DOI:10.13203/j.whugis20250079 文章编号:1671-8860(2025)50-1456-01

商用5G单基站室内定位研究

周 鑫 武汉大学测绘遥感信息工程全国重点实验室,湖北 武汉,430079

Research on Indoor Positioning for Commercial 5G Single Base Station

ZHOU Xin State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University,Wuhan 430079,China

中图分类号:P208 文献标识码:D

近年来,无线室内定位得到了学术界和工业界的广泛关注,基于不同无线信号的室内定位技术先后被提出。但迄今为止,还没有一种定位信号源能为室内空间提供无处不在的泛在位置服务。随着5G网络在全球范围内的大规模商用部署,5G信号正在快速实现室内外泛在覆盖,利用现有室内商用5G基础建设,研究基于用户终端的定位方法,有利于形成泛在室内位置服务解决方案。目前,5G室内定位的探索集中于仿真与网络侧定位,针对实际商用环境下高精度、高可用的5G终端侧定位研究依旧缺乏。因此,考虑实际室内单基站条件,分析了商用5G信号的传输特点,对商用5G终端侧定位进行了研究,并提出了载波相位高精度测距、多波束指纹定位、移动定位及融合优化等理论与技术方法,使得面向大众用户可接受的、在单基站条件下可用的、基于单接收天线可行的高精度5G室内定位成为可能。主要研究内容包括:

1)基于载波相位的5G高精度测距。针对现有5G专用定位信号用户终端获取难、室内多径干扰严重、测距精度低的问题,提出了基于5G下行同步信号的载波相位高精度测距方法。首先,在不改变现有大规模商用信号体制的条件下,分析5G下行同步信号的传输特性,开发了软件定义接收机对5G下行同步信号进行精准同步。然后,基于频域顺序递归最小二乘匹配追踪算法进行超分辨率多径获取及首径探测,并利用首径信号载波相位连续性的特点,设计稳健跟踪环路以实现首路径高精度跟踪测距。为评估所提出高精度测距方法的性能,在典型室内办公室环境中进行了多次移动轨迹下的实测验证。结果表明,在移动环境下,1 σ测距误差为0.26 m,将该通信信号的测距分辨率从30 m提高到亚米级。

2)基于多波束特征的指纹定位。针对现有用户终端在室内空间仅能有效接收商用5G单基站信号、难以形成多基站交会定位的问题,利用5G多波束传输技术,将通信技术用于定位增强,提出了5G多波束指纹定位方法。首先,设计了一种多波束提取算法,以稳健提取多波束特征。其次,基于多波束信道状态信息,分析了从信号层面为定位引入多波束的有效性。进一步,考虑面向大众用户可用的低成本、单接收天线等需求,通过联合参考信号接收功率(reference signal received power,RSRP)及参考信号接收质量(reference signal received quality,RSRQ)构建多波束RSRP-RSRQ堆叠指纹,并提出了一种5G多波束轻量级指纹定位方法。在单基站办公室场景、走廊场景中进行了实测,结果表明,利用5G多波束的优势,所提方法可以在低计算成本的条件下取得均方根误差为1.06 m的单基站定位精度,优于现有典型定位方法。并且,与单波束相比,通过引入多波束,定位精度提高了48%。

3)面向移动场景的高精度定位及融合优化。针对单基站环境下连续移动定位可靠性差的问题,提出了移动指纹定位及测距融合优化方法。首先,基于5G多波束传输的空间差异性,利用多波束差分RSRP特征,结合轻量级梯度提升机算法机器学习方构建了楼层识别模型,并提出了基于循环神经网络的移动指纹定位算法。然后,在前序载波相位测距方法的基础上,结合RSRP能量特征提出了多波束联合测距方法。为提高算法的定位准确性及稳定性,构建了载波相位测距与多波束指纹定位融合模型。在不同楼层环境下进行了多条运动轨迹实测验证,结果表明,该定位算法可以实现均方根误差优于1.5 m的连续移动定位,且楼层识别精度超过95%。

作者简介:周鑫,2024年6月毕业于武汉大学,2024年6月毕业于武汉大学,获工学博士学位(指导教师:陈亮教授),研究方向为室内定位。x.zhou.whu@whu.edu.cn

引文格式:ZHOU Xin.Research on Indoor Positioning for Commercial 5G Single Base Station[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2025,50(7):1456.DOI:10.13203/j.whugis20250079.(周鑫.商用5G单基站室内定位研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(7):1456.DOI:10.13203/j.whugis20250079.)