

5G 定位在大型体育赛事中的应用研究

Research on Application of 5G Positioning in Sports Games

张超¹,张祺媛²,韦广林³,杨杉²,叶海纳²,冀岩琦⁴(1.国家体育总局体育信息中心,北京 100061;2.中国联通智能城市研究院,北京 100048;3.中国联合网络通信集团有限公司,北京 100033;4.中国联通黑龙江省分公司,哈尔滨 150001)
Zhang Chao¹,Zhang Qiyuan²,Wei Guanglin³,Yang Shan²,Ye Haina²,Ji Yanqi⁴(1. China Sport Information Center[CSIC], Beijing 100061, China; 2. China Unicom Smart City Research Institute, Beijing 100048, China; 3. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China; 4. China Unicom Heilongjiang Branch, Harbin 150001, China)

摘要:

高精定位作为 5G 技术的重要应用之一,其升级与发展正在深刻改变各行各业的运作方式。首先介绍了 5G 高精定位技术发展情况,重点阐述了其在 2025 年哈尔滨亚洲冬季运动会中的应用案例,最后展望了 5G 高精定位一网多用的发展趋势并给出在体育赛事、运动场馆等场景中的应用建议。

关键词:

5G; 5G-A; 定位
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.07.011
文章编号:1007-3043(2025)07-0065-05
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:

High-precision positioning, as one of the key applications of 5G technology, is profoundly transforming the operational methods across various use case through its advancements and developments. It first introduces the development status of 5G high-precision positioning technology, with a particular emphasis on a case study conducted during The 9th Asian Winter Games Harbin 2025. Finally, it explores the development trends of multi-use 5G high-precision positioning and offers application recommendations for scenarios such as sports events and athletic venues.

Keywords:

5G; 5G-A; Positioning

引用格式:张超,张祺媛,韦广林,等. 5G 定位在大型体育赛事中的应用研究[J]. 邮电设计技术,2025(7):65-69.

0 引言

第 9 届亚洲冬季运动会(以下简称“亚冬会”)于 2025 年 2 月在黑龙江省哈尔滨市举行,是亚洲地区规模最大、项目最丰富的冬季综合性运动会之一。各地冰雪运动员和冰雪爱好者齐聚一堂,共享国际体育盛事。中国联通作为亚冬会官方通信及云服务合作伙

伴,承担全部亚冬竞赛场馆、非竞赛场馆和设施的通信建设和服务保障工作,凭借先进技术和创新方案为赛事提供全方位支持。其中,5G 新空口(New Radio, NR)定位增强技术能够对室内环境中的人或物进行精确定位,形成办赛人员“保障力量图”,可极大提升人员室内定位调度的效率与精准度。

1 5G NR 定位技术概述

在室内场景,5G NR 定位技术利用 5G 网络的高

收稿日期:2025-06-04

频、大带宽、多天线等特性实现精准定位。该技术在硬件设备、频谱资源、信号处理层面进行了深度融合,显著提升了网络系统的整体性能和利用效率,具有通信定位一网两用,授权频谱无干扰、部署运维管理简化、长期演进有路标的优势。政策支持与技术演进的共同推动,使5G定位产业能力日趋成熟,5G定位应用场景不断丰富。

1.1 政策支持

工信部在《5G规模化应用“扬帆”行动升级方案》中明确提出,升级5G核心产业基础能力,持续推进上下行超宽带、通感一体、无源物联、高精度低功耗定位、网络智能等关键技术研发试验,到2027年底全面实现5G规模化应用。截至2024年12月,中国联通累计开通5G基站219万站,打造超4万个5G应用商业化项目。据ABI Research调研显示,大约40%的5G企业用户愿意在未来5年内开通5G定位功能^[1]。借助5G通信网络的大规模覆盖,激发更多潜在的定位需求,打开更广阔的应用空间。

1.2 技术演进

3GPP NR定位技术自推出以来,在定位服务架构、参考信号设计以及测量与参数增强等多方面进行了大量创新。Rel-16奠定定位的基础框架和基本功能,将室内定位精度提升至3 m,室外定位精度提升至10 m,满足大部分商业和工业应用的基本需求^[2]。Rel-17进一步深化定位要求,特别是针对工业互联网等高要求应用场景的需求,关注厘米级定位精度、减少系统延迟以及提高整体运营效率^[3]。Rel-18规定了5G-Advanced(5G-A)系统的进一步改进,带来多项创新和性能提升,引入低功耗高精度定位和红帽定位,以支持更广泛设备的高精度定位需求;借助载波聚合与载波相位定位技术,有望突破现有定位技术瓶颈;引入Sidelink侧链定位^[4],通过终端间测距与定位为位于基站覆盖范围之外的终端设备提供定位服务;同时深入探讨人工智能与机器学习在提升非视距定位性能方面的可行性^[5]。

1.3 应用场景

对位置的精确描述已经成为数智化发展的基本要求,5G NR定位技术可广泛应用于各垂直领域的多种场景的定位。

在工业互联网方面,5G NR定位技术能够实现对大规模移动设备和资产的精确定位与跟踪,为实时控制、流程优化及柔性生产提供关键的基础信息支持。

同时,5G网络的层二接入、网络切片、边缘计算等能力,完美契合工业制造企业信息技术、通信技术、运营技术与数据技术扁平化融合的发展趋势。通信与定位一网多用高度集成的5G网络,在设备密集复杂的工厂环境中,能够有效减轻企业运维工作负担,展现出其他定位技术所不具备的独特优势。

在能源电力方面,5G专网方案已经在全国落地100多座电厂,覆盖火电、水电、核电、风电、光伏等全链条发电领域。据估算到2026年,5G将为全球带来1.3万亿美元的数字化市场规模,其中能源及公用事业占比高达19%^[6]。基于5G NR定位技术实现人员作业轨迹实时监控、危险区域闯入联动报警等,可有效提升能源电力企业环境风险识别与防控管理水平。

在城市轨道交通方面,5G公、专网架构可同时满足运营商公网用户服务和城轨专网业务需求,以跨行业合作模式提高网络资源利用率。城市轨道交通约七成空间为地下隧道,5G NR定位能够在此类狭长且封闭的轨行区域内实现全面的通信网络覆盖,并提供精准的位置信息监控与管理,这对于保障运营和维修人员的安全至关重要^[7]。

在文旅行业方面,5G可以实现观众的实时定位和导览服务,提供个性化的路线推荐和景点解说,提升观众的游览体验。5G NR定位结合增强现实技术,还可以为观众提供沉浸式文化体验。对于文旅管理者而言,5G NR定位技术还有助于实现精细化管理,提高运营效率和服务质量^[8]。

2 大型体育赛事5G定位系统方案设计

哈尔滨亚冬会冰球馆是目前国内规模最大、档次最高的冰球馆,是此次亚冬会的重要比赛场馆,承担着冰球赛事的举办任务(见图1)。为确保赛事的顺利进行,提升场馆内的管理和服务水平,中国联通在冰球馆开展了5G室内定位技术的应用。

2.1 整体架构



图1 亚冬会冰球馆室内环境

哈尔滨冰球馆 5G 定位系统方案设计如下,系统主要分为终端、网络 and 平台 3 个部分,其系统架构如图 2 所示。

平台承担流程管理、数据汇聚、定位增强和业务应用等功能。平台作为整个网络 5G 定位测量执行流程的发起端,可按周期重复、事件触发等类型,分配多用户位置解算任务;汇聚并利用网络、终端、地图等多源信息,重点面向非可视区域进行定位增强;并提供基本定位业务功能和管理功能。

无线网负责定位无线信号特征的测量和上报。采用分布式基站和微基站组合的方式,开通 3.3+3.4+3.5 GHz 频段 300 MHz,保证场馆高容量区域、看台区域、比赛场地区和通道出入口的网络覆盖及高精度定位。核心网 AMF、UDM、SMF 等复用大区既有网元,新增 LMF、GMLC 逻辑网元,其中 LMF 进行用户位置解算,GMLC 管理定位结果。

终端负责多模信号收发与数据通信反馈。终端集成了多种无线接收模块,与网络侧信令面交互上报 5G 定位信号,与平台侧用户面通信上报除 5G 外的其他数据。

2.2 平台

5G 定位平台由定位服务子系统、数据采集子系统和终端接入子系统构成,其功能架构如图 3 所示。亚冬会“璇玑”时空服务平台管理驾驶舱示意如图 4 所示。

示。

a) 定位服务子系统的的核心层基于 5G 定位引擎、地图引擎、消息引擎等,汇聚网络、终端、地图、工参等多源异构信息;定位增强层构建深度学习算法库,进行稀疏指纹扩充、多维特征提取、时序轨迹预测和众包指纹更新等数据处理,提升非可视区域定位精度;基础组件层提供实时定位、历史轨迹、对象管理等通用定位管理功能;场景组件层提供电子点名、工单派发等人员、车辆上层业务管理功能。

b) 数据采集子系统为移动端 APP,集成了数据采集、精度测试等功能,可提高业务调试开通效率、降低现场服务技术门槛、缩短现场人工作业时长。

c) 终端接入子系统终端接入 SDK,支撑零配置快速接入平台,并根据业务需求及终端状态,动态调度和卸载终端任务,进一步优化能耗。

2.3 网络

冰球馆场馆坐席数为 5 500,预估在场工作人员及其他人员冗余 500 人,预计总规模为 6 000 人,场馆内外建设 260 个 PRU 天线。开通 3.3+3.4+3.5 GHz 频段 300 MHz,覆盖层 100 MHz 连片,容量层开启 300 MHz 容量空间,以保证极限状态和突发情况下的网络需求。在场馆高容量区域实施小区分裂以提高覆盖能力,看台区域以看台为平面进行竖切,比赛场地区则配置为单独的小区。对于场地区、看台区等空旷且顶

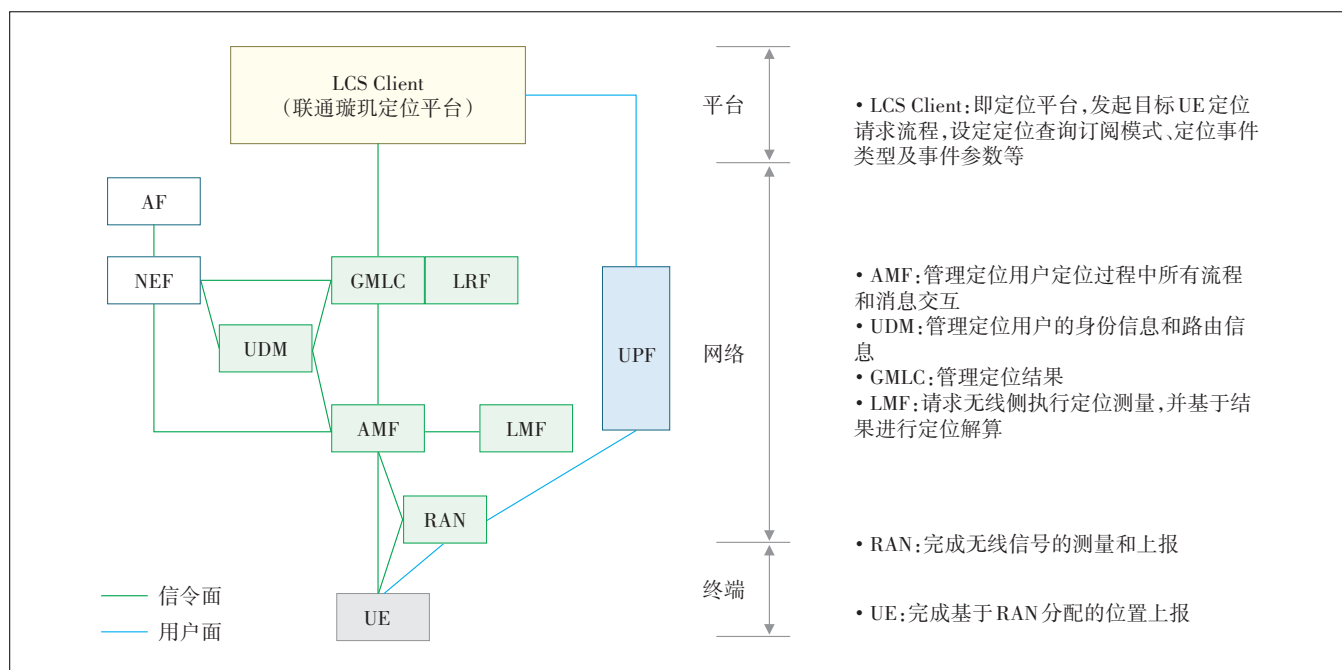


图2 5G NR 定位服务逻辑架构

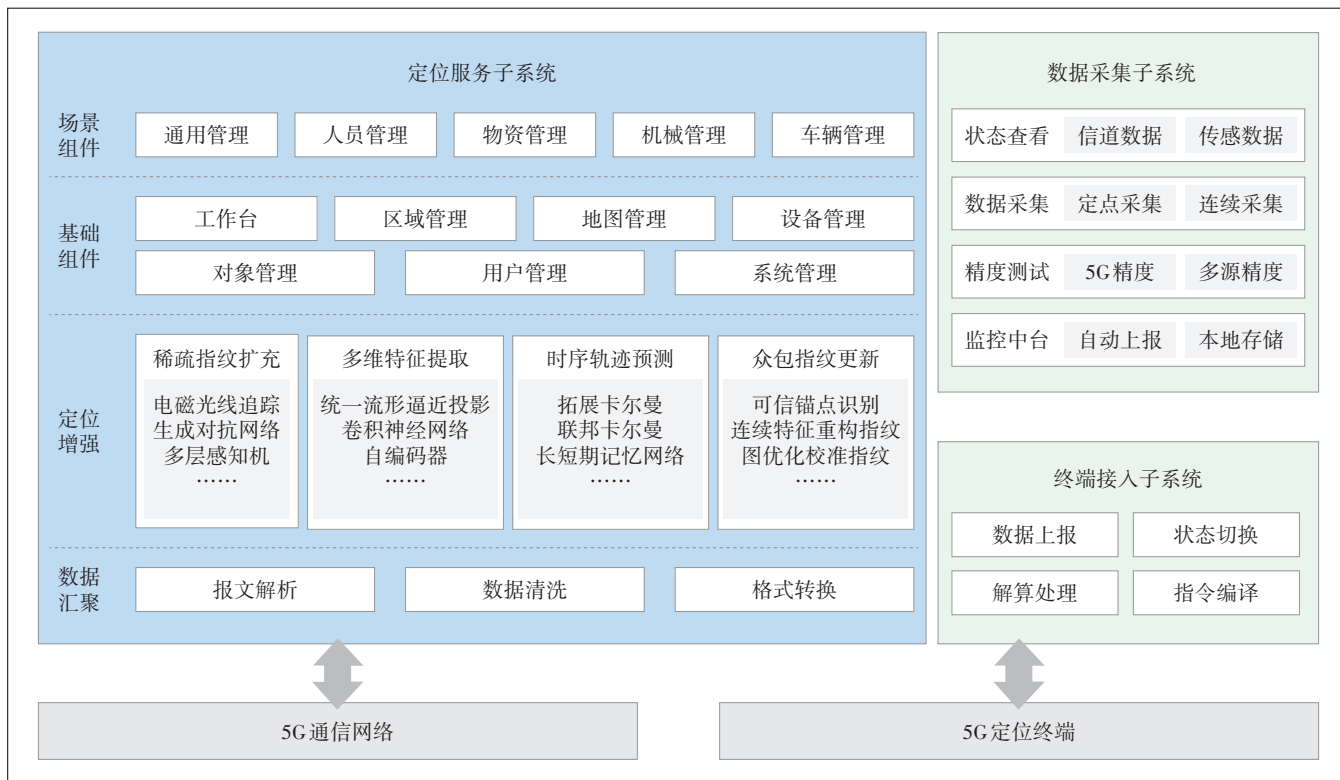


图3 5G定位平台功能架构

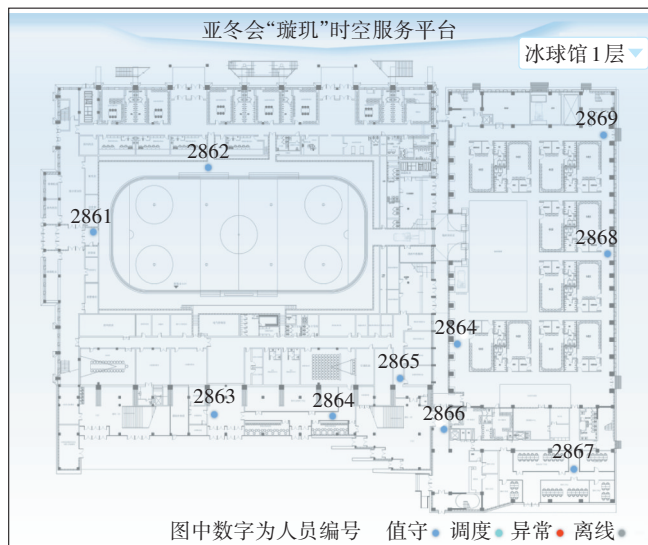


图4 亚冬会“璇玑”时空服务平台管理驾驶舱示意

棚较高的区域,采用外置赋形天线;对于办公区、走廊等顶棚低的区域,则采用内置型方式进行覆盖。在齐齐哈尔新建 MEC 资源池,承载新增的核心网 LMF、GMLC 逻辑网元和定位平台。布设主备双路由 8 条 24 芯光缆,确保赛事信息通信保障万无一失。亚冬会冰球馆小区关键参数评估如表 1 所示。

表 1 亚冬会冰球馆小区关键参数评估

输入参数	冰球馆(八区)
保障用户基站	6 000
NR 业务渗透率/%	70
RRC 激活用户比/%	70
NR 在线用户数	1 470
UL/DL 业务占空比/%	25/15
UL/DL 调度用户数/个	367.50/220.50
UL/DL 单用户体验速率/(Mbit/s)	2/5
UL/DL 容量需求/(Mbit/s)	735.00/1 102.50
UL/DL NR 区块平局吞吐率/(Mbit/s)	202.5/450
DL/DL 区块数	3.63/2.45

2.4 终端

终端和网络侧信令面交互收发测量 5G 定位相关的信号,按需和平台侧用户面通信上报除 5G 外的其他数据。本项目 5G 室内定位以探测参考信号(Sounding Reference Signal, SRS)和同步信号块(Synchronization Signal block, SSB)相关测量量作为位置解算输入数据。现商用且具备数传能力的 5G 终端均支持 SRS 发送及 SSB 接收,天然可支持 5G 定位。此外,在对终端功耗、尺寸及成本更为严苛的场景中,可选择采用了 5G-A

低功耗高精度定位(Low Power High Accuracy Positioning, LPHAP)技术的终端,其续航时间可延长到月级甚至年级。

3 关键技术及增益

3.1 基于深度学习实现非视距定位精度提升

在室内复杂环境中,会产生非视距、重多径环境,传统几何定位方法难以消除显著的测距和测向误差。AI/ML(Artificial Intelligence/Machine Learning)技术通过分析与挖掘无线信道信息的时空分布特点,基于真实数据进行深度学习,可避免非完美建模带来的负面影响。在严重多径场景下,传统几何定位方法的水平定位精度 $>15\text{ m}$ (CDF=90%),而考虑小跨度时变泛化性的AI/ML定位的精度 $<3\text{ m}$ (CDF=90%)^[9]。在实际项目中应用AI/ML定位增强技术需注意以下要点。首先,环境变化会对多径特性产生重大影响,AI/ML技术需要充分考虑同一地点时间变化(例如,移动物体、工厂、楼层、仓库等随时间变化的微小环境变化)的泛化性能,以确保长期的定位精度。其次,还需平衡定位精度与实施开销,应详细评估设置数据类型、采样频率、采样密度等。此外,对于实时定位为时延敏感性业务的任务,还需采用合理的硬件资源以及加速技术来提升深度神经网络模型的推理速度。

3.2 基于站间互发信号实现免信标时钟同步

对于视距场景上行到达时间差定位方法,为保证定位精度,需确保收发点(transmission and reception point, TRP)间接收时间精确同步。在传统方案中,每4个TRP间部署1个信标,通过信标位置反向测量TRP间系统时延差,存在信标数量多、选点难、且需要长期供电等问题。通过站间互发信号,可利用多个TRP的已知坐标计算得到TRP间接收处理时间差,在测量待定位用户的到达时间时消减误差。

3.3 基于LPHAP实现低功耗高精度定位

时间类定位算法的定位精度与参考信号所占时频资源相关^[10]。LPHAP将通信与定位的带宽进行解耦,降低通信数据传输带宽,保证SRS定位信号带宽为100 MHz,支持在去激活模式即RRC_INACTIVE状态下进行SRS配置增强,进行周期性定位,以实现低功耗高精度的5G定位。

4 结束语

5G定位作为5G网络的重要能力之一,正逐步成

为推动各行业数字化转型的关键技术。随着5G网络的日益普及与技术的不断成熟,5G定位技术被广泛应用于更多领域。本方案通过科学的网络规划、合理的设备部署及先进的数据处理,为赛事管理和观众导航提供坚实的技术支持,显著提升场馆内的管理与服务水平。同时,该方案亦为未来大型体育赛事及场馆管理提供了创新思路与技术保障。该方案成功应用于亚冬会等重大项目,进一步促进了5G产业全链条的成熟与升级。技术革新与规模化应用的良性互动,共同推动5G定位技术迈入新的发展阶段。

参考文献:

- [1] ABI Research. 5G positioning: enterprise problem solver or just another RTLS technology? [R/OL]. [2025-01-26]. <https://go.abiresearch.com/lp-5g-positioning-enterprise-problem-solver-or-another-rtls-technology>.
- [2] 3GPP. Study on NR positioning support: 3GPP TR 38.855 [S/OL]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] 3GPP. Study on NR positioning enhancements: 3GPP TR 38.857 [S/OL]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] LIEN S Y, DENG D J, LIN C C, et al. 3GPP NR sidelink transmissions toward 5G V2X[J]. IEEE Access, 2020, 8: 35368–35382.
- [5] 3GPP. Study on expanded and improved NR positioning: 3GPP TR 38.859 [S/OL]. [2025-01-26]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [6] Deloitte. 5G empowers the future of electricity [EB/OL]. [2025-01-26]. <https://deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/energy-resources/deloitte-cn-er-5g-empowerment-future-power-en-211130.pdf>.
- [7] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 5G 公网总体规范第1部分: 业务需求: T/CAMET 04030.1–2024[S]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2024.
- [8] 殷平, 庄涛, 韦广林, 等. “5G+北斗”在文旅行业中的应用[J]. 邮电设计技术, 2024(3): 82–87.
- [9] 3GPP. Study on artificial intelligence (AI)/machine learning (ML) for NR air interface [S/OL]. [2025-01-26]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [10] 胡龙星, 王题, 牛铁, 等. 基于RSTD的5G定位精度分析[J]. 中国新通信, 2024, 26(22): 122–125.

作者简介:

张超,毕业于北京理工大学,高级工程师,硕士,主要从事大型赛事信息技术规划和管理工作;张祺媛,工程师,主要从事5G定位技术研究及相关工作;韦广林,教授级高级工程师,学士,主要从事智慧文旅领域相关工作;杨杉,正高级工程师,博士,主要从事时空服务领域相关工作;叶海纳,高级工程师,博士,主要从事时空服务领域相关工作;冀岩琦,工程师,主要从事移动通信无线网相关工作。