

分类号：TP242.2, TP249
学号：20222109081

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



基于虚拟技术的智能仓储 AGV 路径规划研究

学位申请人	谢婷芮
指导教师	赵永满教授
申请学位门类级别	工学硕士
学科、专业名称	机械
研究方向	智能制造技术
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子
2025年5月

分类号: TP242.2, TP249
学号: 20222109081

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



基于虚拟技术的智能仓储 AGV 路径规划研究

学位申请人	谢婷芮
指导教师	赵永满 教授 齐伟 高级工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	机械
研究领域	智能制造技术
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2025年5月

**Research on intelligent warehouse AGV path planning based on
virtual technology**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

By

Xie Ting-rui

(Mechanical Engineering)


Dissertation Supervisor: Prof. Zhao Yong-man

May, 2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明


本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名： 

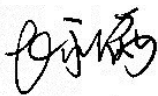
时间： 2024 年 5 月 19 日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名： 

时间： 2025 年 5 月 19 日

导师签名： 

时间： 2025 年 5 月 19 日

摘要

在互联网飞速发展的今天，许多国家提出了新的发展方向和理念，德国的“工业 4.0”、美国的“工业互联网”、法国的“新工业法国”、日本的“再兴战略”，以及中国的“中国制造 2025”。在新兴理论的冲击下，也对制造业的各个环节有了更新的要求，其中产业链是制造业的重要支撑。在现阶段的供应链系统中，从原材料的采购到产品的生产、供应、分销、零售，最终送至客户，在此过程中仓储管理系统处于基础核心地位。目前新疆兵团农机企业仓储管理中仍存在对人工依赖较重、区域划分不明确、货品摆放杂乱、库存不透明、员工培训不规范、运输效率低等问题。基于采棉机生产制造 X 公司，开展了基于虚拟技术的智能仓储 AGV 路径规划研究。本文的主要研究工作如下：

(1) 智能仓储虚拟工厂仿真平台总体方案设计。在深入了解开发智能仓储平台关键技术的基础上，对 X 公司进行充分调研，分析了目前 X 公司存在的问题；依据仓储工厂开展的业务，对平台进行功能性需求分析和非功能性需求分析，提出基于 C/S 架构的智能仓储平台总体设计方案，建立智能仓储工厂模块化虚拟仿真平台，完成人机交互功能，数据管理功能和工厂可视化功能设计。

(2) X 公司智能仓储虚拟工厂仿真平台开发。基于 Unity3D 搭建面向多用户群体的智能仓储虚拟工厂仿真平台，实现仓储工厂内所需设备模型的搭建和渲染优化，完成智能仓储工厂各区域模块场景仿真搭建。依托程序设计和脚本编写，实现虚拟仿真平台智能仓储管理的功能，第一人称漫游视角和 AGV 运输流程的仿真驱动功能，利用 Profiler 分析工具结合黑盒测试方法查看计算机各项性能消耗情况，验证平台应用功能的合理性及完整性。

(3) 仿真平台 AGV 路径规划研究。在智能仓储虚拟工厂仿真平台中完成 AGV 路径规划运输算法的仿真验证，通过优化启发式函数及其权重系数，改进搜索邻域，重构数据存储列表结构，并结合双向寻路法与贝塞尔曲线平滑处理，实现对 Astar 算法的多维度优化；解决传统 Astar 算法中搜索节点多、搜索时间长、路径拐点多、搜索效率低等问题，从优化结果可得，优化后算法相比原 Astar 算法在搜索节点数量上减少了 59.19%、所用时间减少了 45.41%，路径长度优化了 18%。

(4) AGV 路径规划仿真与验证。基于前文搭建的虚拟工厂建立仿真环境，以四连通、八连通两种不同的搜索方式，设置四个不同的目标点作为实验对照组进行仿真验证，得到结果优化算法所需时间减少 11.38%，栅格数量减少 11.04%，路径长度减少 9.48%；利用 AHP-模糊综合评价法对优化算法在虚拟仓储工厂中的路径质量进行评价，从路径的安全性、稳定性、通行效率等方面多因素综合评估，结合专家意见整合，通过数值化的权重和评分，进一步验证优化算法与虚拟仓储平台结合的可行性。实现路径规划算法与虚拟技术的融合交叉。

关键词：智能仓储工厂；虚拟技术；AGV 路径规划；Astar 算法；仿真验证

Abstract

In the present era of rapid Internet development, numerous countries have put forward new development directions and concepts, such as "Industry 4.0" of Germany, "Industrial Internet" of the United States, "New Industrial France" of France, "Reinvigoration Strategy" of Japan, and "Made in China 2025" of China. Under the impact of emerging theories, there are also updated requirements for each link of the manufacturing industry, among which the industrial chain serves as an important support for manufacturing. In the current supply chain system, ranging from the procurement of raw materials to the production, supply, distribution, and retail of products, and ultimately the delivery to customers, the warehouse management system occupies a fundamental and core position in this process. At present, in the warehouse management of agricultural machinery enterprises in Xinjiang Production and Construction Corps, there still exist problems such as heavy reliance on manual labor, indistinct regional division, disorderly placement of goods, opaque inventory, non-standardized employee training, and low transportation efficiency. Based on X company, a virtual technology based intelligent storage AGV path planning research was carried out. The main research work of this paper is as follows:

(1) Comprehensive design scheme for an intelligent warehousing virtual factory simulation platform. Building upon a thorough understanding of essential technologies required for creating an intelligent warehousing platform and conducting extensive investigations into X Company's operations while analyzing its existing challenges; functional and non-functional requirement analyses were performed based on warehouse activities leading to the proposal of an overall design scheme for an intelligent warehouse platform grounded in C/S architecture. A modular virtual simulation environment was established featuring human-computer interaction capabilities alongside data management functions and factory visualization features.

(2) Development of X Company's intelligent warehousing virtual factory simulation platform aimed at multiple user groups involves constructing necessary equipment models within the warehouse while optimizing rendering effects; it also encompasses simulating module scenes across different zones within the smart warehouse facility. Through programmatic design and scripting efforts that actualize intelligent warehouse management functionalities on this virtual simulation platform—alongside first-person roaming perspective driving simulations coupled with AGV transport processes—the rationality and integrity concerning application functionality are validated.

(3) Research on AGV path planning of simulation platform. The simulation verification of AGV path planning transportation algorithm was completed in the intelligent warehouse virtual factory simulation platform. By optimizing the heuristic function and its weight coefficient, improving the search neighborhood, reconstructing the data storage list structure, and combining the bidirectional pathfinding algorithm and Bessel curve smoothing processing, the multi-dimensional optimization of Astar algorithm

was realized. To solve the problems of many search nodes, long search time, many path inflection points and low search efficiency in the traditional Astar algorithm, it can be seen from the optimization results that the optimized algorithm reduces the number of search nodes by 59.19%, the time by 45.41% and the path length by 18% compared with the original Astar algorithm.

(4) AGV path planning simulation and verification. The simulation environment was established based on the virtual factory set up above, and four different target points were set as the experimental control group in two different search modes, four-connected and eight-connected. The results showed that the time required for the optimization algorithm was reduced by 11.38%, the number of grids by 11.04%, and the path length by 9.48%. AHP- fuzzy comprehensive evaluation method was used to evaluate the path quality of the optimization algorithm in the virtual warehouse factory, and the feasibility of combining the optimization algorithm with the virtual warehouse platform was further verified through the integration of expert opinions through the comprehensive evaluation of multiple factors such as the safety, stability and traffic efficiency of the path. Realize the fusion of path planning algorithm and virtual technology.

Key words: Intelligent storage plant; Virtual technology; AGV path planning; Astar algorithm; Simulation verification.

目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	3
1.2 国内外研究现状.....	4
1.2.1 智能仓储工厂研究现状.....	4
1.2.2 虚拟技术研究现状.....	6
1.2.3 路径规划研究现状.....	9
1.2.4 文献评述.....	12
1.3 研究目标与研究内容.....	13
1.3.1 研究目标.....	13
1.3.2 研究内容.....	13
1.4 研究方法与技术路线.....	17
1.5 本章小结.....	17
第 2 章 智能仓储虚拟工厂仿真平台总体设计方案.....	18
2.1 智能仓储概述.....	18
2.2 X 公司传统仓储现状和问题分析.....	19
2.3 智能仓储虚拟工厂平台需求分析.....	21
2.3.1 需求分析概述.....	21
2.3.2 智能仓储功能性需求分析.....	21
2.3.3 智能仓储非功能性需求分析.....	23
2.3.4 数据库需求分析.....	24
2.4 X 公司智能仓储平台总体架构设计.....	25
2.4.1 设计原则和目标.....	25
2.4.2 平台总体架构设计.....	26
2.4.3 平台功能结构设计.....	27
2.4.4 虚拟仿真平台评价体系设计.....	30
2.5 数据库表设计.....	31
2.5.1 用户权限表设计.....	31

2.5.2 仓库表设计	32
2.6 本章小结	33
第 3 章 X 公司智能仓储虚拟工厂仿真平台开发	34
3.1 X 公司智能仓储虚拟工厂平台的模型建立	34
3.1.1 立体货架的模型建立	34
3.1.2 仓储工厂仓库的模型建立	36
3.1.3 仓储工厂设备的模型建立	38
3.1.4 其他仓储设备模型建立	40
3.2 智能仓储工厂平台的场景搭建	40
3.2.1 运输区域场景搭建	41
3.2.2 办公区场景搭建	42
3.2.3 维修和其他设备区域场景搭建	44
3.3 智能仓储虚拟工厂平台驱动	46
3.3.1 登录及功能导航界面设计	46
3.3.2 可视化仓储工厂漫游功能设计	49
3.3.3 智能仓储管理功能实现	54
3.4 智能仓储虚拟工厂平台的运行与调试	59
3.4.1 平台运行调试	59
3.4.2 平台功能调试	60
3.4.3 平台调试评价	60
3.5 本章小结	61
第 4 章 智能仓储虚拟工厂仿真平台 AGV 路径规划研究	62
4.1 智能仓储虚拟平台路径规划算法	62
4.1.1 Dijkstra 算法	62
4.1.2 Astar 算法	63
4.1.3 路径规划算法优劣势比较	64
4.2 基于 Python 的路径规划算法改进及优化	65
4.2.1 启发函数的选择与优化	65
4.2.2 路径搜索邻域的优化	70
4.2.3 数据存储列表结构优化	71
4.2.4 双向寻路 Astar 算法	74
4.2.5 贝塞尔曲线路径平滑处理	76
4.3 优化 Astar 算法验证	78
4.4 本章小结	79

第 5 章 智能仓储虚拟工厂 AGV 路径规划仿真与验证	80
5.1 实验条件	80
5.2 虚拟工厂平台路径规划的仿真流程设计	80
5.3 虚拟工厂平台路径规划的仿真与验证	81
5.3.1 仿真环境的建立	81
5.3.2 自主寻路设置	84
5.3.3 AGV 寻路仿真	85
5.4 虚拟工厂平台路径规划的仿真结果分析	89
5.5 路径质量评估	91
5.5.1 评估指标	91
5.5.2 AHP-模糊综合评价法	92
5.6 本章小结	95
第 6 章 结论与展望	96
6.1 结论	96
6.2 展望	97
参考文献	98
附录 A	105
附录 B	108
致谢	105
作者简介	111

第1章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

近年来,随着我国“一带一路”政策的大力发展,截至2023年6月底,中国与150多个国家、30多个国际组织签署了230多份共建“一带一路”合作文件。中国的物流业也随之又一次在周边国家掀起热潮,2023年我国与共建国家的货物贸易额达19.5万亿元,增长2.8%,外贸总额的比重提升1.2个百分点,达到46.6%。印尼和东南亚第一条高速铁路正式启用,极兔快递走进沙特,国威三轮车占领美国市场。中国制造越来越全球化的同时,对于中国运输行业自身也是新的机遇和挑战。2020年,全球电子商务销售额增长了约27.6%,达到了4.28万亿美元。2022年,我国的快递业务量持续增长,全年业务量达到了约800亿件,2023年全年业务量更是达到约900亿件,较上一年增长约12.5%。

在消费形式的转变下,仓储作为物流领域的核心组成部分在经济全球化、商业智能化、供应链一体化的背景下需要快速升级探索^[1],找到自己的定位,顺应时代潮流。传统人力管理仓库因其效率低下已远远不能满足当代物流发展的需求,打造更加智能化和自动化的仓储模式成为更多企业的最终目标。就如何提升仓储智能化,可以从管理模式和仓储设备两个方面入手。

随着消费升级和电商行业的蓬勃发展,国内智能仓储市场规模也在不断扩大。从2014年开始到2023年截止,中国智能仓储市场规模如下图1-1所示。蓝色柱状图代表智能仓储规模发展,橙色折线图代表同比增速。

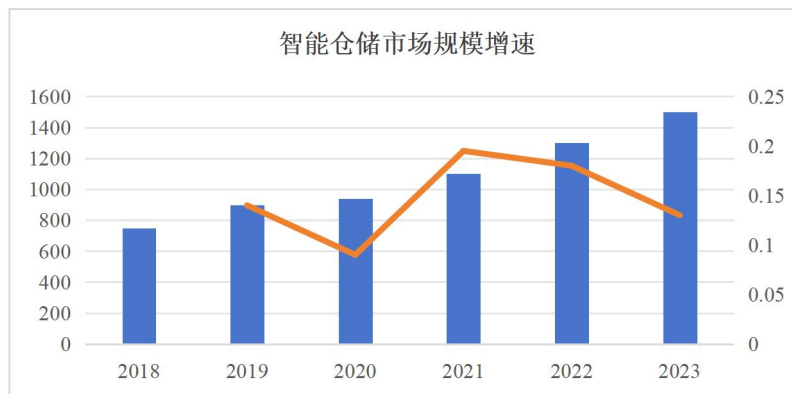


图 1-1 近年来智能仓储市场规模

Fig.1-1 Smart storage market size in recent years

据中国通用仓储市场动态报告显示, 2024年1月我国通用仓储市场整体概况如下: 全国仓库总面积 41345.5 万 m^2 , 较去年上涨 0.28%; 可租面积 7419.8 万 m^2 , 较去年上涨 1.05%; 在建面积 1725.9 万 m^2 , 较去年上涨 1.10%; 仓库园区有 8629 个, 较去年上涨 0.23%。按照仓库规模划分, 仓储市场中 1000 m^2 以下仓库需求相对较多, 占比为 27.73%, 其次为 1000 m^2 -1999 m^2 的需求, 占比 17.14%, 从全国范围来看, 通用仓储市场的需求分布并不均衡。其中, 东部地区的需求最为旺盛, 占据了全国通用仓库需求总量的 62.16%, 成为需求最为集中的区域。西部地区和中部地区的需求位列其后, 而东北部地区的需求在四大区域中相对较少。具体需求情况如下图 1-2 所示。

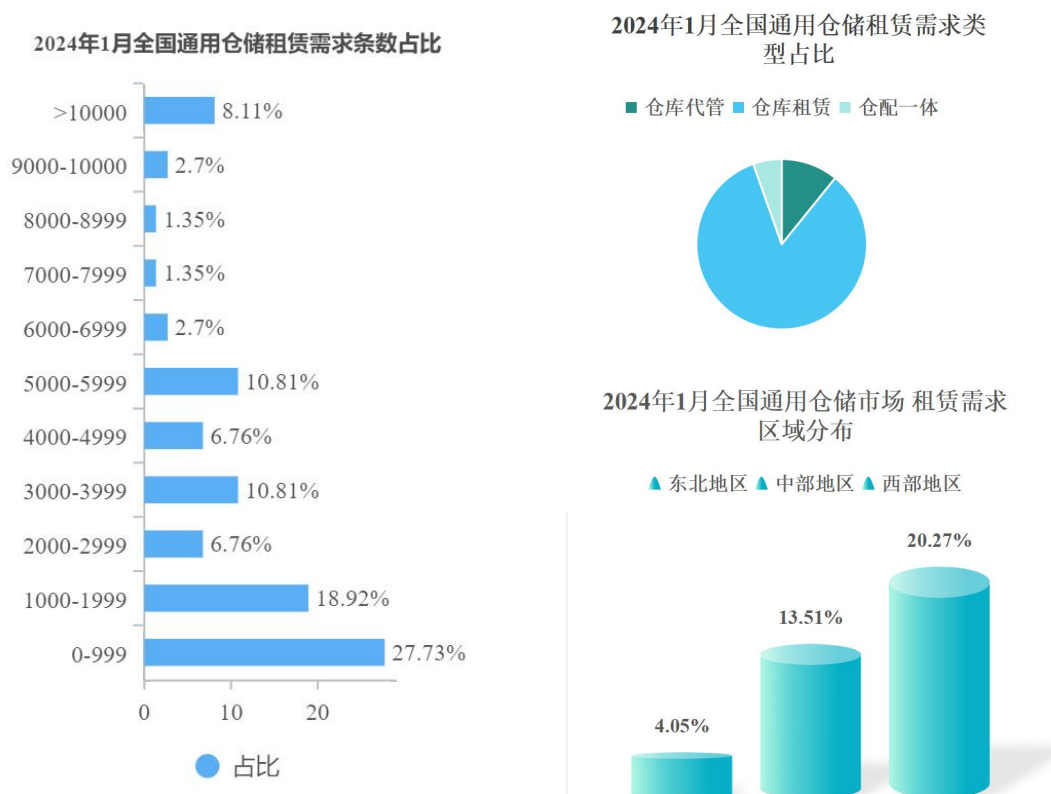


图 1-2 仓储市场需求情况图

Fig.1-2 Storage market demand diagram

由于传统仓储的管理中, 主要采用“人到货”的拣选方式, 从入库开始到出库为止的入库验收、在库盘点、在库查询、出库分拣等一系列作业全过程都是依靠人工手动完成的^[2]。现代物流具有订单量大、拣选路径复杂、货品摆放杂乱、库存明细情况不清晰等特点, 依旧搭配传统工厂模式产生了人工成本较高、作业时间较长、工作效率较低、且错误率高等问题, 对于一些大型零件设备的仓储工厂来说, 人员安全也存在很大隐患。如图 1-3 所示, 在物流环节中, 由于信息不对称、不匹配, 给企业的经济效益造成了极大的影响。