

基于Odoo平台的校园无人车快递配送系统创新设计

殷发明, 游选勇, 郑栩爵, 张晓帅

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年3月6日; 录用日期: 2025年4月17日; 发布日期: 2025年4月27日

摘要

随着高校学生网购比例的急剧增长, 校园快递“最后一公里”问题日益突出。文章以上海工程技术大学松江校区为例, 深入研究了校园内无人车配送快递系统的创新应用, 旨在解决现有校园快递配送中存在的取件不便、配送效率低下等问题。通过采用Odoo开源系统, 设计了一套包括上门取送件、配送过程跟踪、费用结算等功能模块的校园无人车快递服务运营支撑系统。该系统利用聚类算法进行订单分类计算, 并结合调度算法对无人配送小车进行路径规划, 以提高配送效率和用户体验。同时, 探讨了后台管理子系统的功能设计, 包括车辆数据管理、实时跟踪定位、权限管理等。文章的研究为校园快递配送提供了一种新的解决方案, 相较于传统校园配送系统, 文章创新性地将Odoo平台的模块化特性与无人车技术结合, 实现了更灵活的定制化服务。

关键词

校园快递, 无人车配送, Odoo平台, 最后一公里, 系统设计

Innovative Design of Campus Autonomous Vehicle Express Delivery System Based on Odoo Platform

Faming Yin, Xuanyong You, Xujue Zheng, Xiaoshuai Zhang

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Mar. 6th, 2025; accepted: Apr. 17th, 2025; published: Apr. 27th, 2025

Abstract

With the sharp increase in the proportion of online shopping among college students, the “last mile”

文章引用: 殷发明, 游选勇, 郑栩爵, 张晓帅. 基于 Odoo 平台的校园无人车快递配送系统创新设计[J]. 软件工程与应用, 2025, 14(2): 421-431. DOI: 10.12677/sea.2025.142038

problem of campus express delivery has become increasingly prominent. Taking the Songjiang Campus of Shanghai University of Engineering Science as an example, this paper conducts an in-depth study on the innovative application of the unmanned vehicle delivery system in the campus, aiming to solve the existing problems in campus express delivery such as inconvenient collection and low delivery efficiency. By adopting the Odoo open-source system, a campus unmanned vehicle express delivery service operation support system with functions such as door-to-door collection and delivery, delivery process tracking, and fee settlement has been designed. The system uses clustering algorithms for order classification and combines scheduling algorithms for path planning of unmanned delivery vehicles to improve delivery efficiency and user experience. Meanwhile, the functional design of the back-end management subsystem, including vehicle data management, real-time tracking and positioning, and permission management, is also discussed. The research in this paper provides a new solution for campus express delivery. Compared with traditional campus delivery systems, this paper innovatively combines the modular characteristics of the Odoo platform with unmanned vehicle technology to achieve more flexible customized services.

Keywords

Campus Express Delivery, Autonomous Vehicle Delivery, Odoo Platform, Last Mile, System Design

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

近年来,我国高校学生的网购比例急剧增长,使校园快递成为快递行业中不可忽视的一部分。尽管整体快递服务质量有所提高,但在校园配送服务中仍存在“最后一公里”问题[1]。高校快递的特点包括数量多、增长速度快、用户期望高等。目前,校内用户主要通过集中或分散的快递点自取快递,步行为主。在校园内应用无人车配送的研究相对较少,现有研究主要集中在无人车在外部复杂道路或封闭空间内的应用,不适合校园快递配送场景。

以上海工程技术大学松江校区为例,高校用户与快递点之间的距离较远,随着网购数量的增加,高校用户取件面临不便、配送超负荷运转和排队时长延长等问题日益凸显。虽然自助式取件、随机上架和非专属货架等模式能够部分缓解以上问题,但是仍然存在取件效率低和配送速度慢等问题[2]。为了解决这些难题,有必要深入研究校园内无人车配送快递系统,以提升校园快递服务的整体效率和用户体验。通过引入创新科技,可以为校内配送带来更为高效和便捷的解决方案,从而满足高校用户日益增长的网购需求[3]。

同时,本文调查了上海工程技术大学学生对于校园快递取件存在的问题的一些反馈,收集 521 份问卷,采用分层抽样法,覆盖松江校区 8 个学院,有效回收率 92%。调查结果表面,学生反馈的取件不便、排队时间长等问题,正是校园快递“最后一公里”问题的具体体现。如下图 1 所示。

1.2. 研究意义

当前背景下,对校园快递无人配送进行研究具有显著的意义。引入无人配送方式不仅可以提高配送效率,减少人员接触,更可以为校园配送带来一系列积极的变革。

Odoo 是全球流行的开源企业管理套件, 是一个一站式全功能 ERP 及电商平台。已经有众多知名企业或机构选择使用 Odoo, 如 Shell 中国壳牌, 白云机场, 万达, 吉利汽车、TOYOTA、FedEx、复星、中兴、Lenovo、UPS、ZTE 中兴、新希望集团等。采用 Odoo 开源系统进行开发具有诸多优势[4]。首先, Odoo 拥有强大的模块化特性, 能够根据具体需求定制开发, 为校园快递配送系统提供灵活的解决方案。其次, Odoo 具备开源软件的开放性, 可以降低系统的开发成本, 为学校提供经济可行的解决方案。此外, Odoo 系统的用户界面友好, 易于使用, 有助于提升整个校园配送系统的用户体验。

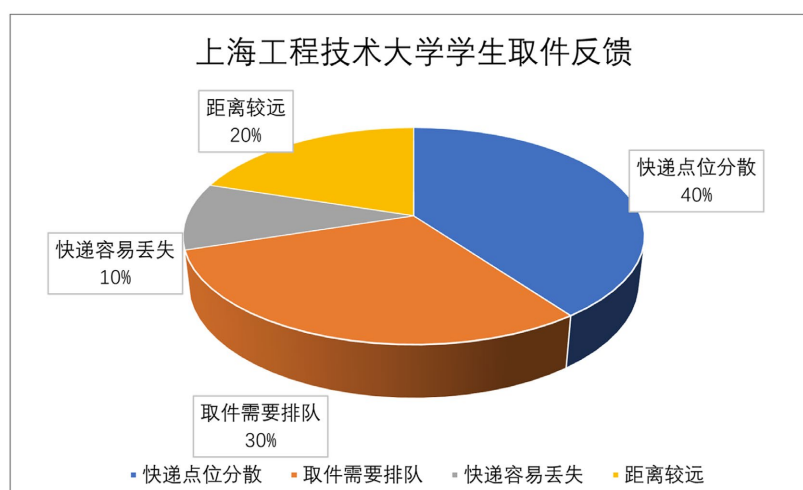


Figure 1. Student feedback on package collection at Shanghai University of Engineering Science

图 1. 上海工程技术大学学生取件反馈

2. 国内外研究现状

在国外, 无人快递配送技术的研究和应用起步较早。美国的亚马逊公司早在 2013 年就提出了 Amazon Prime Air [5] 无人机配送项目, 旨在利用无人机为用户提供 30 分钟内的快递配送服务。经过多年的研发和测试, 该项目在技术上取得了显著进展, 如无人机的续航能力、载重能力不断提升, 避障和导航技术也日益成熟。目前, 亚马逊已在部分地区进行了试点运营, 并计划在未来进一步扩大服务范围。此外, 美国的 Nuro 公司专注于无人配送车的研发和应用, 其无人配送车已在多个城市与零售企业合作, 开展货物配送服务, 能够在复杂的城市道路环境中自主行驶, 准确将货物送达目的地。欧洲在无人配送领域也有积极的探索。英国的 Starship Technologies 公司推出的小型配送机器人, 主要用于短距离的包裹和食品配送。这些机器人能够在人行道上自主导航, 通过与用户的手机应用交互, 实现货物的准确交付。德国邮政 DHL 集团则在物流园区内应用无人配送车, 进行货物的内部运输和分拣, 提高了物流作业效率, 减少了人力成本。

在国内, 随着电商和快递行业的快速发展, 无人快递配送技术也受到了广泛关注和大量投入。京东早在 2016 年就展示了其自主研发的无人配送车, 并在多个城市的高校和社区进行了试点运营。京东的无人配送车配备了先进的传感器、人工智能算法和高精度地图, 能够实现自动驾驶、智能避障和路径规划。在高校场景中, 无人配送车能够按照预定路线将快递准确送达学生宿舍楼下, 大大提高了快递配送效率, 解决了校园“最后一公里”配送难题。美团也在无人配送领域持续发力, 推出了“魔袋”系列无人配送车, 并在北京顺义等地区进行了大规模试点运营。美团的无人配送车主要应用于外卖配送场景, 能够根据订单信息自动规划最优配送路线, 避开交通拥堵路段, 确保餐食能够及时送达用户手中。

Odoo 作为开源企业管理套件，在国内外都有广泛的应用[6]。在物流领域，Odoo 的应用主要集中在企业内部的物流管理，如库存管理、订单处理、运输调度等。在国外，一些物流企业利用 Odoo 的模块化特性，定制开发了适合自身业务需求的物流管理系统，实现了物流流程的自动化和信息化。在国内，Odoo 的应用也逐渐增多。一些电商企业和物流企业开始采用 Odoo 来优化物流管理流程，提升运营效率。

然而，目前将 Odoo 应用于无人快递配送系统的研究和实践相对较少，尤其是在结合国内复杂的快递配送场景和多样化需求方面，还存在较大的研究空白。综合来看，国内外在无人快递配送技术方面已经取得了一定的成果，但在技术的稳定性、安全性、成本控制以及与现有快递配送体系的融合等方面仍有待进一步提升。在 Odoo 的应用方面，虽然在企业物流管理中有一定的应用案例，但在无人快递配送系统中的应用还处于探索阶段。未来的研究可以朝着将 Odoo 与无人快递配送技术深度融合的方向发展，充分发挥 Odoo 的优势，解决无人快递配送系统在运营管理中的问题，提高无人快递配送系统的智能化和高效化水平。

3. 系统设计

3.1. 系统流程设计

校园无人车快递配送系统的整体流程设计在实现高效、智能化的校园快递服务方面具有重要意义。整个流程设计考虑了校园无人配送系统的实际运营需求，注重了任务规划与调度的智能化，以提高系统的效率、可靠性和用户体验。

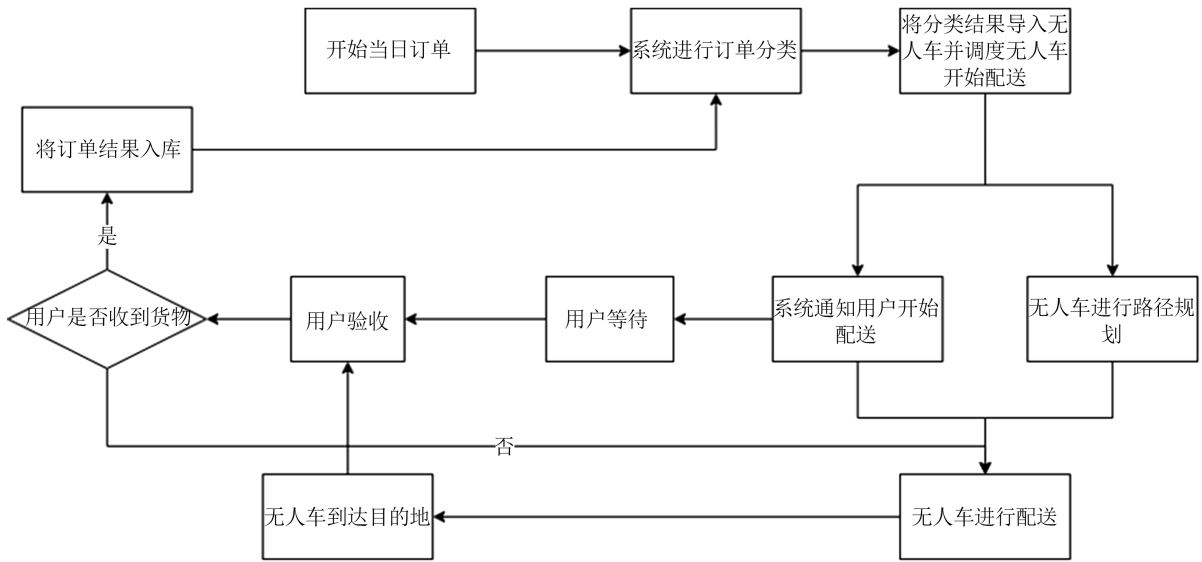


Figure 2. Design of the process flow diagram for the campus intelligent unmanned vehicle delivery innovation system
图 2. 校园智能无人车快递创新系统流程设计图

- 以下是对上图 2 所示流程的详细描述：
- 1) 订单接收与处理阶段：当日订单的接收标志着系统输入的启动。这些订单包括当日待派送的所有订单，以及之前未能成功派送的订单。该阶段的目标是建立一个全面的订单清单，为后续的任务规划提供基础。
 - 2) 订单分类计算阶段：计算机通过应用聚类算法，对当日订单进行精确分类计算。这一步骤的核心在于将订单按照一定规则划分成不同类别，形成明确的配送任务，为后续的任务调度提供准确的任务数据。

- 3) 任务分派与无人车装载阶段：根据已形成的配送任务，系统开始将任务分派给处于空闲状态的无人配送小车。同时，通知这些小车前往配送中心进行货物的装载。这一步骤旨在最大程度地利用系统资源，实现高效的任务分工。
- 4) 客户通知与路径规划阶段：向客户发送通知，确认客户是否有取货的时间窗口。系统根据客户反馈，进行全局路径规划，确保无人配送小车能够以最优路径完成配送任务。这一阶段注重实时通讯，以适应客户的时间需求。
- 5) 配送与客户验收阶段：无人配送小车装载完货物后，开始按照规划的路径进行配送。到达客户位置后，等待客户进行验收。该阶段强调配送的准确性和客户满意度。
- 6) 订单完结与重复配送阶段：在配送过程中，系统不断检验订单货物是否全部配送完成。若尚有待配送的货物，系统将重复执行上述步骤，直至配送任务全部结束。这一循环性的设计确保了系统的持续运行。

3.2. 系统架构设计

校园无人车快递配送系统旨在通过基于 Odoo 平台的高度智能化解决方案，彻底改变校园内最后一公里的快递配送体验。如下图 3 所示，系统分为网络接口层、业务支撑层和用户界面层，以实现个性化、便捷化、智能化的校园快递运送[7]。

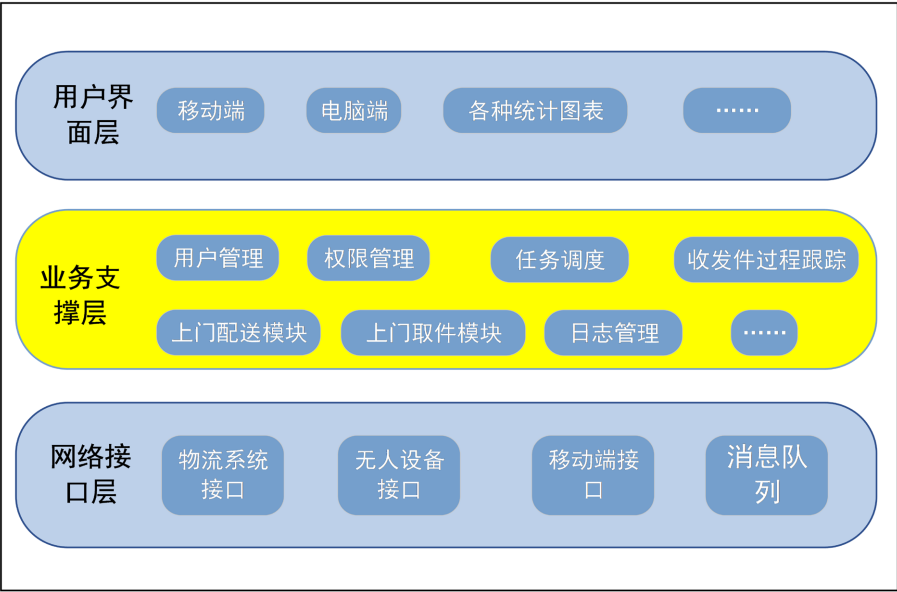


Figure 3. Overall business architecture diagram of the system
图 3. 系统总体业务架构图

- 1) 网络接口层：Web 网络服务器充当 Odoo 系统的输入端口与触发器，其核心职责是精准获取各大快递平台(如顺丰快递、邮政快递等)的订单详细信息，涵盖包裹的配送地址、物品实体的包裹尺寸等数据，并将这些数据传输至校园服务器。校园网络服务器位于校园内部配送中心，负责接收 Web 服务器传输的订单数据，并依据既定规则进行存储，为后续的任务规划与调度计算提供数据基础。
- 2) 业务支撑层：业务支撑层涵盖无人配送相关业务模块，包括但不限于用户管理、权限管理、上门取件模块、配送上门模块、物流跟踪模块以及任务调度模块等。其中，任务调度模块是软件层的核心，堪称系统的“大脑”，负责处理外部数据并指挥后续进程，对整个系统的运行至关重要。在订单分类指

派阶段, 校园数据库接收订单数据后, 计算机利用聚类算法按照既定规则对订单数据进行解析计算, 得出的订单分类结果即为后续配送任务, 该结果作为输入传递给调度部分。在配送机器人路径规划阶段, 系统获取订单分类结果, 依据现有空闲配送机器人的位置与数量, 结合调度算法对无人配送小车进行调度, 使其前往配送中心取货, 取货完成后, 根据配送地点规划最短配送路径。

3) 用户界面层: 用户界面层是软件层面向用户所展现的功能, 主要体现在物流阶段与用户收货阶段。在物流阶段, 无人车承担装载与运输职责, 配送中心则具备存储货物、指挥调度的功能。配送中心位于校园内, 类似于校园内的快递门店, 负责存储订单货物、分拣已分配任务的货物, 并对到达的配送机器人进行装配。无人车依据校园地图停留在指定停放区域, 接收校园服务器下达的任务, 前往指定配送中心装配货物, 并按照规划好的路线执行无人配送任务。在用户收货阶段, 用户及其移动终端承担验收功能。配送发出时, 用户的移动终端会收到校园服务器发送的短信提醒, 配送机器人到达指定位置后, 用户进行取货, 待所有货物取完, 此次配送任务即告完成。

3.3. 系统后台管理子系统设计

后台管理子系统是校园无人车快递配送系统中的核心组成部分, 通过根据车载端提供的无人车实时情况、交通路况等信息, 调度和管理配送车辆。此系统为快递员和用户提供实时的快递运输信息, 确保正确的快递投放, 从而提升整体的时效性和服务质量。后台管理子系统主要包括以下功能[8]:

1) 智能车辆基础数据管理与查询: 系统管理员可录入新车辆信息, 全面管理车辆、监测、GPS 监控终端等数据, 能查询车辆、人员、定位、车速、车况、报警、轨迹等信息, 还支持灵活的条件检索。

2) 无人车辆实时跟踪与定位: 整合 GIS 服务, 准确获取无人车位置, 在电子地图上展示实时轨迹和定位, 便于后台监控和管理, 还提供地图显示、位置查询等功能。

3) 系统权限管理: 精细管理用户权限, 保障信息安全和业务流程畅通。

4) 运输信息实时反馈: 为快递员和客户反馈实时运输信息, 包括无人车位置、即将到达地、运输进度等, 提高时效性和服务体验。

5) 数据查询与分析: 支持查询分析配送数据, 如效率、路线、车辆使用率等, 优化配送策略, 提高运输效益。

后台管理子系统通过以上功能的整合, 实现了对无人车辆的智能化管理, 为配送流程提供了更高效、精确的支持。

4. 系统核心技术选型与仿真

4.1. 系统集成技术

在 Odoo 平台中, 开发定制化的 REST API 接口, 用于接收和发送无人车系统的订单信息。当有新的快递订单产生时, Odoo 平台将订单的详细信息, 包括收件人地址、联系方式、订单物品等, 通过 REST API 发送给无人车系统。无人车系统接收到订单信息后, 进行任务分配和路径规划, 并将订单的执行状态, 如已接单、正在配送、已送达等, 通过 REST API 实时反馈给 Odoo 平台。为了确保数据传输的稳定性和可靠性, 采用消息队列技术, 如 RabbitMQ 等, 对订单信息进行异步传输, 避免因网络波动或系统繁忙导致的数据丢失或延迟。同时, 对 REST API 接口进行严格的权限管理和数据校验, 确保只有授权的系统能够访问和交互数据, 保证数据的安全性和完整性。

4.2. 订单聚类算法

在众多聚类算法中, DBSCAN 算法[9]以其能够发现任意形状的簇以及自动识别噪声点的优势, 在处

理复杂分布的数据时表现出色。然而，传统 DBSCAN 算法在面对校园快递配送这种复杂多变的场景时，也存在一定的局限性，例如对参数邻域半径和最小点数的选择较为敏感，且在计算密度时未充分考虑校园内的实际地理特征和交通状况。因此，本研究对 DBSCAN 算法进行了改进，结合密度阈值与网格划分的方式，以提高算法的适应性和准确性。

在改进后的算法中，首先根据校园地图和历史订单数据，将校园区域划分为多个大小相等的网格单元。每个网格单元作为一个基本的处理单位，计算其内部订单点的密度。对于每个网格单元，设定一个密度阈值，若该网格单元内的订单点密度超过此阈值，则将其标记为高密度区域，作为聚类的潜在核心区域。通过这种方式，可以减少不必要的距离计算，提高算法的运行效率。同时，在计算邻域半径时，不再采用全局统一的固定值，而是根据每个网格单元的密度和周边环境动态调整，使得算法能够更好地适应校园内不同区域的订单分布情况。

4.3. 路径规划算法

路径规划算法在基于 Odoo 的无人快递配送系统中起着核心作用，直接影响配送效率和成本。同时，路径规划是无人快递配送系统的核心技术之一，其核心目标是为无人车规划出从起点到终点的最优行驶路径。Dijkstra 算法[10]与 A*算法[11]是两种经典的路径规划算法，在无人配送场景中具有重要应用价值。本节将详细阐述两种算法的原理与实现，并通过仿真实验对比其性能差异。

4.3.1. 算法仿真与可视化

为验证两种算法的性能差异，本文设计了一个 10×10 的网格地图仿真实验。地图中黑色网格代表障碍物，起点位于左上角(0,0)，终点位于右下角(9,9)。通过 Python 实现两种算法，并利用 Matplotlib 库进行可视化。

Dijkstra 算法的具体仿真结果如图 4 所示，A*算法的具体仿真结果如图 5 所示。

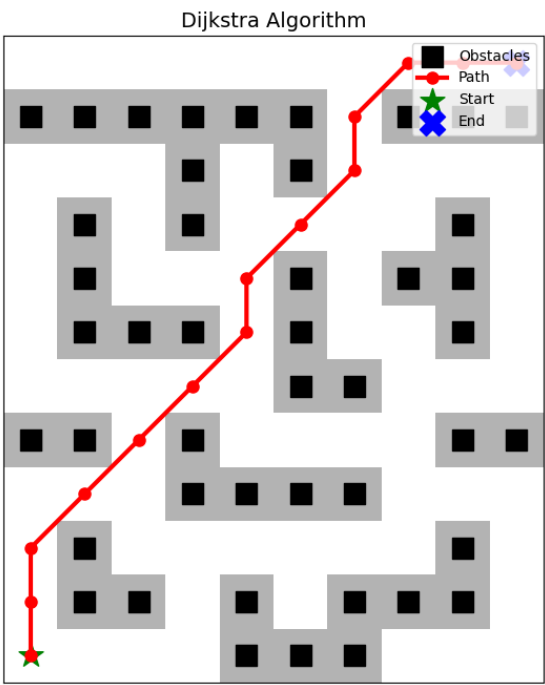


Figure 4. Dijkstra Algorithm path planning simulation diagram
图 4. Dijkstra 算法路径规划仿真图

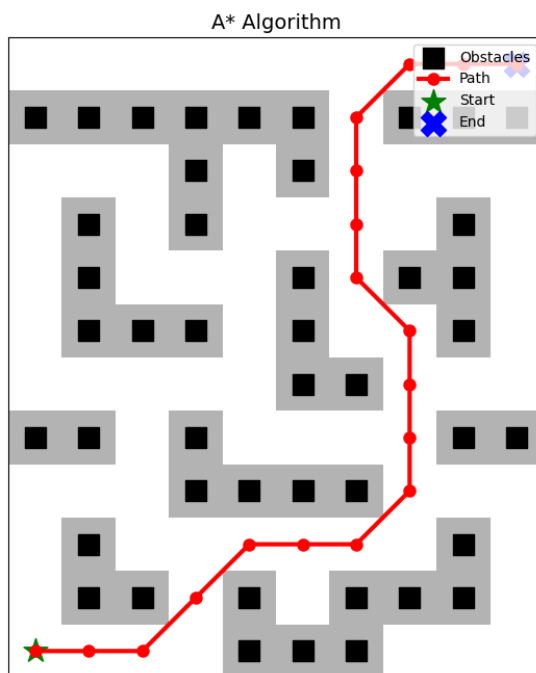


Figure 5. A* Algorithm path planning simulation diagram
图 5. A*算法路径规划仿真图

从上图 4 和图 5 中对比可见：Dijkstra 算法的路径呈现明显曲折特征，因其仅基于起点到当前节点的实际代价搜索，无启发函数引导搜索方向，需遍历大量节点以确保找到全局最短路径，导致搜索范围广、效率较低；而 A* 算法引入启发函数(如估算当前节点到终点的距离)，能引导搜索优先朝向终点方向推进，路径更直接且搜索范围更小，极大减少了无效节点遍历。两者虽都实现避障寻径，但核心差异在于：Dijkstra 依赖“全局遍历”保证最短路径，适合无先验信息场景；A 凭借启发策略平衡搜索方向与代价，在大规模地图中效率优势显著，更适配需要快速规划路径的应用场景，体现了启发式算法在优化搜索策略上的优越性。

4.3.2. 算法仿真结果分析

为验证 Dijkstra 算法与 A* 算法在路径规划中的性能差异，通过多次仿真实验对节点扩展数量、路径长度、执行时间及路径步数等核心指标进行对比分析，具体结果如表 1 所示，可视化结果如图 6 所示。

从“Nodes Expanded Comparison”图表及数据可知，Dijkstra 算法平均扩展节点数量为 72.00，而 A* 算法仅为 34.00。A* 算法因引入曼哈顿距离启发式函数，能够优先搜索更接近终点的节点，有效缩小搜索范围，减少无效节点扩展，相比 Dijkstra 算法，节点扩展量降低约 52.8%。这表明 A* 算法在搜索效率上具有显著优势，可更快锁定目标路径。

在路径长度指标上，Dijkstra 算法平均路径长度为 15.90，A* 算法为 19.07。理论上 A* 算法在可采纳启发式下应保持最优性，此次数据差异可能受地图障碍物分布、起点终点位置影响。故具体适用算法的确定应该根据具体场景进行具体分析。

“Execution Time Comparison”结果显示，Dijkstra 算法平均执行时间为 0.0004 ± 0.0005 秒，A* 算法仅为 0.0001 ± 0.0003 秒。A* 算法因启发式引导减少了搜索空间，执行时间大幅缩短，效率提升约 75%。这一结果验证了 A* 算法在处理大规模地图或复杂场景时，能够更快输出规划结果，更适用于对实时性要求较高的场景。

路径步数反映算法搜索路径的策略差异。Dijkstra 算法平均步数为 14.00, A*算法为 18.00。尽管 A*算法步数略多, 但其通过启发式函数平衡了搜索方向与路径代价, 在保证算法效率的同时, 仍能规划出接近最优的路径。

Table 1. Algorithm core index comparison table

表 1. 算法核心指标对比表

算法	节点扩展数量	路径长度	路径步数	执行时间(s)
Dijkstra	72.00 ± 0.00	15.90 ± 0.00	14.00 ± 0.00	0.0004 ± 0.0005
A*	34.00 ± 0.00	19.07 ± 0.00	18.00 ± 0.00	0.0001 ± 0.0003

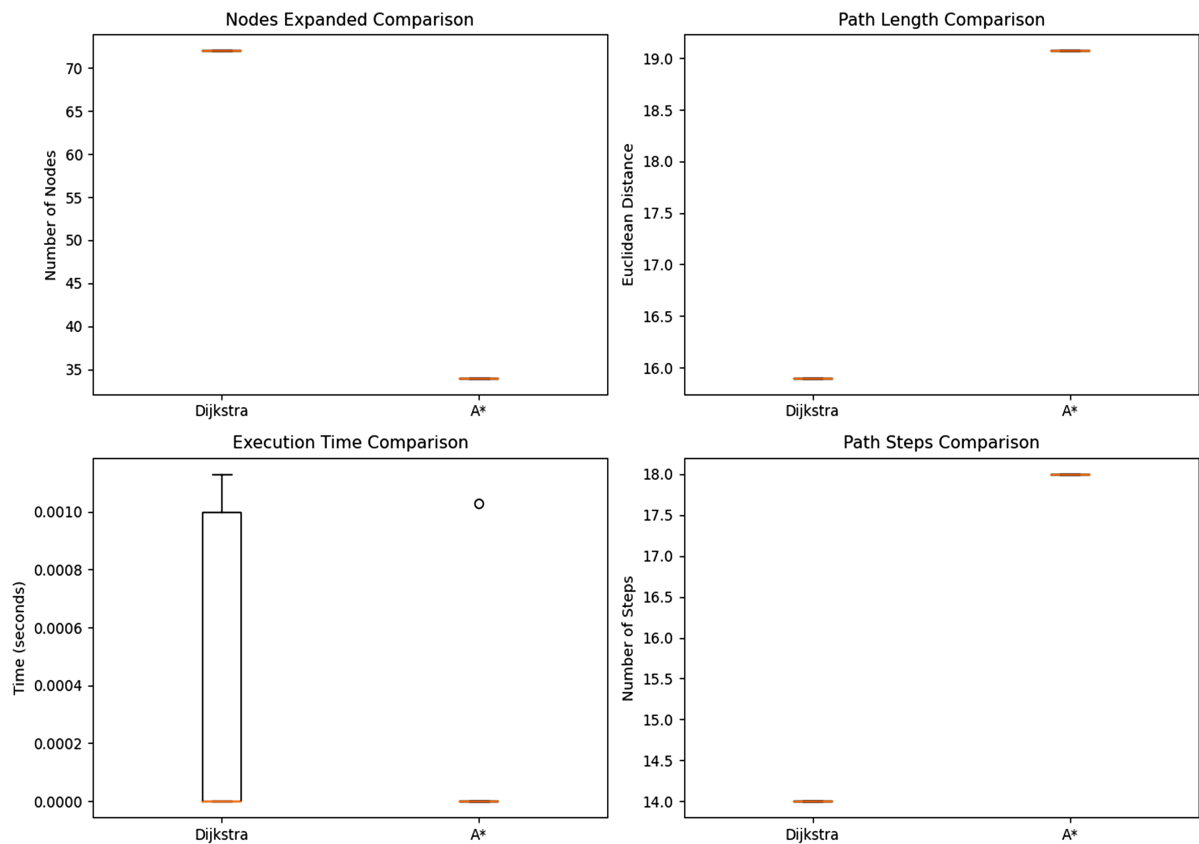


Figure 6. Visualization of core index of algorithm

图 6. 算法核心指标可视化图

4.3.3. 算法仿真实验总结

在小规模场景中, Dijkstra 算法的路径长度优势和绝对最优性更具价值, 适合仓库货架路径规划等需精确最优解的场景。而 A*算法在节点扩展量和执行时间上的显著优势, 使其更适合校园配送路径规划等实时性要求高的场景。总而言之, Dijkstra 算法的核心优势在于逻辑简洁, 基于贪心策略逐步扩展节点, 能严格保证找到最短路径, 在小规模场景或对路径最优性要求极高的场景中, 结果可靠性强。但其缺陷也很突出: 因无启发式引导, 搜索存在盲目性, 需遍历大量节点, 在大规模或复杂环境中效率低下。A*算法的显著优点是通过启发式函数引导搜索方向, 优先探索靠近终点的节点, 大幅提升效率, 且在启发函数可采纳时能兼顾路径最优性。

4.4. 复杂环境避障技术

感知模块在无人车的复杂环境导航避障系统中是实现安全行驶的基础。该模块主要负责获取无人车周围的环境信息，通过点云数据[12]预处理和障碍物检测技术，为后续的决策和控制提供准确的数据支持。点云数据由激光雷达等传感器采集得到，包含了大量的环境信息，但其中也存在一些噪声和非目标点云，如远处的建筑物、树木等对无人车行驶影响较小的信息。为了提高数据处理效率和准确性，首先对原始点云数据进行滤波处理，采用体素滤波、统计滤波等方法，去除离群点和噪声点，保留与无人车行驶密切相关的目标点云。例如，通过体素滤波可以将点云数据划分成多个小的体素单元，每个体素单元内的点云数据进行平均处理，从而减少数据量并平滑点云；统计滤波则根据点云数据的统计特征，去除偏离均值较大的离群点。经过滤波处理后的点云数据，采用基于深度学习的障碍物检测算法，对障碍物进行识别和分类。这些算法能够学习点云数据的特征，准确地判断出障碍物的类型，如行人、自行车、车辆等，并确定其位置和大小。通过不断地训练和优化模型，提高障碍物检测的准确率和召回率，确保无人车能够及时发现周围的障碍物，为后续的避障决策提供可靠的依据。

决策模块是无人车导航避障系统的核心，它根据感知模块提供的环境信息，生成合理的避障轨迹，确保无人车能够安全地避开障碍物。本研究采用 S 型轨迹[13]生成算法结合滚动时域优化的方法，实现无人车在复杂环境下的避障决策。S 型轨迹生成算法能够生成平滑的避障轨迹，避免无人车在避障过程中出现急转、急停等不稳定的运动。该算法根据无人车的当前位置、速度以及障碍物的位置信息，通过数学模型计算出一条 S 型的避障轨迹，使得无人车能够以较为平稳的方式绕过障碍物。同时，为了适应环境的动态变化，引入滚动时域优化技术，将避障过程划分为多个时间步，在每个时间步内，根据当前的环境信息和无人车的状态，对未来一段时间的避障轨迹进行优化。通过不断地滚动优化，实时调整避障轨迹，确保无人车能够在复杂多变的环境中始终保持安全的行驶路径。

5. 结语

本文基于 Odoo 开源平台，针对高校快递“最后一公里”配送难题，提出了一种校园无人车快递配送系统的创新解决方案。在核心技术层面，改进的 DBSCAN 聚类算法结合网格划分策略，提升了订单分类的效率和适应性；路径规划中通过对比 Dijkstra 与 A*算法的仿真实验，验证了 A*算法在实时性与效率上的显著优势，为复杂校园场景下的无人车调度提供了理论依据；同时，基于点云感知与 S 型轨迹优化的避障技术，确保了无人车在动态环境中的安全性与稳定性。

本系统的创新性在于将 Odoo 平台的高定制化能力与无人车配送技术深度融合，不仅优化了配送流程、降低了人力成本，还通过用户友好的界面设计提升了校园用户的取件体验。实际应用中，该系统有望缓解高校快递站点超负荷运转、排队时间过长等问题，为智慧校园建设提供了可落地的技术路径。

然而，本研究目前主要基于仿真与理论分析，未来需进一步在实际校园环境中验证系统的可靠性与鲁棒性。此外，可探索多车协同调度、动态订单实时响应等技术的集成，以应对更复杂的配送需求。随着人工智能与物联网技术的持续发展，该系统可通过引入边缘计算、5G 通信等技术，进一步优化响应速度与扩展服务场景，为校园物流智能化升级提供更全面的支持。

基金项目

2024 年上海工程技术大学校级大学生创新训练项目(cxz2403001)。

参考文献

- [1] 严则迪. 基于工业工程的 J 高校物流“最后一公里”探索研究[J]. 中国储运, 2023(10): 145.

-
- [2] 原景成. 高校“最后一公里”快递配送现状研究分析——以 B 大学研究生公寓为例[J]. 中国物流与采购, 2020(3): 58.
 - [3] 杨传琦, 丁宁, 吕聪. “最后一公里”校园智能快递系统设计[J]. 信息记录材料, 2020, 21(5): 82-83.
 - [4] Utami, R.S.D.D. (2024) Implementation of Odoo Based on Enterprise Resource Planning System with Sales and Purchasing Module Using Rapid Application Development. Universitas Islam Indonesia.
 - [5] Na, W. (2023) A Case Analysis on Amazon Delivery Drones Taking over Traditional Delivery Method. *International Journal of Economic Behavior and Organization*, **11**, 1-6. <https://doi.org/10.11648/j.ijebo.20231101.11>
 - [6] 张鑫红. 基于 Odoo 平台的 SX 公司 MES 设计[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2021.
 - [7] 方超. 服务设计理念下无人车配送系统原型研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2021.
 - [8] 徐雄杰, 林倩, 金圣男, 等. 从自动驾驶看无人驾驶叉车的技术落地和应用[J]. 工程机械, 2024, 55(5): 149-152.
 - [9] 魏均洲, 张琦智. DBSCAN 算法的研究与应用[J]. 科学与信息化, 2024(11): 41-43.
 - [10] 遇娜, 简广宁. Dijkstra 算法的优化[J]. 天津职业院校联合学报, 2011, 13(2): 89-91.
 - [11] 孔慧芳, 盛阳. 基于改进 A 算法的 AGV 路径规划研究[J]. 现代制造工程, 2021(10): 60-64.
 - [12] 郭张翔, 闫天红, 周国强. 3D 点云数据处理方法研究进展[J]. 计算机科学, 2024, 51(z2): 196-208.
 - [13] 叶文涛, 贺云波. 基于 S 型曲线的传输机器人避障轨迹规划[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(4): 74-78.