

多机器人协同技术在机场航站楼内的应用

Application of Multi-robot Collaboration Technology in Airport Terminals

谢梦楠¹, 高艺嘉¹, 杜忠岩¹, 曾鹏伊² (1. 中国联通智能城市研究院, 北京 100048; 2. 北京邮电大学, 北京 100876)

Xie Mengnan¹, Gao Yijia¹, Du Zhongyan¹, Zeng Pengyi² (1. China Unicom Smart City Research Institute, Beijing 100048, China; 2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

摘要:

机场航站楼内存在多供应商、多类型的机器人在人员密集的另一区域内共同运营,经常发生多机器人在狭窄路段被阻塞的情况。基于机场航站楼内的环境,在机器人统一业务运营平台上,以全局视角实现了跨供应商的多机器人协同能力。

关键词:

机场航站楼; 狭窄路段; 多机器人协同; 多供应商; 统一业务运营平台

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.12.012

文章编号: 1007-3043(2024)12-0072-06

中图分类号: TP391

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

There are multiple suppliers and types of robots operating together in densely populated areas within the airport terminal, and it is common for multiple robots to be blocked on narrow roads. Based on the environment of airport terminals, it achieves cross vendors multi-robot collaboration capabilities from a global perspective on the unified robot business operation platform.

Keywords:

Airport terminals; Narrow road sections; Multi-robot collaboration; Multiple vendors; Unified business operation platform

引用格式: 谢梦楠, 高艺嘉, 杜忠岩, 等. 多机器人协同技术在机场航站楼内的应用[J]. 邮电设计技术, 2024(12): 72-77.

1 背景

随着机场智能化水平的不断提升,机场航站楼内开始逐步引入机器人等自动化、无人化技术来提升机场运营效率^[1]。现阶段,机场内巡逻、清扫、洗手间物资配送机器人已经用于处理部分体力劳动工作^[2]。智能服务机器人可以为旅客提供行李放置、导航导引等服务^[3],提升旅客体验。可以预见,未来机场航站楼内将存在多种类型的机器人一起运营的场景^[4-5],而这些机器人也将来自不同品牌的供应商。

多供应商、多类型的机器人在人员密集的区域共同运营,将带来阻塞和冲突问题^[6-7]。例如,在机

航站楼内,巡逻、清扫、洗手间物资配送、服务等机器人都会在登机大厅内穿梭行驶,执行各自的任務。当乘客准备登机时,会提前到登机口排队,队伍经常会延续到自动人行道旁等狭窄路段,并持续等待 10~20 min。此时,如果有机器人需要通过狭窄路段执行当前任务,就会发生机器人被阻塞的情况^[8]。如果后续还有其他机器人也需要通过狭窄路段,将造成多台机器人被阻塞,严重影响机器人的运营效率。通常,不同供应商的机器人由各自供应商的平台进行管理。供应商平台采用各自的方案,对该供应商的机器人进行路线规划和协同控制^[9];或者来自同一供应商的机器人互相通信,进行协同^[10]。但这种针对单一供应商的“烟囱式”的管理方式无法解决不同供应商机器人之间的信息共享问题,各自供应商平台或来自不同供

收稿日期: 2024-11-01

应商的机器人在信息缺乏的情况下无法做出正确的协同决策。

因此,解决多供应商、多台机器人在同一区域内运营时产生的阻塞和冲突问题,实现多机器人协同,需要搭建跨供应商的机器人统一业务运营平台,对所有机器人进行管控。在统一业务运营平台的基础上,结合机场航站楼内多机器人运营的场景,提供跨供应商多机器人协同的能力,为所有机器人规划路线,并获取所有机器人的状态,感知路况信息,在全局视角下统一控制所有机器人的行为。

2 场景需求分析

2.1 机器人避让场景

图1给出了某机场航站楼内CAD图,其中红框部分为2条方向相反的自动人行道;图2给出了自动人行道旁的狭窄路段示意,其中绿色带状即为自动人行道旁行人、机器人和电瓶车等都会通行的狭窄路段。为避免多台机器人同时被阻塞在自动人行道旁的狭窄路段内,要求该路段一次只能有一台机器人驶入。机器人业务运营平台应根据该要求,每次调度一台机器人通过该路段,并控制后方机器人避让,当前方机器人通过该路段后,再调度后方机器人按顺序通过。

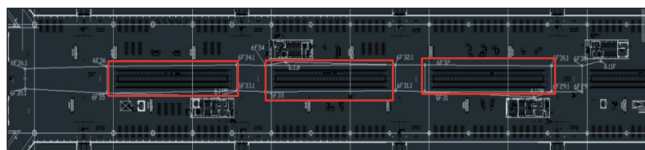


图1 某机场航站楼内CAD图

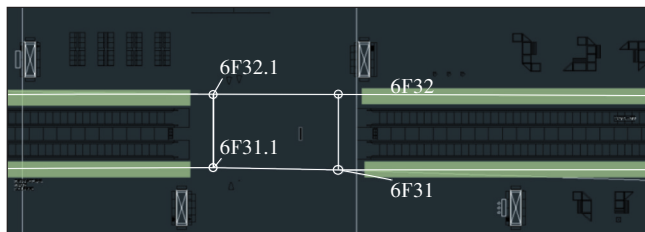


图2 某机场自动人行道旁的狭窄路段

为了保障机场内行人的安全,通常需要制定机器人行驶的交通规则。为了让行人能够意识到机器人正在朝行人驶来,该机场管理局规定机器人在自动人行道旁路段的优先通行方向为逆时针。

在自动人行道旁为狭窄路段设置临时停靠点,当前方机器人已经驶入狭窄路段后,机器人业务运营平台控制后方机器人在临时停靠点避让。当前方机器

人离开狭窄路段后,再控制后方机器人驶入通道。当多台机器人在临时停靠点等待进入该路段时,按照一定的优先级顺序进行通行。

狭窄路段多机器人避让场景如图3所示,当前自动人行道旁的狭窄路段内有一台机器人A正在行驶,后续执行任务的机器人B也需要通过该路段。机器人业务运营平台监控到自动人行道旁的狭窄路段内有机器人A正在行驶,将该路段渲染为红色(当路段内有机器人行驶,或者当前路段已经被即将通过该路段的机器人预定时,该路段被视为“占用”,将该路段渲染为红色,方便管理员查看),并将后续也需要通过该狭窄路段的机器人B调度到狭窄路段旁的临时停靠点进行避让。当狭窄路段内的机器人A离开该路段时,平台继续机器人B的任务,调度机器人B通过该路段。当机器人B离开路段,占用的路段被机器人B释放,路段变为空闲状态。

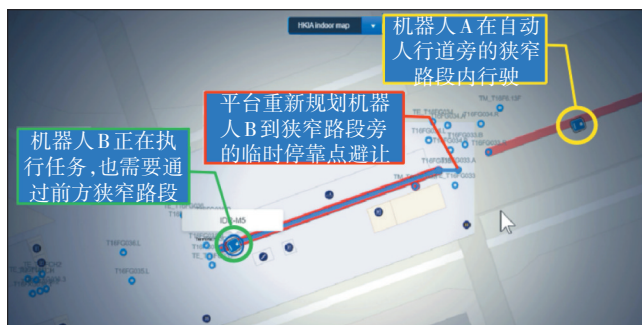


图3 狭窄路段多机器人避让场景

平台通过控制狭窄路段内一次只能驶入一台机器人,同时协同其他机器人在临时停靠点避让,避免多台机器人被同时阻塞在狭窄路段内。

2.2 机器人绕行场景

当一台机器人行驶到狭窄路段并被排队等待登机的乘客阻塞时,需要等待乘客登机后,该路段才能恢复畅通,这通常需要10~20 min,而后续需要通过该路段的机器人则会在临时停靠点等待更长时间。此外,如果机场内部分路段进行施工、清扫作业,也会导致该路段长时间无法通行。因此,当路段被阻塞后,机器人需能够绕行该阻塞路段。

当机器人在自动人行道旁的狭窄路段内被阻塞时,支持机器人上报阻塞事件。此时,机器人业务运营平台可以根据阻塞事件,获取路段被阻塞的信息,并为受到影响的机器人(这些机器人的原始任务路线经过该阻塞路段)重新规划路线,绕过被阻塞路段。

路段1内有一台机器人A正在执行任务,后续需要通过该路段的机器人B正在路段1旁的临时停靠点进行避让,等待机器人A通过路段1。当狭窄路段内

的机器人A在路段1内上报被阻塞信息时,平台为需要经过阻塞路段1的机器人B重新规划路线,新路线经过路段2,绕过被阻塞的路段1(见图4)。



图4 路段阻塞多机器人绕行场景

当路段需要被临时封闭时,管理员可以在机器人业务运营平台上将该路段设置为禁行。平台根据路段被禁行的情况,在为机器人规划路线时绕开被禁行的路段。

路段禁行机器人绕行场景如图5所示,在自动人行道旁有2条狭窄路段:路段1和路段2,管理员在平台上设置路段1禁行。如果不考虑路段1被禁行,根据路径规划中选择最小成本路径的要求,机器人本应通过路段1。但由于路段1被禁行,平台为机器人规划路线时绕过被禁行的路段1,经过路段2。机器人在路段2行驶时,行驶方向与机场管理局规定的优先通行方向相反。

当路段不再阻塞或被禁行后,机器人上报阻塞解除信息,或由管理员在平台上解除路段禁行,路段恢复畅通,平台恢复调度机器人在该路段行驶。



图5 路段禁行机器人绕行场景

3 多机器人协同设计

为实现多机器人协同,机器人业务运营平台需要包含调度、协同、全局路径规划、MQTT Broker和机器人管控代理服务等功能(见图6)。调度服务为机器人创建任务,并调用协同服务介入机器人的管理。在机器人开始执行任务时,协同服务根据从MQTT Broker订阅到的机器人状态和交通状态等信息,调用全局路径规划服务为机器人生成初始规划路线,协同服务根据协同策略修改初始规划,并将规划成功的路线通过机器人管控代理服务下发给机器人。在机器人的行驶过程中,协同服务根据从MQTT Broker实时订阅到的机器人状态和交通状态等信息,检查多个机器人之间是否发生路线冲突或路段阻塞/禁用。一旦发生路线冲突或路段阻塞/禁用,协同服务根据协同策略修改路线。当需要重新规划路线时,协同服务调用全局路

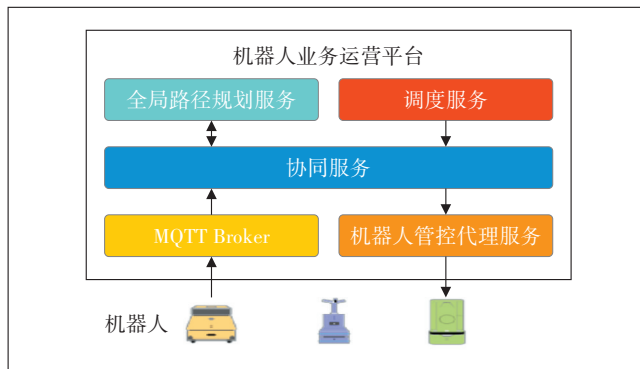


图6 机器人业务运营平台协同和其他服务的关系

径规划服务进行新路径的规划。

3.1 调度

调度服务接收来自上游的任务相关参数和机器人状态信息,结合调度算法,实现对业务所需机器人的选择。

调度服务创建订单队列和机器人队列。订单队列包含所有当前正在排队等待分配的实时订单;机器人队列维护多条不同业务模式的机器人队列,每条队列对应一种业务类型的机器人。调度服务的派单模块使用调度策略,对订单列表和机器人列表进行计算,最终给订单分配机器人,然后调用协同服务介入机器人的管理。

3.2 全局路径规划

全局路径规划服务收到协同服务的路线请求,为机器人规划一条最优路线。全局路径规划服务支持动态路径规划,可根据实时变化的道路交通状况,将动态交通信息加入机器人行驶路线的计算中,从而计算出最小成本的路径。

全局路径规划采用A*算法^[11],它结合了Dijkstra算法^[12]和启发式函数^[13]的思想,以减少展开的搜索节点数量。A*算法为每个节点分配一个估计值,表示从起始节点到当前节点的最短路径^[14]。估算值(f)包含实际成本(g)和启发式成本(h),每个节点的估算值(f)是当前节点到终点的实际成本(g)和启发式成本(h)之和。算法在从未访问过的节点中选择 f 值最小的节点进行扩展,一旦到达终点,算法就会停止并返回路径。

在进行成本计算时,根据机场的场景,需要考虑距离和路线优先通行方向等规划权重因子。距离权重主要基于路段长短,不区分机器人的类型和速度,路段阻塞或禁用时对所有机器人同等生效。路线优先通行方向权重主要根据实际路网通行方向的要求,规划优先通行的方向。此外,不同类型的机器人可行驶的路线不同,需要结合机器人类型在地图上的可通行性对路径成本进行计算。

3.3 机器人管控代理

当机器人供应商和管控API过多时,需要一个独立的服务来根据机器人供应商的不同,代理到对应的供应商适配服务,解耦复杂的机器人供应商业务管控问题,提升平台的可维护和可扩展性。

在统一供应商管控API的基础上,机器人管控代理服务配置了各个供应商的信息,包括控制地址、权限校验方式等。当协同服务对某一机器人发起的控

制请求到达本服务时,本服务通过查询该机器人所属的供应商,进而发起控制,避免协同服务过度参与到供应商的识别中。

3.4 MQTT Broker

平台提供MQTT Broker,用于接入机器人和机器人供应商数据。机器人和机器人供应商服务将机器人实时状态数据推送到平台的MQTT Broker,协同服务可订阅这些数据。协同服务所需要的数据主要包括机器人的在线状态、位置、阻塞事件、初始化事件等。

3.5 协同服务

3.5.1 地图设计

根据机器人避让和绕行场景的需求,首先设计多机器人协同的地图,在机器人业务路线的基础上规划机器人的协同点和协同时的行驶路线。以登机口G32为例,在G32左、右2个自动人行道的中间区域设置4个协同点,分别为32.L、32.R、32.A和32.B(见图7)。其中,点32.L和32.R用于标识自动人行道的边界,当机器人从G32向G34行驶时到达点32.L,说明机器人已经进入G32和G34之间的狭窄路段;当机器人从G32向G34行驶时驶离G34.R,说明机器人驶出G32和G34之间的狭窄路段。点32.A和点32.B作为G32和G34之间狭窄路段外的临时停靠点,当某机器人需要避让前方正在G32和G34之间狭窄路段内行驶的机器人时,由机器人业务运营平台将机器人调度到点32.A或点32.B进行避让。在登机口G32和G31之间存在一些32.L-31.L、32.R-31.R、32.B-31.L、32.R-31.B、32.B-31.B的连线,这些连线是机器人绕行阻塞路段时的路线。例如,当G32和G34之间狭窄路段被阻塞或禁用时,机器人业务运营平台可以调度机器人从点32.R,经过点31.B和31.L,行驶到G33的点33.R,绕过G32和G34之间的狭窄路段。

3.5.2 机器人避让流程中的协同服务

定义狭窄路段有3种状态:占用、预定和空闲。路

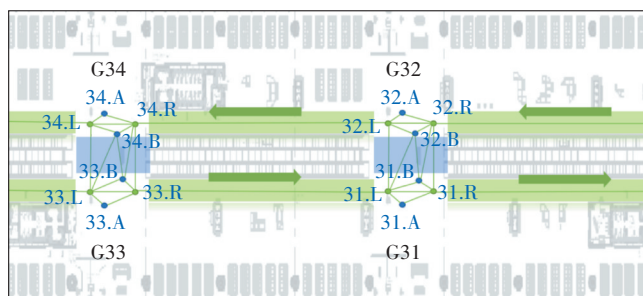


图7 机场航站楼内机器人协同区域地图

段占用指机器人位于路段两端点之间或处于路段的端点;路段预定指该路段虽然没有机器人位于路段两端点之间或处于路段的端点,但已经被某机器人提前预定,该机器人将以最高优先级通过该路段,其他机器人需避让该机器人;路段空闲指路段未被机器人占用或提前预定。

狭窄路段多机器人避让流程如图8所示。当调度服务选定机器人接收任务时,协同服务为接到任务的机器人请求全局路径规划服务^[15],获得原始规划路线。协同服务判断机器人是否满足出发条件:当规划路线中第一个狭窄路段被占用或预定,且该路段之前没有空闲临时停靠点时,机器人不能出发;否则,机器人可以出发。如果不满足出发条件,则协同服务持续监控路段和临时停靠点状态,直至路段空闲或者有空闲临时停靠点,才向机器人下发规划路线。如果满足出发条件,则判断前方第一个狭窄路段是否空闲。该出发条件不仅适用于机器人第一次出发,还适用于机器人已经停在临时停靠点准备再次出发的情况。

当机器人满足出发条件后,在出发前和行驶中,协同服务还需要判断机器人是否需要避让。在出发前,机器人会位于某个站点上,当机器人满足出发条件时,如果前方第一个狭窄路段空闲,则为该机器人预定该路段,并沿该路段行驶;如果前方第一个狭窄

路段被占用或预定,则更改机器人的原始规划路线,将机器人规划到该路段前的临时停靠点避让。在机器人行驶中,协同服务需要先找到当前机器人的协同“判断点”,该判断点与机器人前方下一个狭窄路段前的临时停靠点之间存在一定距离,例如,定义当前判断点与机器人前方下一个狭窄路段前的临时停靠点之间的协同点数等于2(包含临时停靠点)。当机器人到达该判断点时,协同服务判断前方下一个狭窄路段是否空闲。如果下一个狭窄路段空闲,则为该机器人预定该路段,并沿该路段行驶;如果下一个狭窄路段被占用或预定,则规划机器人到下一个狭窄路段前的空闲临时停靠点避让。

3.5.3 机器人绕行流程中的协同服务

路段阻塞或禁用机器人绕行流程如图9所示。协同服务实时订阅机器人状态和交通状态,当获得机器人被阻塞或路段被禁用的信息时,协同服务将计算哪些机器人会受到影响,这些机器人主要包括原规划路线中将要经过被阻塞或被禁用路段的机器人。协同服务携带机器人位置和路段信息请求全局路径规划服务,为这些机器人重新规划新路线。如果新的路线规划成功,协同服务向机器人下发新路线。如果新的路线规划失败,没有可以绕行的路线,协同服务则查询原规划路线中被阻塞或禁用路段前的空闲临时停

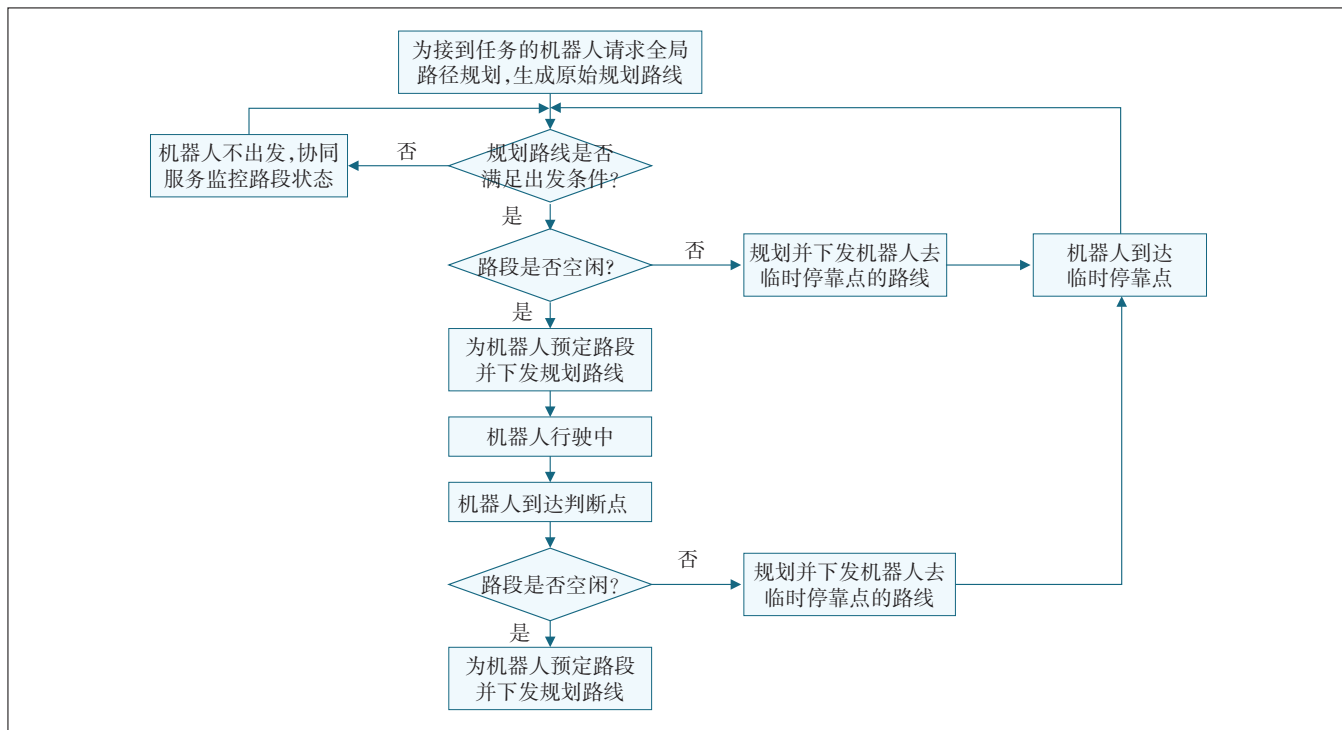


图8 狭窄路段多机器人避让流程

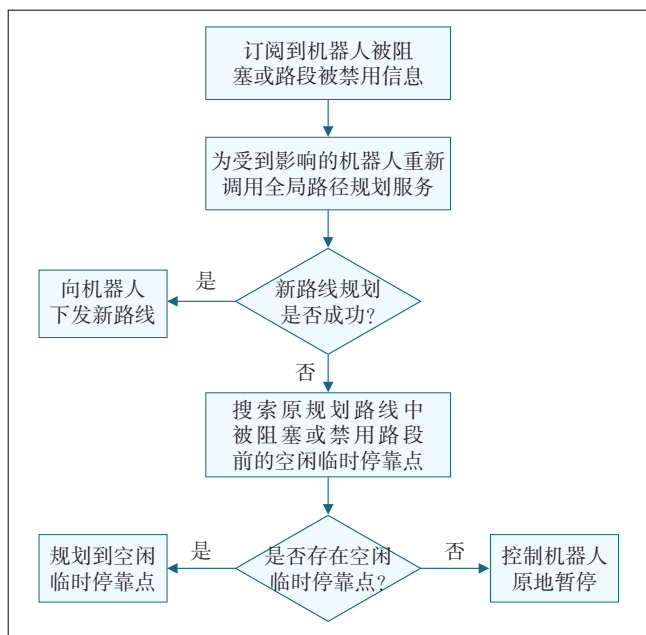


图9 路段阻塞或禁用机器人绕行流程

靠点。如果存在空闲临时停靠点,则规划机器人到空闲临时停靠点等待;如果不存在空闲临时停靠点,则控制机器人原地暂停。

当协同服务订阅到路段阻塞或禁用解除后,将重新调用全局路径规划服务,为在临时停靠点等待和原地暂停的机器人重新规划路线。重新规划的路线可以经过已解除阻塞或禁用的路段。

4 机器人业务运营平台在机场试点应用

基于机场航站楼内的需求分析和功能设计,在机器人业务运营平台上开发多机器人协同服务,并在某国际机场航站楼内进行了试点应用。在本次应用中,机器人业务运营平台接入了2家供应商的3种类型的机器人。在提供巡逻、商品配送和洗手间物资配送等业务时,机器人业务运营平台实现了多供应商机器人在同一区域内避让、机器人绕行阻塞路段等协同场景,解决了客户的痛点问题。

5 结束语

在机场航站楼内复杂环境下,多供应商机器人同时运营会产生多机器人阻塞等问题,需要通过跨供应商机器人协同来解决。本文探讨了机场航站楼内跨供应商多机器人协同的需求,并在机器人业务运营平台上,以协同服务为核心,介绍了全局路径规划、调度、机器人管控代理和 MQTT Broker 等服务如何与协

同服务进行配合。同时,本文设计了特定场景下多机器人的避让和绕行等协同服务逻辑,并在某机场航站楼内部分区域落地应用,提高了跨供应商多机器人的运营效率。未来,实现机场内所有区域的多机器人协同仍需要梳理各个区域对于多机器人协同的需求,并针对特定区域和特定需求进行协同逻辑的设计。

参考文献:

- [1] 王勇,祝鑫,朱嘉敏,等. 机场服务机器人控制系统设计与研究[J]. 现代机械,2019(1):25-31.
- [2] 张晓凡,李伟清. 智慧警务背景下警务巡逻机器人的适用性探究[J]. 北京警察学院学报,2022(6):73-79.
- [3] 陶永,刘海涛,王田苗,等. 我国服务机器人技术研究进展与产业化发展趋势[J]. 机械工程学报,2022,58(18):56-74.
- [4] 严正罡,甄军平. 巡检机器人应用综述及在机场应用前景展望[J]. 现代计算机,2022,28(2):50-55.
- [5] 陈丹. 我国机器人产业迈向高质量发展阶段[J]. 电气时代,2022(7):31-33.
- [6] QIU L, HSU W J, HUANG S Y, et al. Scheduling and routing algorithms for AGVs: a survey[J]. International Journal of Production Research, 2002, 40(3): 745-760.
- [7] LI Z W, WU N Q, ZHOU M C. Deadlock control of automated manufacturing systems based on petri nets—a literature review[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 2012, 42(4): 437-462.
- [8] 刘婧蓉. S机场航站楼突发事件旅客应急疏散研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2022.
- [9] 佚名. 海康威视“阡陌”机器人在智能仓储中的应用[J]. 智能机器人, 2016(4): 81-84.
- [10] 付梦家,游晓明. 多机器人系统及其路径规划方法综述[J]. 软件导刊, 2017, 16(1): 177-179.
- [11] HART P E, NILSSON N J, RAPHAEL B. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths[J]. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, 1968, 4(2): 100-107.
- [12] JOHNSON D B. A note on dijkstra's shortest path algorithm[J]. Journal of the ACM, 1973, 20(3): 385-388.
- [13] 李闯. 基于路标的启发式搜索规划方法及其应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [14] 常晨. 基于改进 A-star 算法的路径规划的研究及应用[D]. 南京: 南京大学, 2020.
- [15] 谭成志. 融合改进人工势场的 A* 算法在机器人全局路径规划中的应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022.

作者简介:

谢梦楠,高级工程师,硕士,主要从事自动驾驶、机器人领域的产品研发工作;高艺嘉,工程师,硕士,主要从事智慧交通、自动驾驶、机器人领域的产品研发工作;杜忠岩,教授级高级工程师,硕士,主要从事智慧交通、室内外定位领域的产品研发工作;曾鹏伊,硕士,主要从事机器人领域的产品研发工作。