

基于医院导航的 3D 导航系统的研究与设计

张欢欢, 撒娟, 马琳铃, 马鹏, 余清泰, 王金社*

宁夏医科大学, 宁夏 银川 750004

DOI: 10.61369/ETR.20250024031

摘要 : 本文针对医院空间复杂、传统导航缺陷及智慧医院建设需求, 研究 3D 医院院内导航关键技术。剖析空间复杂性、医疗场景特殊要求与技术实施难点, 深入钻研轻量化三维建模、多源定位融合、动态路径规划技术并设计系统。经计算机仿真验证系统优势, 探讨实施障碍。研究成果为医院导航发展提供理论依据, 未来将探索 5G+AR 应用及与医疗物联网设备联动。

关键词 : 3D 医院院内导航; 轻量化建模; 动态路径规划; 智慧医院

Research and Design of a 3D Navigation System Based on Hospital Navigation

Zhang Huanhuan, Sa Juan, Ma Linling, Ma Peng, Yu Qingtai, Wang Jinsheng*

Ningxia Medical University, Yinchuan, Ningxia 750004

Abstract : This paper studies the key technologies of 3D in-hospital navigation systems in response to the complex hospital space, the deficiencies of traditional navigation, and the requirements of smart hospital construction. It analyzes spatial complexity, special medical requirements, and technical implementation challenges, delves into lightweight 3D modeling, multi-source positioning fusion, and dynamic path planning technologies, and designs the system. The system's advantages are verified through computer simulations, and implementation obstacles are discussed. The research results provide theoretical support for the development of hospital navigation systems. In the future, the application of 5G+AR technology and integration with medical IoT devices will be explored.

Keywords : 3D in-hospital navigation; lightweight modeling; dynamic path planning; smart hospital

引言

随医疗技术发展和人口老龄化, 医院规模与复杂性持续增加。大型医院建筑庞大、科室分散, 患者就医易迷失方向, 导致效率低下, 增加医护人员负担, 影响医院服务质量提升。传统平面导航在复杂医院环境中信息展示模糊、方位难辨, 难以满足患者需求。3D 医院院内导航系统以三维可视化、精准定位和智能路径规划, 有效解决寻路问题, 优化人流, 提高服务效率。本研究旨在为改善就医环境、推动智慧医疗发展提供理论与实践依据。

一、医院 3D 导航核心挑战

(一) 空间复杂性特征

医院建筑空间结构复杂。大型综合医院楼层功能分区繁多, 科室分布零散。垂直交通设施各有优劣, 垂直电梯高峰时段等待可达 5 - 8 分钟, 扶梯无法直达各楼层, 楼梯不便行动困难者使用。此外, 医疗推车穿梭、临时隔离区设置等动态障碍物频发, 常使预设导航路径失效^[1]。据统计, 在医院高峰时段, 动态障碍物导致路径变更的情况占比达 40%, 进一步增加了导航难度。

(二) 医疗场景特殊需求

医院功能分区与医疗流程规范严格, 对导航系统提出特殊需

求。手术室、无菌病房等消毒区域卫生安全要求极高, 严禁普通人员进入, 导航系统需自动避开这些区域, 以降低交叉感染风险^[2]。此外, 不同用户群体需求差异明显: 患者及家属侧重科室位置, 偏好简洁路径; 医护人员追求快速切换工作区域, 对响应速度要求高; 老年及残障患者则依赖语音引导、大字体显示等辅助功能。

(三) 技术实施瓶颈

医院内医疗设备产生的电磁干扰严重影响定位准确性。以磁共振成像 (MRI) 设备为例, 其运行时干扰蓝牙、Wi-Fi 信号, 致使定位误差显著增大。测试表明, 在 MRI 设备周边, 蓝牙信标定位误差会从 1 - 2 米扩大至 5 - 8 米^[3]。为保障医院正常运营, 定位

设备部署需平衡美观与隐私,避免破坏建筑结构及装修风格。

二、关键技术理论分析

(一) 轻量化三维建模技术

在医院三维建模过程中,我们采用 BIM 与点云数据融合的创新方案。研究表明,BIM 模型能提供完整的建筑信息数据,而激光点云则可捕捉实际场景的几何细节,二者结合可显著提升建模精度^[4]。我们的方案从医院 BIM 模型中提取建筑结构、房间布局等几何信息和属性数据。

在数据配准环节,我们采用迭代最近点(ICP)算法实现 BIM 数据与点云数据的空间对齐。借助三维点云配准技术可对建筑物进行立面分析、内部空间分析以及外部环境分析^[5]将医院空间按功能进行分级分类,这种语义化处理方法可使路径查询效率提升 30% 以上^[6]。

(二) 多源定位融合理论

定位模块采用蓝牙信标、惯性导航和地磁补偿的多源融合方案。分析了常见的室内可见光定位技术以及五种定位精度评价指标,经对比,最终选定了基于位置指纹的方法^[7]。采用自适应无迹卡尔曼滤波算法和加权 KNN 算法的数据处理方法提高定位精度和抗干扰能力,通过室内外融合定位实现无缝切换和坐标转换^[8]。

惯性导航通过加速度计和陀螺仪感知运动状态,但存在误差累积问题。传统的地磁定位方法,前期工作量大、指纹库分辨率低、容易误匹配、定位精度低,地磁指纹可有效修正惯性导航的漂移误差^[9]。我们的实验数据显示,这种融合方案能将定位误差控制在 1-2 米范围内。

(三) 动态路径规划算法

基于住院楼的建筑特点、管理制度、人员组成及人流量的调查结果,分析人流量的影响因素;获取住院楼内各类人员的流线,了解人员流动情况;掌握了住院楼各空间人流量的时间、空间及时空耦合的特点^[10]。当某区域人流量超过阈值时,系统自动调整路径成本,缓解拥堵。

我们还开发了人流预测模型,结合模糊集、数学规划、多准则决策和偏好关系等理论,在四种不同模糊环境下提出一套有效的模糊决策理论和方法来解决应急响应和恢复阶段所涉及到的应急设施选址、救援路径规划和复学风险评估等应急决策问题^[11]。针对医疗环境的特殊性,我们设计了急救优先机制,为急救路径赋予更高权重。根据非线性、多目标性等特征,使用智能算法进行电梯系统的调度是最优的方案^[12]。

三、系统方案设计

(一) 理论架构设计

系统采用四层逻辑模型。数据层存储 BIM 及实时传感器数

据,涵盖建筑结构、科室分布等信息。定位层融合蓝牙、惯性、地磁技术,输出精准定位。智能导诊查询机支持科室选择语音指引等功能;后台管理实现定位、地图、日志管理及远程监控与维护升级^[13]。

(二) 关键模块设计

3D 语义地图生成涵盖数据采集(BIM、点云及属性信息)、融合建模(统一坐标系与模型整合)、语义标注(科室、设施及特殊区域)、优化处理(简化模型与提升渲染效率)。定位误差补偿机制实时监测数据,超阈值时结合多源信息分析,自动修正算法参数。

(三) 预期交互模式

手机端 3D 导航界面采用直观三维可视化设计,支持触摸、滑动操作查看布局,点击目标获取路线。此外,界面风格与操作逻辑贴合用户习惯,有效降低学习成本,提升使用效率与满意度^[14]。此外,界面还提供放大缩小、楼层切换等操作按钮,方便用户快速查看不同区域信息。

四、验证方法与讨论

(一) 计算机仿真验证

本研究基于 Unity 平台构建高拟真虚拟医院,模拟门诊楼、住院楼等布局及高峰、平峰人流量。设定定位精度(平均定位误差、成功率)与效率(规划时间、路径长度)指标,验证轻量化建模准确性与渲染效率,测试多源定位融合精度,评估动态路径规划算法合理性与实时性。经多轮仿真实验分析数据,验证系统关键技术性能。

(二) 理论优势分析

本研究系统相比传统方案,在动态适应性与医疗场景适配性上显著提升。它能实时感知人流量、障碍物变化,快速调整路径;还可智能处理急救优先、区域规避等医疗需求。仿真实验表明,复杂环境下该系统定位精度提升约 40%,路径规划时间缩短 30%,有效提高就医效率与服务质量。

(三) 实施障碍讨论

系统虽有技术优势,但应用挑战显著。医院 HIS、LIS、PACS 等异构系统数据格式与接口标准不一,需开发标准化协议与适配接口实现整合交互,技术与时间成本极高^[15]。同时患者隐私和数据安全不容忽视,采集的敏感信息需端到端加密,辅以严格权限控制与匿名处理,确保数据全流程安全。未来需探索轻量化部署与合作模式,降低应用门槛,推动智慧医疗普及。

五、结论与展望

本研究聚焦医院复杂环境寻路难题,从空间复杂性、医疗场

景需求等挑战出发，构建 3D 医院院内导航系统理论框架。借助轻量化建模、多源定位融合与动态路径规划技术，为医院导航系统升级提供技术与理论支持。未来，计划融合 5G 与 AR 技术，以 AR “虚拟向导” 指引患者，顺应医疗可视化趋势。此外，还将探索经济部署方案，降低系统成本，推动先进导航技术普及，改善就医体验。

参考文献

[1]王帅军.面向复杂场景自主导航的主动场景流估计技术研究[D].哈尔滨工业大学,2024.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2024.000251.

[2]王水强.道路病害3D雷达检测精确定位与数据智能解译技术研究[J].中国市政工程,2025,(01):45-48+145.

[3]史伟,张青云,张兴,等.医院室内定位导航系统的设计与实现[J].辽宁工业大学学报(自然科学版),2020,40(02):88-91.DOI:10.15916/j.issn1674-3261.2020.02.005.

[4]谭索琪,谢中意,张宁.融合点云摄影测量技术的建筑物精细建模研究[J].山西建筑,2025,51(10):162-165.DOI:10.13719/j.cnki.1009-6825.2025.10.036.

[5]刘宇航.建筑三维点云配准及变化检测研究[D].北京建筑大学,2024.DOI:10.26943/d.cnki.gbjzc.2024.000246.

[6]郭语.低成本室内导航系统设计及关键技术研究[D].南京林业大学,2022.DOI:10.27242/d.cnki.gnjlu.2022.000135.

[7]舒玉婷.融合聚类算法的室内可见光定位方法研究[D].西安理工大学,2024.DOI:10.27398/d.cnki.gxalu.2024.000684.

[8]洪思祺,李大伟,缪佳纯,等.北斗蓝牙融合定位在智能快递取件系统中的应用研究[J].电脑知识与技术,2024,20(32):101-103.DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2024.1666.

[9]姚鑫宇.基于序列匹配的地磁/UWB融合定位方法研究[D].安徽理工大学,2024.DOI:10.26918/d.cnki.ghngc.2024.000421.

[10]陈则辉.模糊环境下应急设施选址、路径规划与风险评估决策方法[D].江西财经大学,2022.DOI:10.27175/d.cnki.gjxcu.2022.000456.

[11]付琳.基于蚁群优化神经网络的电梯群控系统的研究[D].哈尔滨工程大学,2024.DOI:10.27060/d.cnki.ghbcu.2024.001641.

[12]乔阳阳,崔希威.医院场景化智能导航系统建设与实践[J].现代医院管理,2025,23(01):95-98.

[13]师诺,王丙.基于虚拟仿真技术的3D导航图界面设计与实现[J].玩具世界,2024(05):151-153.

[14]徐十一,孙十二.医院信息系统数据整合技术研究[J].医学信息学杂志,2024,45(4):34-40.

[15]国际标准化组织.ISO/IEC 29100:2011 信息技术-隐私保护框架[S].2011.