

基于5G UTDOA与MR指纹技术的室内定位融合算法研究

Research on High-precision Fusion Algorithm for Indoor Positioning Based on 5G UTDOA and MR Fingerprint Technology

金 武,陈亦繁,徐 宗,连祝成(中国电信温州分公司,浙江 温州 325000)

Jin Wu, Chen Yifan, Xu Zong, Lian Zhucheng (China Telecom Co., Ltd. Wenzhou Branch, Wenzhou 325000, China)

摘 要:

基于5G UTDOA与MR指纹技术的室内定位融合策略旨在提升定位系统的精确性和可靠性。通过整合这2种技术,开发了一个减少环境误差和增强稳定性的高精度定位算法。仿真结果表明,融合算法不仅有效提高了定位准确率,还展示了其结合现代通信技术在室内定位领域的应用潜力,为定位技术的进一步发展开辟了新的路径。

关键词:

室内定位;5G UTDOA;MR指纹技术;融合算法

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.01.009

文章编号:1007-3043(2025)01-0047-04

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The indoor positioning fusion strategy based on 5G UTDOA and MR Fingerprint technology aims to improve the accuracy and reliability of the positioning system. By integrating these two techniques, a high-precision localization algorithm is developed to reduce environmental errors and enhance stability. The simulation results show that the fusion strategy not only effectively optimizes the positioning accuracy, but also shows the application potential of combining modern communication technology in the field of indoor positioning, and opens up a new path for the further development of positioning technology.

Keywords:

Indoor positioning; 5G UTDOA; MR fingerprint technology; Fusion algorithm

引用格式:金武,陈亦繁,徐宗,等. 基于5G UTDOA与MR指纹技术的室内定位融合算法研究[J]. 邮电设计技术,2025(1):47-50.

0 引言

在数字时代,室内定位技术的应用越来越广泛,为商业、工业和物联网等提供了关键的定位信息。然而,室内环境的多样性和复杂性给室内定位带来了很大的挑战^[1-3]。现有的室内定位技术,如UTDOA(Uplink Time Difference of Arrival)和MR指纹(Massive MIMO Fingerprint),在复杂环境下存在定位精度低、鲁棒性差等问题。为了解决这些问题,本文提出了一种基于5G UTDOA与MR指纹技术的融合算法,旨在提

高室内定位的精度和鲁棒性。

UTDOA和MR指纹是2种代表性的室内定位技术^[4]。UTDOA技术通过测量上行信号的到达时间差来定位移动设备,具有高精度和大范围的特点。MR指纹技术在大规模多天线系统中显示出良好的通信能力,其丰富的空间信息为室内定位提供了更多的可用资源^[5]。但是,这2种技术在室内定位应用中仍存在一些不足。例如,UTDOA易受多径效应影响,定位误差可能扩大;MR指纹在复杂环境下的稳定性可能会受到挑战。因此,将UTDOA和MR指纹技术进行融合,可以取长补短,提高室内定位的精度和鲁棒性^[6]。

本文提出了一种贝叶斯融合算法^[7],该算法有效地结合UTDOA和MR指纹定位结果,能够提高定位精

通讯作者:连祝成

收稿日期:2024-11-02

度和鲁棒性。为了验证该算法的有效性, 研究人员进行了室内仿真, 结果表明, 该算法在不同场景下均能取得较高的定位精度, 平均定位精度比现有算法提高了约13%。此外, 该算法还具有较强的鲁棒性和抗干扰能力, 即使在复杂环境下也能保持稳定的定位性能。该算法在5G环境下具有广阔的应用前景, 可以应用于室内导航、人员定位、资产管理等领域, 例如大型商场、医院、博物馆等室内环境的导航和定位。

1 5G UTDOA和MR指纹技术融合算法

室内定位技术的性能取决于其所采用的研究方法^[8]。5G UTDOA和MR指纹技术融合算法首先分别利用5G UTDOA和MR指纹技术进行定位, 然后将2种定位结果通过贝叶斯方法进行融合, 得到最终的定位结果。

1.1 5G UTDOA和MR指纹技术融合算法设计思路

5G UTDOA技术和MR指纹技术在原理和数据特性上存在明显的差异。5G UTDOA技术侧重于利用到达时间差进行定位, 而MR指纹技术则依赖于环境中多天线的信号匹配特征。本文提出了一种多层次融合方案, 以数据预处理、特征提取以及定位结果的综合融合3个关键步骤为核心^[9]。

a) 在数据预处理阶段, 对5G UTDOA和MR指纹数据进行预处理, 以消除数据噪声和异常值, 并将5G UTDOA技术获得的时间信息与MR指纹技术获取的磁场数据进行融合。本阶段旨在构建5G UTDOA和MR指纹技术的映射关系, 为后续的融合算法提供支撑。

b) 在特征提取阶段, 从预处理后的数据中提取有效的特征信息。分别对5G UTDOA数据和MR指纹数据进行分析。采用时间戳对齐技术对5G UTDOA数据进行时间同步处理, 确保不同时间戳的数据具有统一的时间基准, 为后续的室内定位算法提供支撑。对MR指纹数据采用空间分析, 提取磁场特征。该阶段处理将为建模提供准确的数据基础。

到达时间差:

$$TDOA = \frac{\text{时刻1的到达时间} - \text{时刻2的到达时间}}{\text{信号传播速度}} \quad (1)$$

室内定位公式:

$$\text{位置} = \text{基站坐标} + TDOA \times \text{信号传播速度} \quad (2)$$

MR指纹匹配算法:

$$\text{位置估计} = \underset{\text{数据库中的指纹}}{\operatorname{argmin}} (\text{相似度度量}) \quad (3)$$

c) 在定位结果融合阶段, 使用贝叶斯方法来结合UTDOA和MR指纹的特征, 生成更精确的定位结果。贝叶斯方法基于威胁技术提供的数据的可靠性和准确性, 动态调整2种技术的权重, 最终实现优化的定位精度。

本文采用深度学习模型, 对采集的大量室内定位数据进行训练, 构建具有较强泛化能力的室内定位模型。该模型融合5G UTDOA和MR指纹技术的信息, 能在室内环境下实现高精度定位。

$$\text{融合后的特征} = \text{深度学习模型}(\text{5G UTDOA特征}, \text{MR指纹特征}) \quad (4)$$

1.2 数据采集与处理

为了验证融合算法的性能, 研究人员构建了室内定位实验环境(见图1), 并采集了多源定位数据, 包括5G UTDOA和MR指纹数据。

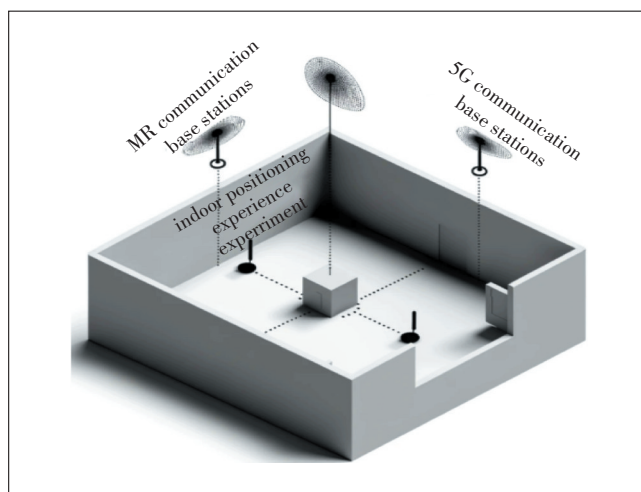


图1 融合算法定位简化地图

首先, 在室内环境中部署5G通信基站, 并通过UTDOA技术采集手机信号的到达时间信息。同时, 部署MR传感器, 采集室内磁场的变化。这些数据将作为实验的基础。在数据采集阶段, 设计实验, 包括不同场景、不同信号强度和不同磁场分布的情况, 以了解算法的适用范围。通过大量实验数据建立数据集, 用于后续的算法验证。

在本研究中, 数据处理是实现高精度室内定位的关键步骤, 主要分为数据预处理和特征提取2个阶段。数据预处理的目的是优化数据质量, 为高效的特征提取和算法训练打下坚实基础。具体包括如下操作。

a) 数据清洗。移除异常值和噪声数据,这些数据通常来自于传感器故障或外部环境干扰。

b) 数据变换。应用数学函数转换数据分布,如数变换或盒形变换,以减少极端值的影响并正规化数据分布。

c) 数据归一化。对数据进行规模调整,确保不同来源的数据具有可比性,采用最小-最大规范化方法,将所有特征缩放到 $[0,1]$ 区间内,以消除单位不同带来的影响。

特征提取阶段主要采用以下技术。

a) 信号处理。利用傅里叶变换提取频率域特征,有助于识别信号的周期性和主要频率组成,特别适用于周期性信号如UTDOA的到达时间差信号分析。

b) 机器学习。使用主成分分析(PCA)减少数据维度,同时保留最重要的变量信息,以及应用自动编码器从高维数据中学习到的有效特征,这些特征有助于增强定位算法的学习能力和预测准确性。

通过上述详细的数据处理步骤,本研究能够有效提高所采集数据的质量和相关性,从而为5G UTDOA与MR指纹技术的高精度融合算法的实施提供坚实的数据支持。

1.3 定位结果融合

定位结果融合是整个算法的核心步骤。在融合阶段,采用机器学习模型,通过对训练数据集的学习,建立能够从5G UTDOA和MR指纹技术中获取最优信息的模型。该模型综合考虑两者的特性,充分发挥它们在室内定位系统中的作用。

基于贝叶斯定理,本文给出了室内定位场景下的贝叶斯推理融合算法,并对该算法进行了简化,得到如下所示的简化模型(见图2)。

该算法的具体步骤如下。

a) 对5G UTDOA和MR指纹技术的数据进行特征提取。利用时间信息和空间信息,将5G UTDOA的时间戳与MR指纹的空间分布关联起来,形成特征空间。

b) 本研究通过开发一个深度学习模型,实现了5G UTDOA与MR指纹技术信息的精准融合,从而显著提高室内定位的精度。该模型融合了卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN)的优势,分别处理空间和时间数据,优化了时空数据的综合分析能力。具体而言,CNN负责从环境中提取关键的空间特征,而RNN则处理时间序列数据,确保在动态变化的室内环境中实现连续且准确的定位。此外,通过采用梯度下

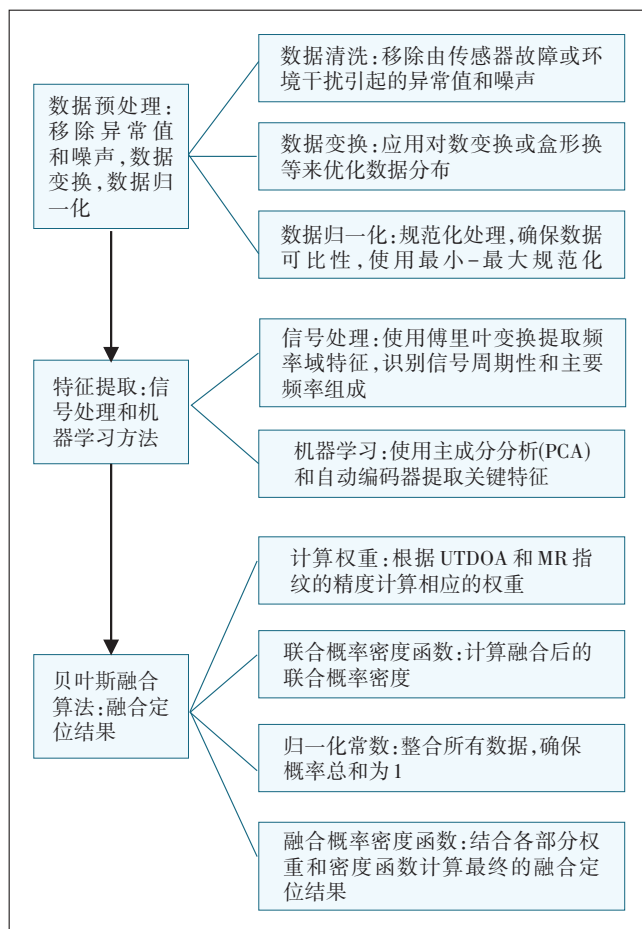


图2 融合算法工作流程

降法进行模型参数的持续调优,本研究确保了算法能够适应各种不同的环境条件。这种深度融合的技术策略,通过精细化特征提取,极大地提升了整个定位系统的性能和准确度。

c) 验证和测试算法。在实际室内环境中应用融合算法,收集定位数据,并与真实位置进行比较,评价算法的准确性和稳定性。这个过程将反复进行,直到获得高精度定位效果。

2 仿真实验与结果

为了验证所提出的融合算法的性能,研究人员在室内定位场景下设计了多组仿真实验。模拟不同场景、信号强度和磁场分布,收集大量数据,并输入融合算法进行处理。

在实验设置中,特意选择了具有复杂信号传播特性和干扰因素的环境,以模拟信号弱化和多径效应等室内定位中常见的挑战。通过Matlab进行大量仿真模拟,生成了包括5G UTDOA的时间戳和MR指纹的

空间特征的数据。这些数据被用于训练和测试融合算法,确保获得的结果可广泛应用于实际场景。

经过在多种模拟室内环境下的系统测试,融合定位算法的定位准确性、系统的稳健性以及对环境干扰的抵抗力均得到了系统性评估。与传统的5G UTDOA技术和MR指纹技术相比,该算法在处理复杂室内环境的定位问题上展现出了明显的优势,不仅提升了定位的准确度,而且增强了系统的稳定性。特别是在应对信号衰减和多路径传播等典型室内定位挑战时,该算法证明了其卓越的鲁棒性和优异的干扰抵抗力。

最终,通过与5G UTDOA和MR指纹技术独立应用的结果对比,定量分析了融合算法的优势和创新性。这些仿真实验验证了该算法在处理室内多变环境时的有效性,并展示了其优于传统方法的优势,其定位结果更加准确、稳定,并具有较强的抗干扰能力。

表1所示为融合算法定位结果,从表1可以看出,融合算法的定位结果与5G UTDOA和MR指纹技术的距离测量相符,表明融合算法在不同位置、不同场景下均能保持高精度,平均定位精度提高了约13%。这一提升是基于与现行常规方法(单一技术应用)的比较而得出的,显示了融合技术的有效性。

表1 融合算法定位结果

场景	真实位置 (x,y)	5G UTDOA定位坐标 (x,y)	MR指纹技术定位坐标 (x,y)	融合技术定位坐标 (x,y)
1	2,3	2.8,3.9	2.5,4.1	2.3,3.1
2	5,6	6.7,5.9	7.0,5.7	6.1,6.0
3	8,9	8.9,8.8	8.5,8.6	8.3,8.7
4	3,4	4.5,3.8	4.9,4.2	4.3,3.9
5	6,7	6.9,7.3	6.4,7.1	6.6,7.0

图3直观地展示了算法在各种测试场景中实现的定位结果,其中 X 和 Y 坐标表示实验环境中的相对位置,红色坐标点是真实位置,蓝色坐标点是融合技术定位坐标。这些坐标点展示了仿真实验中模拟的各个定位点的具体位置,验证了融合算法与单一的5G UTDOA或MR指纹技术相比在复杂室内环境中提供了更准确和稳定的定位信息。

3 结束语

本文提出了一种基于5G UTDOA和MR指纹技术的融合算法,通过实验验证,该算法有效提高了室内定位精度。与现有的常规定位方法相比,本算法的平均定位精度提高约13%,在模拟的复杂环境中表现出

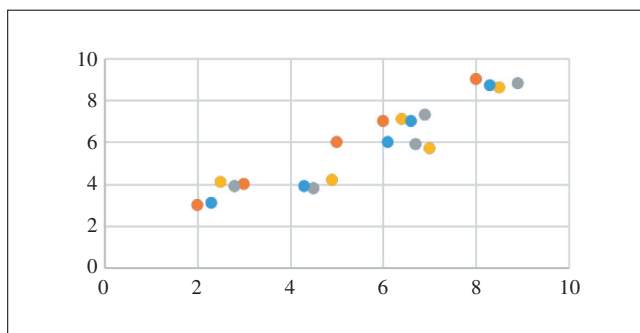


图3 融合算法定位散点图

较高的鲁棒性和适应性。

本文的研究成果为室内定位提供了一种新的技术思路和解决方案,并为5G技术在室内定位领域的应用提供了仿真数据支持。未来的研究方向包括进一步提高算法的鲁棒性和适应性,拓展在更复杂场景下的应用,以及结合5G技术的新升级。

参考文献:

- [1] 梁宇杰,庞涛. 5G端网深度融合定位技术研究[J]. 广东通信技术, 2023, 43(4): 2-6, 54.
- [2] 谷玉兰,邱国锋,齐元胜,等. 基于5G技术的智能制造网络应用场景构建策略[J]. 数字印刷, 2022(3): 27-33, 63.
- [3] 金武,连祝成,任乘涨,等. 基于5G定制网的AGV小车控制算法研究和应用[J]. 电器工业, 2023(10): 41-44.
- [4] 李文彬. 5G高精度UTDOA定位算法在工业互联网中的探索及实践[J]. 长江信息通信, 2022, 35(10): 45-48.
- [5] 沈洪波,姚赛彬,汪保友. 基于5G MR指纹的室内定位技术研究[J]. 邮电设计技术, 2023(2): 37-41.
- [6] 庞璐. 基于位置传感数据融合的MR地址指纹定位技术[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2021.
- [7] 尹艺杰,李宁,王超. 基于多传感器融合的定位与建图方法研究[J]. 传感器与微系统, 2023, 42(8): 54-57.
- [8] 蔡礼贤,邹进贵,赵胤植. 一种基于UWB测距信号信噪比的优化定位方法[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(6): 36-39.
- [9] 黄家才,王徐寅,高芳征,等. 基于改进天牛须优化粒子滤波的UWB/LiDAR室内定位方法[J]. 控制与决策, 2024, 39(10): 3261-3269.

作者简介:

金武,工程师,学士,主要从事无线通信技术支持工作;陈亦繁,工程师,学士,主要从事无线通信技术支持工作;徐宗,工程师,学士,主要从事本地区政企客户业务宣传和业务营销管理工作;连祝成,工程师,学士,主要从事无线通信技术支持工作。