兼顾城市土地空间紧张和停车场附近环境复杂的使用与运行要求,在参考国内同类产品的基础上,本团队利用无轨道、大载重、可原地转向的移车 AGV,开发出多

AGV 协同技术来构建新型立体车库系统。本文将以典型形式九宫格系统结构来进行介绍。

1 多 AGV 协同技术立体车库系统设计

1.1 系统总体设计

立体车库系统由车位架、AGV、升降电梯和控制系统组成。车位架的每层为九宫格结构^[3],立体车库九宫格结构(图 1)及其外围通道布置(图 2),其中心宫格为电梯井、其余宫格为停车位,车库主体结构外设有停、取车

等候区。停车等候区、取车等候区设置在车库主体结构外的地面层、地上层外和地下层，总个停车区进口处设置门禁，与外部道路相连接。车库内多个电梯轿厢用于运输AGV与车辆上行或下行，各个电梯轿厢竖直排列设置于电梯井内，AGV小车用于运输车辆进出电梯轿厢和进出停车位。车库系统在减少电梯的空间而增多停车位的前提下(本设计的容积率即车位占地比为8/9，远大于垂直升降立体车库的2/3)，利用多轿厢和多AGV协同增大的运输能力(图3)，减少存取车时间，提供便捷安全、智能舒心的服务。

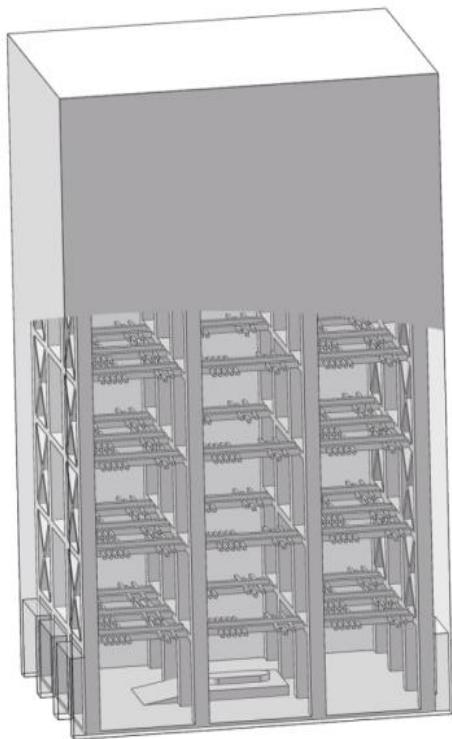


图1 立体车库总体结构图

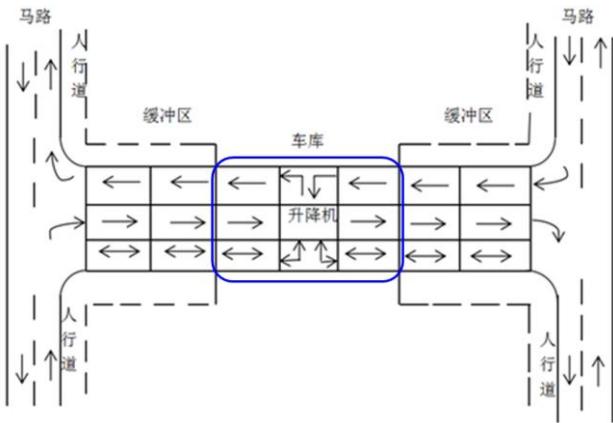


图2 立体车库外围设施布置图

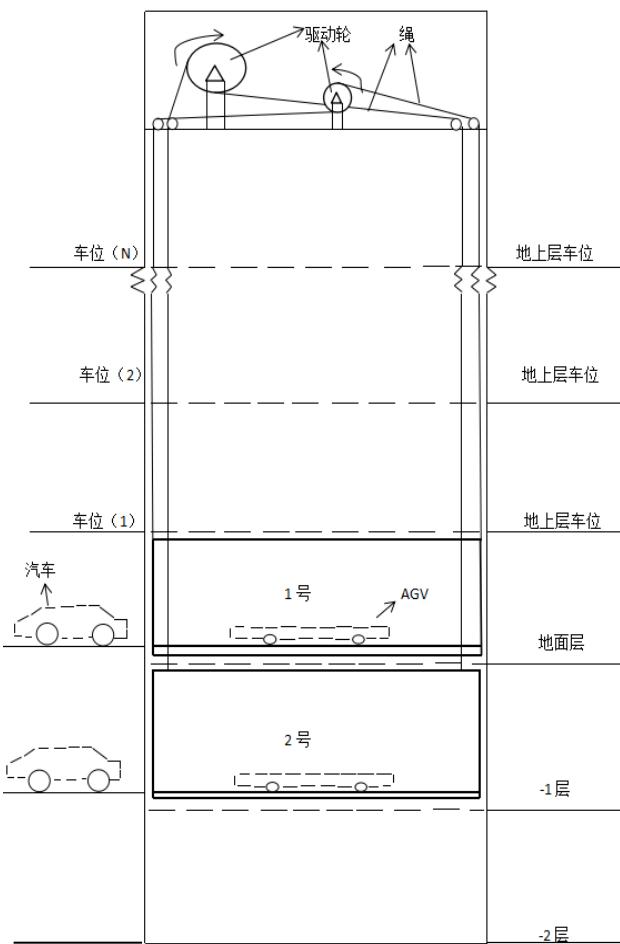


图3 多AGV多电梯轿厢布置

1.2 各组成结构介绍

1.2.1 AGV小车

通过配备自动导引装置，AGV可以沿着规划好的轨迹运动，以达到搬运重物的目的^[4]。AGV小车采用磁导航技术（另有二维码等导航方式可选，在此不做介绍），通过在其行进路径上铺设磁带，并对磁导航传感器采集的信号进行处理，实现对AGV的精准引导。AGV小车用于运输车辆进出电梯轿厢和停车位，其分布在电梯轿厢内或各楼层的停车位或停车等候区，可以实现全方移动。

1.2.2 电梯轿厢

电梯轿厢用于运输车辆上行或下行，数量至少为2个，各个电梯轿厢竖直排列设置于电梯井内；四面均可打开，AGV小车可从电梯轿厢的任意门进出。

1.2.3 控制系统

控制系统具有信息检测、处理与运动控制功能。主控制系统包括主控计算机、AGV小车控制部分、轿厢控制

部分。AGV 小车控制部分包括若干个 AGV 小车 PLC 控制器，每个 AGV 小车 PLC 控制器与 AGV 小车的驱动电机、转向电机、磁导航传感器、移载机构、压力传感器分别控制连接^[6]。轿厢控制部分包括电梯轿厢升降 PLC 控制器，电梯轿厢升降 PLC 控制器与楼层传感器、各轿厢的升降电机分别控制连接。各个 AGV 小车 PLC 控制器、电梯轿厢升降 PLC 控制器分别连接有报警器、防护装置、显示器，每个 AGV 小车 PLC 控制器分别通过通讯卡与主控计算机无线通讯连接，电梯轿厢升降 PLC 控制器与主控计算机直接通讯连接，主控计算机与监控设备连接，控制系统示意图如图 4 所示。

2 独立存取车操作

独立存取车是指车库空闲时个人存取一台车的情况，这种存取车比较简单，但由于本系统有多个 AGV 和升降轿厢可执行任务，为提高存取车效率，需要合理调度，优化流程，和当前大多数立体车库有所不同。

2.1 存车工作流程与操作

2.1.1 AGV 存车工作流程

车主通过 APP 或库区设备发出存车信息，车库系统确认可以存车后，车辆被允许驶入并开始收费计时，车主应将汽车开到立体车库的停车等候区临时车位。此时车主即可下车离开，车牌识别系统和监控系统检测到汽车后，对车辆的车型、尺度、质量等数据提取，包括车里活体检

测等信息做出评估并发送给主控计算机，车位分配系统根据车辆信息与空闲车位信息计算最佳车位，空闲的电梯轿厢与空闲的 AGV 小车接收指令后配合成组，运行至停车等候区所在楼层。AGV 小车将车辆运输至电梯轿厢内，电梯轿厢接收指令运行至指定楼层等待，电梯轿厢内的 AGV 小车将待停车辆运输至指定车位后返回轿厢，若一段时间内无下一步工作则回到等候区层。具体存车运行过程如下：

车库系统接受存车指令后，AGV 小车归位于电梯轿厢后，轿厢抵达要存车辆所在楼层，AGV 小车通过自身磁导航系统到达位于停车等候区的待停汽车处，再通过光电传感器对车宽和车高进行测量，将汽车尺寸信息通过无线传输模块发送给主控计算机，主控计算机保存并通过遗传算法运算，待停车辆找到的合适停车位后，AGV 小车原路返回将汽车运到 1 号轿厢中，为了优化存车时长，最大化车位利用率，系统采用遗传算法进行车位选择的最优决策。主要思想为：

首先，主控计算机生成车位高度信息，采集用户停车需求并编号，将用户编号与对应的距离信息储存至主控计算机数据库中，接着将停车需求汇总成高度矩阵，按照用户和停车位编号生成代价数组并随机生成满足条件的个体，若匹配信息不满足约束条件则继续生成，直到生成出满足约束条件的匹配信息。

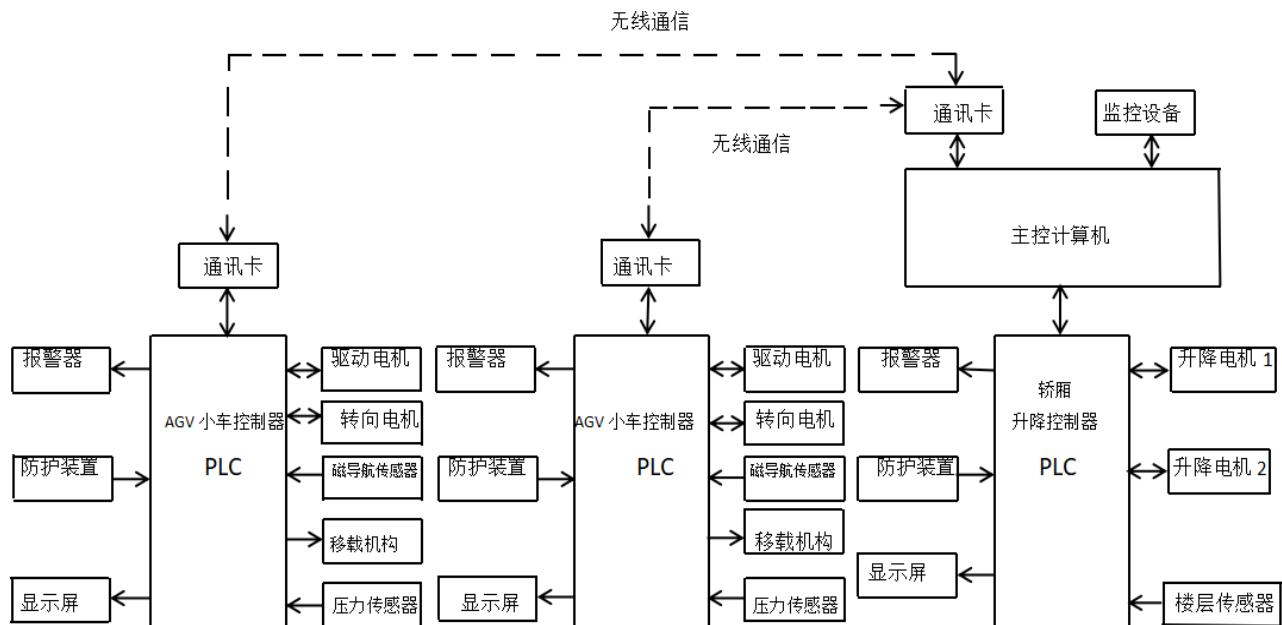


图 4 立体车库系统的控制系统示意图

然后，AGV 小车通过压力传感器检测到移载机构上的汽车，主控计算机给控制电梯轿厢升降电机的电梯轿厢升降 PLC 控制器发送指令，升降电机运行，将轿厢连同汽车运到目标车位的楼层。当轿厢到达指定楼层后，主控计算机给控制 AGV 小车的 PLC 控制器发送指令，AGV 小车 PLC 控制器控制小车载着汽车按规划路径到达指定停车位。主控计算机通过传感器检测到汽车成功到达目标停车位后，向控制 AGV 小车的 PLC 控制器发送指令，AGV 小车回到轿厢，升降电机将轿厢返回等待下一步工作。

2.1.2 APP 预约转存车位操作

线上存取车 APP 可提出设定时刻优先存取要求，系统可根据预约时间计算得出最优目标车位，空闲的 AGV 小车可配合空闲的电梯轿厢来提前实现转存。对取车的可以先将目标车辆转存最优车位，对存车则保留最优目标楼层车位，待目标车辆进入等待区后优先存取，同时系统会根据所有订单的存取车时间实时调整存取车快捷通道。

2.2 取车工作流程与操作

空闲的 AGV 小车接收指令后驶入空闲的电梯轿厢，电梯轿厢接收指令后运行至待取车辆所在楼层，电梯轿厢内的 AGV 小车接收指令并运行至待取车辆下，将车辆运输至电梯轿厢内；电梯轿厢接收指令运行至取车等候区所在楼层等待，AGV 小车将待取车辆运输至取车等候区的指定位置后直接回到电梯轿厢或在停车等候区等待命令。

待取车辆的车位位于每层宫格靠近电梯井位置时可直接通过 AGV 小车进行取出。当待取车辆的目标车位位于每层宫格的四角位置时，且当前楼层有空闲停车位，则先通过 AGV 小车挪出通道，再通过 AGV 小车取出。待取车辆的目标车位位于每层宫格的四角位置时，且当前楼层没有空闲停车位，则控制 1 号 AGV 小车将道路之一上的车辆存放在其中 1 号轿厢里再提升，将轿厢中车辆暂存或于附近其他楼层车位区停放；然后通过 2 号 AGV 小车将待取的车辆从角落运出，用 2 号轿厢协同将车下降到出口直至送至取车等候区。

在工作的整个流程中，监控系统会实时监测系统的工作状况，将信息传送给主控计算机^[7]。若某个设备发生故障，主控计算机向报警系统发送指令，报警系统工作，报警指示灯闪烁，通知工作人员维修。

3 多车同时存取流程

3.1 多人存车流程

若多人发出存车命令，主控计算机检测空闲停车位和

电梯（下称升降机）状态；若 1 号和 2 号升降机处于空闲状态，两车均位于地面层缓冲区，且运行遗传算法计算最优空闲车位在车库的不同楼层。则 1 号 AGV 启动，将 1 号车辆运入 1 号升降机；1 号升降机上行，同时 2 号升降机上行至地面层；2 号 AGV 启动，将 2 号车辆运入 2 号升降机后，2 号升降机上行；1、2 号升降机分别到达两目的楼层停止运行；1、2 号 AGV 启动，分别将 1、2 号车辆运入两停车位；完成任务后 1、2 号 AGV 分别返回 1、2 号升降机。若空闲车位在车库的同一楼层，则 1 号 AGV 启动，将 1 号车辆运入 1 号升降机；1 号升降机上行，同时 2 号升降机上行一层；2 号 AGV 启动，将车辆运入 2 号升降机；1 号升降机到达目的楼层，停止运行；1 号 AGV 启动，将 1 号车辆运入停车位后返回升降机；1 号升降机上升一层，2 号升降机上行到达目的楼层停止；2 号 AGV 启动，将车辆运入停车位后返回 2 号升降机。

若所存车辆不在同一楼缓冲区且空闲车位不在车库的同一楼层，则两车进入停车区后，1、2 号 AGV 协同升降机对应到位后启动，分别将上 1、下 2 车辆运入 1、2 号升降机；1、2 号升降机同时启动上行；1、2 号升降机分别到达目的楼层，停止运行；AGV 启动，分别将车辆运入停车位；任务结束后 1、2 号 AGV 分别返回 1、2 号升降机。若空闲车位在车库的同一楼层，则两车进入停车缓冲区后，1、2 号 AGV 启动，分别将 1、2 号车辆运入 1、2 号升降机；1 号升降机上行；1 号升降机到达目的楼层，停止运行；1 号 AGV 启动，将 1 号车辆运入停车位后返回升降机；1 号升降机上升一层，同时 2 号升降机上行；2 号升降机到达目标车位楼层，停止运行；2 号 AGV 启动，将车辆运入车位后返回 2 号升降机。

若有存车时，1 号和 2 号升降机均处于忙碌状态，则待其任务完成后，再根据指令进行上述存车流程。

若 1 号升降机处于忙碌状态，2 号升降机处于空闲状态，待存车辆均位于地面缓冲区，则 2 号升降机升至地面层；2 号 AGV 启动，将 2 号车辆运入 2 号升降机；2 号升降机上行；2 号升降机到达目的楼层，停止运行；2 号 AGV 启动，将 2 号车辆运入停车位后返回升降机，其后 2 号升降机下行至负一层下待命；1 号升降机完成上一任务指令后下行至地面层；1 号 AGV 启动，将 1 号车辆运入 1 号升降机；1 号升降机上行；1 号升降机到达目的楼层，停止运行；1 号 AGV 启动，将车辆运入停车位后返回 1 号升降机。

若 1 号升降机处于忙碌状态，2 号升降机处于空闲状态，待存车辆不在同一楼层缓冲区，且空闲车位不在车库的同一楼层，则 2 号 AGV 先启动，将低层 2 号车辆运入 2 号升降机；1 号升降机完成上一任务指令后下行到位，1 号 AGV 启动，将 1 号车辆运入 1 号升降机；1、2 号升降机同时启动上行；1、2 号升降机分别到达目的楼层，停止运行；1、2 号 AGV 启动，分别将 1、2 号车辆运入停车位；1、2 号 AGV 完成任务后分别返回 1、2 号升降机。

3.2 多人取车流程

当车库进行新的多车取车作业时，若升降机 1、2 处于忙碌状态，则需先完成当前指令后再进行新取车作业。经主控计算机检测后，待取两辆车在车库的同一楼层，则 1 号升降机先上行至目的楼层；1 号升降机停止运行，1 号 AGV 将 1 号车辆运入 1 号升降机；1 号升降机上行 1 层，同时 2 号升降机上行；2 号升降机上行至目的楼层；2 号升降机停止运行，2 号 AGV 将 2 号车辆运入 2 号升降机；2 号升降机下行至负一层，同时 1 号升降机下行至地面层；1 号 AGV 将车辆运入地面层取车区。同时 2 号 AGV 将车辆运入负一层取车区；1 号 AGV 返回 1 号升降机，同时 2 号 AGV 返回 2 号升降机。上述对应车辆取车位置可提前告知车主。

若经主控计算机检测后，待取车辆不在车库的同一楼层，则 1、2 号升降机同时上行；1、2 号升降机分别到达目的楼层停止运行；1 号 AGV 将高楼层 1 号车辆运入 1 号升降机，同时 2 号 AGV 将低楼层 2 号车辆运入 2 号升降机；2 号升降机下行至负一层，同时 1 号升降机下行至地面层；1 号 AGV 将车辆运入地面层取车区。同时 2 号 AGV 将车辆运入负一层取车区；任务结束后 1 号 AGV 返回 1 号升降机，同时 2 号 AGV 返回 2 号升降机。多人取车流程如图 5 所示。

4 结语

本文提出了一种新型的多 AGV 协同作业车库系统，设计了容积率大、九宫格式的车库主体结构，并在电梯井里加装两个或更多垂直升降机/轿厢，各个升降机/轿厢可以分工合作，与多个 AGV 协同实现车辆的运送；此外，采用先进的车位分配方法根据车辆任务信息，保证车位分配的高效性和合理性，充分利用电梯井空间发挥最大的运输效率。本文主要技术已应用于北京、亳州等地的鸿杰威尔智慧车库项目，得到用户高度认可。

基金项目：“安徽鸿杰威尔停车设备有限公司硕士后企业工作站”（2022sshqygz029），安徽省新时代育人质量工程项目（研究生教育）“现代设计理论与方法（双语版）”（2022ghjc084）。

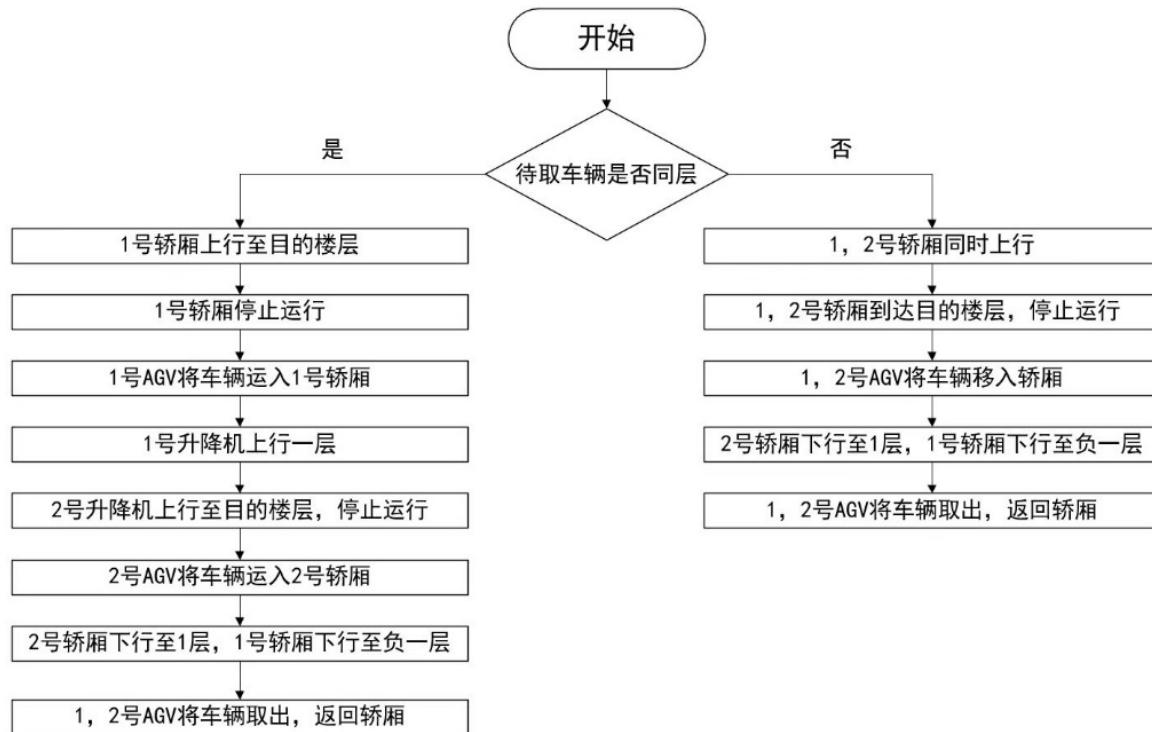


图 5 多人取车流程图

[参考文献]

- [1] 金鑫.AGV 小车的发展现状与应用趋势[J].北京工业职业技术学院学报,2021,20(1):10-13.
- [2] 张亚强.AGV 在智能停车领域的设计与实现[D].河南:郑州大学,2020.
- [3] Jiří Hanzl.Parking Information Guidance Systems and Smart Technologies Application Used in Urban Areas and Multi-storey Car Parks[J].Transportation Research Procedia,2020(44):53.
- [4] 杨阅兵,生一,葛睿,等.重载 AGV 小车设计[J].河北农机,2021(08):75-77.
- [5] 宁志雄.泊车 AGV 的车辆位姿检测系统设计[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2019.
- [6] 张星.基于麦克纳姆轮的全向 AGV 运动控制技术研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [7] 徐敏.升降横移式立体车库车辆智能监控调度系统设计[J].科学技术创新,2020(17):95-96.
- 作者简介: 姚燕生 (1973—), 男, 汉族, 安徽枞阳人, 教授, 从事特种装备设计与制造研究。