



广东省通信学会

GUANGDONG INSTITUTE

OF COMMUNICATIONS

“北斗+5G”通感融合 赋能时空位置服务 白皮书 (2023年)

广东省通信学会

广东省通信学会北斗+5G专业委员会

版权声明

本白皮书版权属于广东省通信学会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：广东省通信学会”。违反上述声明者，本学会将追究其相关法律责任。

《“北斗+5G”通感融合赋能时空位置服务白皮书》 编写委员会

◇ 指导单位：

广东省通信学会

◇ 主编单位：

中国电信股份有限公司广东分公司

中国电信股份有限公司研究院

中国电信股份有限公司广东亿迅科技有限公司

北京邮电大学

广东省电信规划设计院有限公司

◇ 参编单位：

华为技术有限公司

中兴通讯股份有限公司

大唐移动通信设备有限公司

高德软件有限公司

小米科技有限责任公司

北京四维图新科技股份有限公司

千寻位置网络有限公司

北京六分科技有限公司

广东赛宝新天地科技有限公司

广东省建筑科学研究院

✧ 专家组:

李进、刘志军、黄云飞、鲁娜、李成、王建秀、曾杰、邓中亮、胡恩

文、肖群力、曾沂粲、涂进、林宁

✧ 编写组:

梁力维、麦磊鑫、吴棋焕、彭家骏、杨世敬、吕园、谢卓罡、庞涛、
邱斌、郭开远、李俊、叶蔼笙、汪博文、刘胜楠、谢瞻远、司志伟、朱剑
驰、蒋峥、林祥通、张天圆、刘京融、张智超、丁振柯、刘炳勋、曾俊健、
陈涛、方兴、邓勇、苏卓文、李紫阳、韩营、刘峻宁、贺黎滔、张博、胡
磊国、刘兆元

前 言

在这个信息化、网络化、智能化的时代，时空信息、定位导航服务已经成为重要的新型基础设施，综合时空体系将向更加泛在、更加融合、更加智能的方向快速迈进。基于新型综合时空体系的时空位置服务将更深入地融进我国的经济生产和社会活动中，是广大人民群众高质量生活的基本保障要素，是现代城市高效率运行与管理的重要保障手段，更是支撑数字经济发展的核心基础能力。

近年来，我国自主研发的“北斗”卫星定位导航系统已经实现了全球服务。然而，在城市峡谷和室内场景，卫星信号受阻挡或者无法接收卫星信号，服务受阻，卫星、差分站等基础网络无法满足所有场景定位授时需求。而 5G 具有室内室外全场景覆盖、通信+位置服务一体化的能力，是卫星定位服务的很好的补充，可以实现天地一体、室内室外无缝覆盖、通信和定位一体化的能力。未来，通感融合将是 5G/6G 必备特征之一。通过一体化空口信号和多样化感知设计，在通信的同时，具备距离、速度、角度等感知新能力，从而构建成本低、性能优、无缝泛在的通感一体网络，成为支撑数字经济的核心通用能力。

本白皮书基于对这些探索的总结和思考上编制。中国电信与合作伙伴开展深度合作，研究北斗+5G 高可信智能时空网体系，研发综合时空服务平台，并开展大众规模化应用。通过北斗+5G 通感一体的融合时空位置技术，构建时空网服务体系；面向大众规模应用，提供差异化服务能力，并作为基础设施能力底座促进经济社会发展。

“上下四方曰宇，古往今来曰宙”，我们生活的世界叫宇，宇是空间概念，过去和当今还有未来叫宙，宙是时间概念。空间和时间加在一起就是我们生活的天地。我是谁，我在哪里，我将往哪里去，浩瀚宇宙无非时空，

时空位置服务亦即探索宇宙之旅。北斗领航，5G 辅之，探索旅程必定更加行稳致远。在更为广阔的数字经济发展空间中，北斗+5G 通感融合将助力社会各行业实现数字化转型，提高效率、降低成本，为全球数字经济的繁荣做出积极贡献。

目 录

一、背景	9
1.1. 时空位置服务概念与需求	9
1.2. 北斗发展现状	10
1.3. 5G 定位发展现状	11
1.4. 北斗和 5G 的融合定位发展现状	12
二、问题与挑战	14
2.1. 北斗与 5G 体系融合的挑战	14
2.2. 室外室内一张网的挑战	15
2.3. 从定位服务到智能感知	16
三、北斗+5G 通感融合体系及关键技术	17
3.1. 四层四域时空定位服务融合体系架构	17
3.2. 北斗+5G 融合定位服务关键技术	20
3.2.1. 5G 高精度定位与授时技术	22
3.2.2. 北斗/5G 智能融合增强定位技术	25
3.2.3. 端侧自主完好性监测与评估技术	27
3.3. 5G 通感一体化关键技术	29
3.3.1. 通感一体系统网络架构演进	29
3.3.2. 通感一体无线关键技术	32
3.3.3. 通感一体标准化工作	35
四、典型案例	39
4.1. 基于通感融合技术赋能低空经济的应用 (ToG、ToB)	40
4.2. 基于北斗+5G 融合定位的智慧港口应用 (ToG)	46
4.3. 基于北斗+5G 融合定位的道路态势感知应用 (ToG)	47
4.4. 基于北斗+5G 融合定位的智慧园区应用 (ToB)	50
4.5. 基于北斗+5G 联合定位的智能检测车应用 (ToB)	52
4.6. 基于北斗+5G 融合的车道级导航应用 (ToC)	54
4.7. 基于北斗+5G 融合定位的家人关爱应用 (ToC)	55
五、北斗+5G 产业发展建议	57
5.1. 产业布局建议	57
5.2. 基础设施的规划建议	58
5.3. 突破关键核心技术的建议	58
5.4. 产业链体系的发展建议	59
六、总结展望	59

英文缩略词表

缩写	英文全称	中文全称
AoA	Angle of Arrival	到达角度测距
API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
BI	Business Intelligence	商业智能
D2D	Device to Device Communication	D2D 通信
E-CID	Enhanced Cell-ID	增强单元 ID
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave Radar	调频连续波
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球卫星导航系统
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量单元
KPI	Key Performance Indicator	关键性能指标
LPHAP	Low Power High Accuracy Positioning	低功耗高精度定位
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘运算
NFV	Network Functions Virtualization	网络功能虚拟化
OTDOA	Observed Time Difference of Arrival	可观察到到达时间差分
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用技术
OTFS	Orthogonal Time Frequency Space	正交时频空调制
PNT	Positing、Navigating、Timing	定位、导航、授时体系
QoS	Quality of Service	服务质量
RTK	Real - time kinematic	载波相位差分技术
SF	Sensing Function	感知网元
SLA	Service Level Agreement	服务级别协议
SL	Sidelink	直通链路
SDK	Software Development Kit	软件开发工具包
SUL	Supplementary Uplink	上行补充频谱
UWB	Ultra Wide Band	超宽带技术
UTDOA	Uplink Time Difference of Arrival	上行到达时间差定位
V2X	Vehicle to Everything	车联万物
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划

一. 背景

1.1. 时空位置服务概念与需求

时空位置服务是一种利用全球卫星定位系统、5G 定位和其他技术（如惯性导航、多传感器融合等），来确定目标的位置和时间等信息，并将这些信息通过通信网络传输给用户的服务。这种服务具有高精度、高可靠、高可用、高安全的特点，被广泛应用于智能交通、智慧城市、物联网、智能制造等领域，成为现代社会发展的重要支撑之一。时空位置服务可以分为基础时空信息服务和基于位置信息的综合信息服务。前者包括高精度定位、导航和授时服务，以及大地测量数据的获取、处理和管理等；后者则将时空位置信息与其他信息整合，提供各种基于位置的综合信息服务，如智能交通、智慧工业、智慧物流等。时空位置信息是一切智能规划、决策、管理的基础，北斗全球卫星导航系统作为时空信息基础设施，其应用可以通过跨界融合，赋予其他行业、其他技术精准的时间和位置能力，成为实现区域，甚至全球智能规划、决策和协同控制的基础性技术。

时空位置服务可以为经济社会发展提供强有力的支撑，可以促进信息技术与各行各业深度融合，推动信息化和数字化转型，提升社会效率，促进经济发展。为了推动时空位置服务的可持续发展，我国政府已经发布了一系列具体的政策措施。《中华人民共和国卫星导航条例》旨在规范卫星导航活动，促进卫星导航事业的发展；《国家卫

《卫星导航产业中长期发展规划》则明确了卫星导航产业的发展目标、重点任务和政策措施，为卫星导航产业的发展提供了指导和支持。此外，《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》也将高精度定位、导航和授时服务纳入其中，以推动交通运输领域的应用和发展。政策的制定和实施也体现了我国政府对时空位置服务的高度重视和支持，为产业的可持续发展提供了强有力的保障。政策的实施将进一步促进时空位置服务的发展和创新，为我国经济社会发展做出更大的贡献。

2022 年我国时空位置服务产业总体产值达到 5007 亿元人民币，较 2021 年增长 6.76%。其中，包括与卫星导航技术研发和应用直接相关的芯片、器件、算法、软件、导航数据、终端设备、基础设施等在内的核心产业产值同比增长 5.05%，达到 1527 亿元人民币，在总体产值中占比为 30.50%。由时空位置服务所衍生带动形成的关联产值同比增长 7.54%，达到 3480 亿元人民币，在总体产值中占比达到 69.50%。在我国 5007 亿元人民币总体产值中，珠三角地区产值占总产值的比重达 20.5%。《2023 中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》指出，2022 年北斗应用总体规模仍在稳步提升，推进机制得到进一步健全，基础设施愈加完善，标准化建设取得新进展，检测认证体系日益强化，重点领域也在持续发力，国际合作实现稳步发展。北斗规模化应用正在全面开启市场化、产业化和国际化发展的新篇章。

1.2. 北斗发展现状

北斗三号开通以来，系统运行连续稳定可靠，服务性能世界一流，

实现全球定位精度优于 5 米。在产业化发展方面，“行业+北斗”蓬勃发展，时空信息业务需求已经深入许多行业最基层的业务环节。北斗大众应用服务正步入快车道，近两年销售的智能手机的北斗功能渗透率接近 100%，高精度定位服务功能也已进入智能手机。在国际化方面，北斗系统已获得民航、海事、应急搜救等国际组织的认可，北斗国际应用进一步拓展和深化，海外的认知度和影响力正不断提升。

面向未来，我国将建设技术更先进、功能更强大、服务更优质的北斗系统，建成更加泛在、更加融合、更加智能的综合时空体系，提供高弹性、高智能、高精度、高安全的定位导航授时服务，更好惠及民生福祉、服务社会发展进步。

1.3. 5G 定位发展现状

全球卫星导航系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）是定位技术的典范，但局限于室外场景。在蜂窝网络标准方面，5G 无线定位已经在第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）进行了数个 Release 的标准化工作。3GPP Rel-15 NR 定义了 NR 定位协议 A（NRPPA），在 Rel-16 阶段开始研究基于 NR 的定位技术，定义新的定位参考信号和终端/基站（UE/gNB）测量，更新定位的信令协议和过程。定位技术作为典型的感知技术，是支撑未来通感融合的基础技术。5G 能够为室内场景带来高精度定位，比拟 GNSS 的室外定位精度。5G 在定位方面，有高载频、大带宽、多天线、D2D 通讯（Device to Device Communication）、高网络密

度五大优势。3GPP Rel-16 协议于 2020 年中首次将定位能力引入到 5G 网络标准，除传统的 E-CID (Enhanced Cell-ID)、OTDOA (Observed Time Difference of Arrival) 和 UTDOA (Uplink Time Difference of Arrival) 等外，5G 定位结合大带宽和多天线特性，进一步支持了 multi-RTT、UL-AoA、DL-AoD、LPHAP (Low Power High Accuracy Positioning)、Sidelink 定位、载波相位定位、带宽聚合定位等多种定位技术。经过数个版本的不断演进，定位目标精度从 Rel-16 版本的米级向 Rel-18 的分米级持续增强。Rel-16 版本要求商业应用的定位需求，水平方向定位精度室内小于 3 米@80%，室外小于 10 米@80%，垂直方向定位精度小于 3 米，到 Rel-17 版本，普通商业场景 90% 用户的水平和垂直定位精度分别小于 1 米和 3 米，在工业物联网场景，水平和垂直定位精度分别小于 0.2 米和 1 米@90%。在 Rel-18 版本，基于直通链路 (Sidelink, SL) 定位，在 V2X (Vehicle to Everything) 场景中，Set A 的水平定位精度为 1.5 米，垂直定位精度 3 米，Set B 的水平定位精度为 0.5 米，垂直定位精度 2 米；在 IIoT 场景中，Set A 的水平定位精度为 1 米，垂直定位精度 1 米，Set B 的水平定位精度为 0.2 米，垂直定位精度 0.2 米；同时，定义了低能力等级终端 (RedCap UE) 定位，Rel-18 RedCap UE 的水平和垂直定位需求分别是 1 米@90% 和 3 米@90%。

1.4. 北斗和 5G 的融合定位发展现状

北斗和 5G 是时空位置服务的核心，具有天然的互补性。国务院

发布的《新时代的中国北斗》白皮书，提出北斗发展新愿景是建成更加泛在、融合、智能的综合时空体系，提供高弹性、高智能、高精度、高安全的定位导航授时（Positioning、Navigating、Timing，PNT）服务。白皮书指出，北斗系统为 2G、3G、4G、5G 移动通信系统和终端使用北斗网络辅助定位和高精度定位功能提供重要支持，更好服务全球用户与相关行业发展。国资委发布的《中央企业北斗发展三年行动计划（2021-2023 年）》，要求推进北斗与 5G 融合应用，建立基于北斗+5G 融合通信能力平台和高精度融合定位能力平台，提供室内外一体化的高精度定位服务。

在北斗和 5G 融合定位中，5G 技术的差分通道传输发挥着关键作用，为北斗系统提供了更加准确和稳定的位置信息。首先，差分通道传输技术通过消除信号传输过程中的常见误差，如大气层的影响、信号传播路径的不确定性等，提高了北斗系统的定位精度。其次，北斗系统中的卫星信号在传输过程中会受到多种干扰，这些干扰的实时性和频率可能较高。5G 技术的高速传输和低时延特性使得北斗系统可以更及时地获取并响应这些干扰，从而更加迅速地进行差分修正，提高了定位系统的动态性能。此外，5G 的大规模设备连接特性也为差分通道传输提供了更好的支持。通过连接大量的终端设备，可以实现更广泛区域内的数据采集和误差监测，使得差分通道传输技术的修正更加全面和精准，进而获得一个全面修正的定位信息，为北斗系统的性能提升提供了强有力的支持。

5G 网络已广泛应用北斗系统。根据 2022 年《中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》，在移动通信领域，北斗系统可支持 4G/5G 基站时钟同步和同步网设备时钟同步，支撑 5G 网络的低时延要求；同时在 5G 网络，5G 基站同步部署 GNSS 接收机，支撑开展北斗高精度应用。

二. 问题与挑战

2.1. 北斗与 5G 体系融合的挑战

北斗卫星导航系统与 5G 移动通信网络的融合面临着一系列任务，其主要挑战包括：

(1) 为克服北斗卫星导航系统和 5G 移动通信网络的精度和覆盖范围差异化问题，确保在各种环境下都能提供高精度的时空服务，亟需解决北斗+5G 的海量数据的同步、校准和融合问题，以提供一致而准确的时空信息。为克服北斗卫星导航系统和 5G 移动通信网络的精度和覆盖范围差异化问题，确保在各种环境下都能提供高精度的时空服务，亟须解决北斗+5G 的海量数据的同步、校准和融合问题，以提供一致而准确的时空信息。

(2) 亟需制定北斗+5G 融合体系标准与架构，参与行业联盟和标准化组织，与相关机构和企业合作，制定技术规范、数据格式和接口协议等统一标准，以满足不同系统之间的互通性和互操作性，推动北斗卫星导航系统与 5G 移动通信网络的有机融合。

(3) 要深度挖掘室内外融合定位及应用，着力突破室内外无缝定位技术，大力挖掘室内外融合应用场景，这将极大拓展时空应用的范围，真正实现时空服务的泛在、融合与智能。

(4) 在推动北斗卫星导航系统与 5G 移动通信网络的融合过程中，产业合作起着至关重要的作用，亟需促进各领域的合作与协同创新，建立合作机制和开放平台，打破壁垒，实现资源共享与优势互补，推动技术的发展与应用。

2.2. 室外室内一张网的挑战

随着卫星定位与移动通信网络技术的发展，基于位置的服务需求与日俱增，然而在 PNT 标准化方案尚未落地的室内、地下、隧道、城市峡谷等复杂遮挡场景中，服务存在“最后一公里”的空缺，构建无缝 PNT 系统已成为当前亟待满足的关键技术需求。

现有的广域无缝 PNT 技术在准确性、连续性与可用性方面仍然存在“本体能力不足、融合层次不深、评估检验不严密”等突出问题，其主要挑战包括：

(1) 环境差异

室内和室外环境具有显著的差异，包括信号传播特性、建筑结构、地形等。这些差异会导致定位算法在室内和室外环境中的表现不同。因此，需要设计适应不同环境的定位算法，能够在室内和室外环境中都能提供准确的定位。

（2）异构传感器数据关联与匹配

室内和室外定位系统通常使用不同类型的传感器，如 GPS（Global Positioning System）、IMU（Inertial Measurement Unit）、Wi-Fi、蓝牙等。将这些异构传感器集成到一张网络中需要解决数据融合和传感器校准的问题，以确保数据的一致性和准确性。

（3）安全和隐私

在合并室内和室外定位网络时，需要考虑数据的安全和隐私保护。定位数据可能包含个人敏感信息，如位置轨迹和身份信息。因此，必须采取适当的安全措施来保护数据的机密性和完整性。

综上所述，将室内和室外定位网络合并成一张网络需要解决传感器集成、环境差异、多路径干扰、数据关联、管理和维护、安全和隐私等挑战。这需要综合考虑定位算法、传感器选择、数据融合技术和系统架构等多个方面，并进行适当的算法设计和系统工程。

2.3. 从定位服务到智能感知

蜂窝网络定位技术在业务需求和技术增强两个层面都存在向通感一体化演进的强烈驱动力。随着信息技术和社会形态的发展，生产生活中涌现出了一些传统定位功能无法满足的新业务需求，如低空经济中非协作无人机的监管问题；另外，现有蜂窝网络中定位相对于通信独立存在，而二者在系统架构、信道特征、信号处理等方面存在高度的相似性，一体化设计有利于通信和感知能力的双提升。通感与定

位在目标特性和业务形态方面显著有别：现有协议中，定位目标均为授权终端，定位伴随信息交互，而感知目标可以为非授权的，不必信息交互；感知除定位外，还包括成像、模式识别等更丰富的业务。未来低空无人机经济有望成为通感一体化的关键应用场景，需求上，多地区积极布局低空网络基础设施建设，无人机市场将进一步拓宽；技术上，蜂窝网络在提供广域连续覆盖和组网协同监控上具备天然优势，其他技术无法替代。然而，蜂窝网络在向通感一体化网络演进过程也面临诸多挑战，包括通感物理层设计中波形设计、通感资源分配、干扰消除和管理问题；网络架构中感知网元设计、信令交互设计等；此外，还有尤为重要的通感信道建模问题。总之，通感一体化是进一步提升网络位置服务能力的必由路径，同时面临技术挑战。

三. 北斗+5G 通感融合体系及关键技术

3.1. 四层四域时空定位服务融合体系架构

围绕海量大众用户差异化的时空服务需求，着眼建立更加泛在、更加融合、更加智能的综合 PNT 体系，建立北斗卫星导航系统、5G 移动通信网络及北斗差分地基增强系统的融合体系架构，通过北斗与移动通信网、差分站网等在信号、信息层面的双层融合，建立“北斗主外，5G 主内”的室内外无缝 PNT 服务总体架构体系。

北斗与 5G、差分站网的深度融合体系着重考虑北斗卫星导航系统全遮挡环境（室内、地下、隧道等）下的 PNT 能力补充、半遮挡（城

市峡谷等)与开阔环境下的融合 PNT 能力增强。为此,在全遮挡环境下着力发展基于 5G 的 PNT 能力,并由北斗卫星导航系统提供时空基准;在半遮挡及开阔环境下重点研究北斗卫星导航系统与 5G 的融合增强技术;利用移动通信网络的双向链路优势,建立位置服务质量保障体系,发展具备闭环验证能力的 PNT 服务。

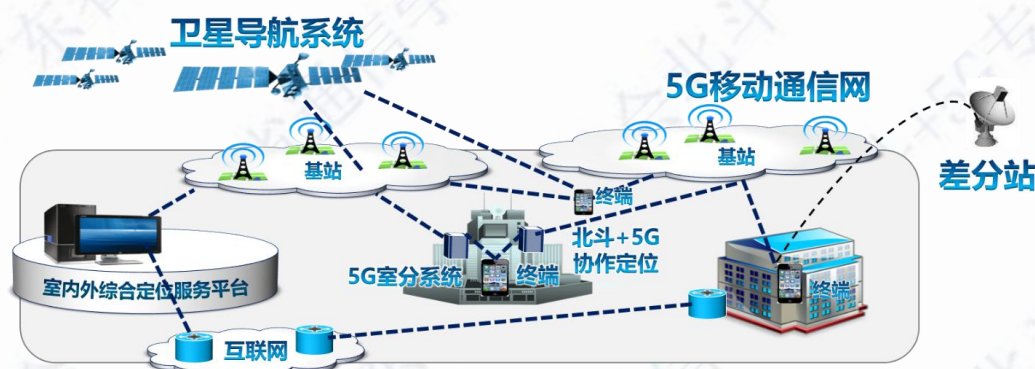


图 3-1 北斗、5G、差分站网融合体系架构

针对现有时空网中,GNSS(北斗卫星/差分站)、移动通信基站等时空网基础设施资源不统一,其能力、接口规范、服务机制等方面各有不同的现状,参考网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization, NFV)的理念进行基础资源融合,通过统一平台接口实现 PNT 使能封装。基于更加泛在、更加融合、更加智能、更加安全的时空服务理念,设计“四层四域”的时空服务体系架构,面向海量数据大并发场景,提升时空服务体系的稳定性和可靠性,实现用户透明 PNT 服务能力。



图 3-2 高可信时空信息服务体系

从逻辑视图角度，架构划分为基础设施域、能力服务域、安全保护域、运营管理域。基础设施域建立和维护可靠的物理终端和网络基础设施域，推动融合定位授时终端规模应用，统一多种 PNT 网络基础。能力服务域整合基础设施域的资源，提供 PNT 能力，面向大众用户、行业用户规模应用落地。运营管理域采用端到端融合理念，对北斗/差分能力、5G 定位能力、授时能力等不同能力进行调度、融合、管理，形成统一的调度策略，实现时空网的能力管理和运营，为多场景用户的差异化需求提供融合 PNT 服务能力以及服务级别协议（Service Level Agreement, SLA）的管理。安全保护域基于云网端高精度时空信息保护技术框架，实现全生命周期的自主可控安全保护体系，实现平台安全保护。

从空间视图角度，架构划分成终端设备层、基础网络层、能力使能层、业务服务层。针对现有终端设备无法实现融合定位网络接入的问题，基于 5G 高精度定位授时技术框架和北斗与 5G 通导融合的技术框架，推动 5G 基站和北斗差分基准站的有机融合。通过使用多种开

源技术和标准协议，推动实现能力模块自动化按需部署和可移植的高可用服务；通过能力组件、定位服务、API(Application Programming Interface)等方式，构建 PNT 综合服务平台，实现定位授时能力使能，面向大众的 PNT 应用，提供差异化服务能力。

通过“四层四域”的高可信时空网服务体系架构，采用统一的综合时空服务平台，整合现有的定位基础资源，充分发挥 GNSS 卫星导航、移动通信网的 PNT 能力优势，实现更加泛在、更加融合、更加智能、更加安全的时空服务体系，促进定位导航产业化和位置服务的商业化。推动高可信时空网在大众用户的规模化应用，实现关键重点行业的深化应用。

3.2. 北斗+5G 融合定位服务关键技术

5G 移动通信网络已完成 R16、R17 的定位标准制定，正在研究 R18 标准，已具备米级定位能力和亚米级定位潜力，其定位信号可覆盖室内外、地下、隧道、城市峡谷等环境，可成为北斗卫星导航系统全遮挡环境下的补充、半遮挡与开阔环境下的融合增强手段。在融合定位过程中，需要满足高精度、高可靠、高可用、高安全的要求。

(1) 高精度:借助北斗卫星和 5G 基站提供的定位信号,将 5G 载波相位高精度测距与北斗卫星定位能力相结合,在室内外环境实现高精度位置服务。

(2) 高可靠:在复杂环境下实现连续稳定可靠定位的能力,具备

系统鲁棒性、数据完整性、异常处理能力和可靠性验证与监测等特点，在导航系统不能用于导航时为用户提供及时、有效告警信息，满足关键应用领域对于定位服务高可靠性的需求，为用户提供可靠的服务和保障。

(3) 高可用:充分挖掘北斗卫星导航系统和 5G 移动通信网络的定位能力，将两者的定位结果进行同步、校准和融合。同时，根据用户需求、环境条件和通信条件进行判决，实现北斗+5G 的异构网络切换。最后，5G 与北斗形成多层信号覆盖，保障 5G 小区与卫星信号空间组合覆盖率达 99.9%以上，支撑在不同场景下提供稳定的定位服务。

(4) 高安全:5G 网络与北斗卫星进行端到端加密传输，设计信号安全机制有效防止欺骗信号干扰。5G 和北斗可以采取多项措施共同验证终端权限,实现从源到端的定位导航服务安全性保障。

然而，无线信号传播情况具有不定性、受环境影响大、衰减大、多径效应影响严重的特点，北斗/5G 混构网同步误差大，且异质多源融合模型稀缺，现有完好性评估指标之间相互孤立、缺乏体系。针对大众用户 PNT 服务连续性与可用性差等技术瓶颈，构建网络异构、数据异质融合增强定位与可信度评估模型，突破 5G 载波相位测量、载波聚合等定位技术，提出多场景约束的多源信息弹性融合定位函数模型、北斗+5G 智能融合鲁棒定位、基于机器学习的自主完好性监测技术与 PNT 可信度评估方法，开展全空域全时域北斗+5G 融合定位技术验证，实现室内厘米级定位、北斗+5G 高精度定位与授时，形成泛在、

融合、可信的 PNT 技术能力，为面向海量大众用户的差异化可信定位服务提供重要支撑。

3.2.1. 5G 高精度定位与授时技术

5G 高精度定位与授时技术主要从信道模型构建、非视距识别与抑制、5G 载波相位与载波聚合角度出发，支撑亚米级定位精度指标。技术路线如下：

(1) 构建基于机器学习的信道模型构建，利用无线多径/非视距识别与抑制技术，减少非视距误差对定位的影响。

(2) 基于 5G 载波相位高精度定位与非连续多频大带宽载波聚合技术，利用模糊固定算法和多频聚合技术，实现 5G 定位信号高精度测量。

(3) 基于 5G 网络授时技术，通过融合网络授时技术、5G 空口授时技术，为高精度定位提供授时支撑。

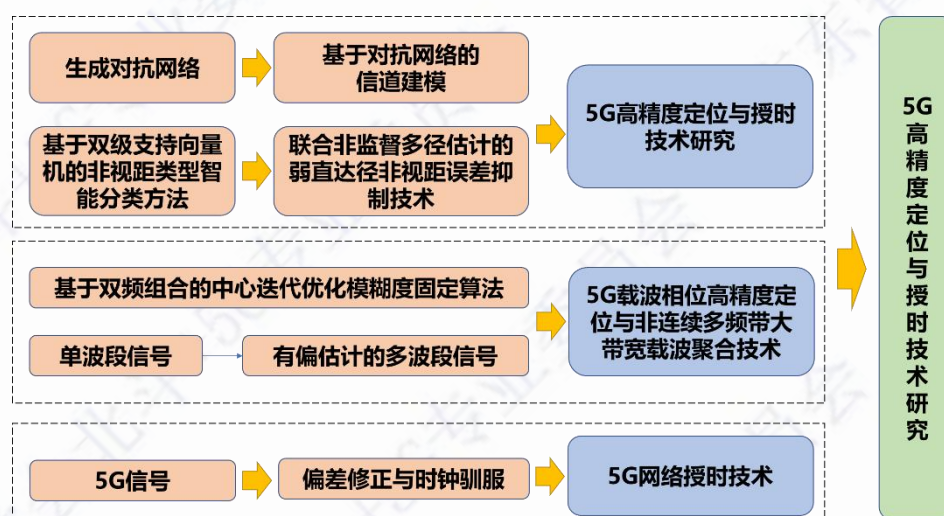


图 3-3 5G 高精度定位与授时技术路线

3.2.1.1. 信道建模与多径/非视距识别与抑制技术

应用场景中提出的增强型移动宽带、高可靠低时延及海量机器通信三大典型应用场景，载波带宽、基站数目、设备密度以及天线数量的激增，使所需测量的数据量和维度迅速增加，从而导致数据的爆炸式增长，在获取、存储和处理大量数据的过程中给传统的信道参数估计以及信道建模方法带来了很大的挑战。

针对信道建模的准确性、计算复杂度和数据量等问题，分析网络模型对 5G 信道建模的影响，进而选择最优模型用于 5G 信道模型的构建。在模型建立的基础上，对不同信号特征进行甄别，提出采用分类模型进行非视距类型智能识别的方法进行非视距识别与弱直达径非视距误差抑制算法，进而准确识别与抑制非视距误差，减少非视距误差对定位的影响。

3.2.1.2. 5G 载波相位高精度定位与非连续多频带大带宽载波聚合技术

北斗卫星可以利用接收到的码和相位两种观测信息，而载波相位的精度要明显高于码观测的精度，因而载波相位测量是高精定位应用的重要途径。但载波相位测量过程中，相位观测值实际上还包含一个固定的整周未知参数（整周模糊度），分析 5G 载波相位高精度测距模糊度产生原理，利用模糊固定算法，实现 5G 定位信号高精度测量；

分析 5G 定位信号定位原理,利用载波聚合技术扩展 5G 定位信号带宽,提升 5G 信号时域分辨精度与抗多径能力,结合基站几何构型分布,尽可能少的频谱资源的前提下,研制一种多波段测距信号,使用较少的信号频带测距,降低了时延估计和载波相位估计的计算复杂度,共同支撑实现 5G 亚米级的定位能力。

3.2.1.3. 5G 网络授时技术

授时服务主要是为终端提供服务,实现数据信息和精确时间信息在服务平台上的共网传输,支持定位终端利用 5G 授时网络提供高精度授时服务。B 端(行业)业务中通信基站的切换、漫游需要精准的时间控制,对授时精度的要求高,也需要足够的稳定性,业务内容包括电网设备、交通调度、地理测绘、防震减灾、气象监测等各个领域;C 端(个人)业务面向个人用户提供手机、电脑、互联网等授时服务,将北斗时间信号传递给需要时间信息的用户,业务内容包括高精度时间获取、定位测试、金融贸易等领域。

通过融合多种技术,实现数据信息和精确时间信息在服务平台上的共网传输。时空网综合服务平台能够支持定位终端利用 5G 网络提供的高精度定位授时服务,赋能“静态后处理毫米级定位服务”、“差分定位 CORS 定位服务”、“高精度地图服务”等应用,助力智慧城市、智慧农业、智慧港口、智能车联网等行业应用。

3.2.2. 北斗/5G 智能融合增强定位技术

北斗卫星导航系统与 5G 移动通信网的智能融合将能实现相互增强，提高服务质量，形成室内外无缝定位导航能力。

异质多源信息融合可构建多源融合分层定位模型，实现数据融合互补增强；同源异构观测信息筛选方法评估优选多尺度、多类型的观测数据，实现北斗/5G 异构观测数据的评估优选与定位能力增强；基于机器学习的终端差异化高可用定位技术，提升差异化网络环境下异构融合定位鲁棒性。技术路线如图所示：

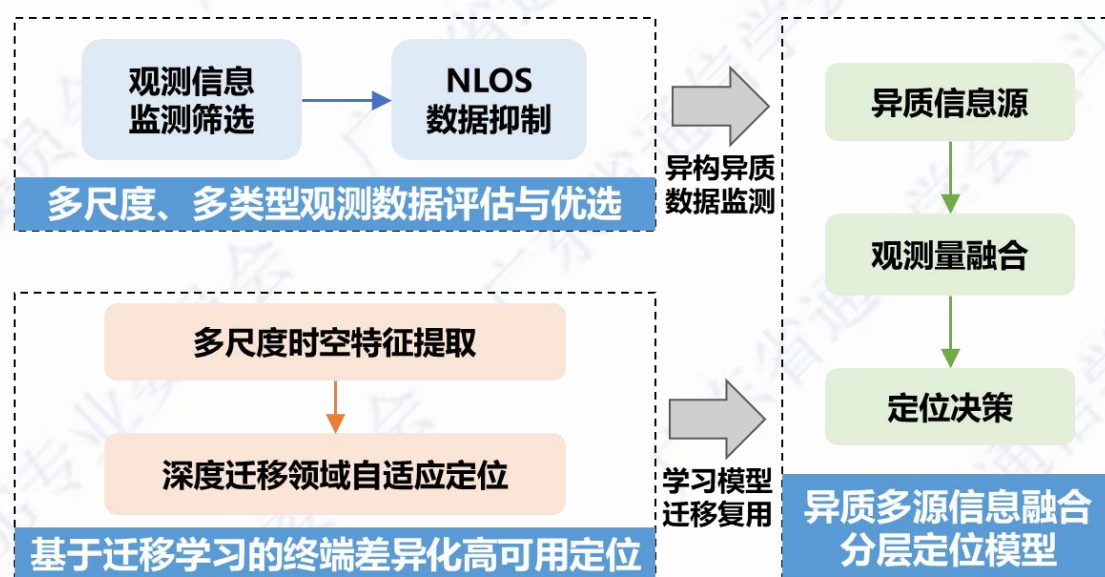


图 3-4 北斗/5G 智能融合增强定位技术路线

3.2.2.1. 异质多源信息融合分层定位模型

智能移动终端的普及大大拓宽了位置服务的应用场景，单一的定位手段在复杂环境下易出现信息缺失导致定位精度差甚至无法定位。虽然终端传感器种类繁多、定位信息多样，但是信息精度与定位能力

各异，难以提供高精度高可用的定位信息，迫切需要多场景、多源信息融合的高精度定位模型。异质多源信息融合分层定位模型通过对室内外多场景进行联合约束，同时对多源信息进行特征融合进而优化定位方法，实现数据异构与信息异质下的融合互补增强，进而有效应对复杂环境，提高定位精度，扩展了位置服务的应用场景。

3.2.2.2. 多尺度、多类型观测数据评估与优选技术

物体遮挡 5G 直射径信号造成的非视距观测数据，给终端带来了难以预测的定位误差。虽然识别 NLOS 信道状态，选择视距信道下的观测值进行终端定位，能够抑制 NLOS 误差对定位结果的影响，但在过度筛选时可能造成定位几何构型的恶化，反而造成定位精度降低。在 5G 异构网络中，同一基站与终端间的上下行信号链路能够提供 DTDOA、TOF 与 DOA 等多尺度、多类型的异构定位观测信息，不同观测信息对定位结果的影响并不相同，如果仅对信源进行监测，将导致过多 NLOS 的观测值加入定位，造成定位精度的降低。同源异构观测信息筛选的 NLOS 数据抑制方法在监测 NLOS 信源的同时对该信源的观测值进行筛选，保留对定位效果提升最大的观测值加入定位，提高系统整体定位精度。

3.2.2.3. 基于机器学习的终端差异化高可用定位技术

受到复杂室内外环境、电磁干扰、定位基站重新部署等众多因素影响，加上设备异构性，定位信号存在动态时变性等因素，往往会导

致在定位阶段采集的信号分布偏离离线阶段构建的信号分布，进而严重影响定位准确度。针对当前存在的数据分布差异问题，基于机器学习的高可用定位方法能够有效提高定位系统的泛化性能以及实用性。基于机器学习的终端差异化高可用定位技术在不同的采样尺度下实现分层式多模态特征计算，捕获多尺度局部时空特征，跨尺度融合不同采样空间的信息流特征，捕获细节度更高的特征表达，实现具有良好泛化性能的高鲁棒性精确定位系统。

3.2.3. 端侧自主完好性监测与评估技术

提出基于机器学习的端侧自主完好性监测算法，该算法基于多假设解分离构建多源信息融合判决模型，其检验特征由全集定位解和子集观位解之差组合获得，有效保留原始数据的高维信息；其次结合混沌粒子滤波与似然比结合故障监测算法，提取时域相关信息，检测缓慢增加的故障事件；最后采用迁移学习中域自适应算法，针对不同应用场景进行特征域校正，有效分离多源故障特征。

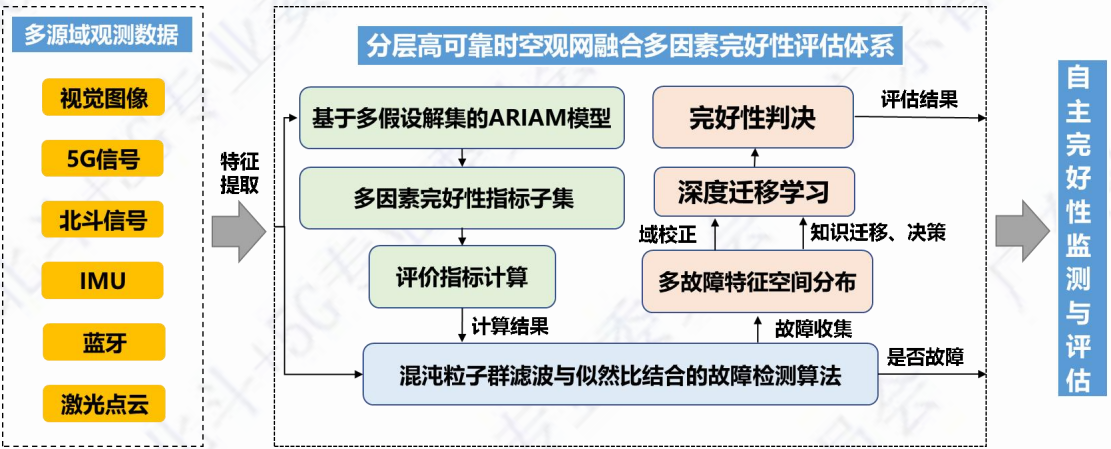


图 3-5 端侧自主完好性监测与评估技术路线

3.2.3.1. 完好性指标建模

为了构建多源融合自主完好性监测模型并使用合理指标进行评估，采用基于多假设解集（MHSS）的 ARIAM 算法对不同场景下的自主完好性进行监测。MHSS 通过计算要监视的最大时空信号源数来获得故障模型，然后逐一计算这些故障模型，并将其与全视图解决方案进行差异比较，以识别和消除时空网信号源的故障。随后，提取计算故障模型中获得的参数，并计算延时判决门限告警、可用性预测、服务等级等多因素完好性指标，建立多因素完好性指标体系。

3.2.3.2. 故障检测算法

利用混沌的遍历性、随机性特点进行搜索，将变量从混沌空间映射到解空间，对当前粒子个体产生混沌扰动，使粒子跳出局部极值区间，提高粒子样本质量，将混沌粒子群优化滤波结果进行似然比估计，获得判决与故障检测结果，提高不同场景下端侧自主故障检测能力，使得定位系统能够对系统偶发故障及时识别处理，提升差异化网络环境下异构融合定位鲁棒性，并使终端告警时间得到了压缩。

3.2.3.3. 终端自主完好性监测技术

对于传统的终端自主完好性检测方法，大都使用以快照算法为代表的传统完好性监测算法。这类算法能够很好地解决定位系统中的偶发故障问题，但是难以及时监测缓慢增加的误差故障或累计误差故障问题。

针对时空网中异构信源与差异化终端场景，为了解决由于故障特征空间域移位而导致的故障监测能力下降与相似特征空间故障监测识别的重复计算问题，提出基于域适应的故障特征空间的提取与泛化方法来弥补上述问题导致的性能下降。

3.3. 5GA 通感一体化关键技术

2023 年 6 月 ITU-R WP 5D 会议通过的 6G 纲领性文件《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》中定义了六大场景，其中通信感知一体化作为建议书中首次提及的新场景，将移动网络服务扩展到了通信以外。通信感知一体化是指基于软硬件资源共享或信息共享同时实现感知与通信功能协同的新型信息处理技术，可以有效提升系统频谱效率、硬件效率和信息处理效率。基站需具备对覆盖区域的目标状态监控能力，为以低空经济为代表的典型应用场景提供支持。此外，建议书定义了一些新功能，包括感知精度、分辨率、检测概率，以便对无线网络进行评估。为达到预定能力指标，实现此愿景目标，5G-A 阶段即需积极开展探索，增强当前网络定位能力，从无线空口和网络架构等多方面开展通感技术研究和标准推进工作，最终演进成为感知内生的通感一体化网络。

3.3.1. 通感一体系统网络架构演进

通感一体化系统网络架构由无线接入网、用户设备以及包含感知服务器和感知客户端的核心网组成。感知客户端负责发起感知请求，

包含感知目标的相关信息，如大小、位置和速度等。感知服务器根据具体的感知需求，对无线接入网进行配置并触发相应的感知过程，无线接入网负责无线资源调度、感知数据处理以及感知结果上报。

图 3-6 展示了通感一体系统网络架构，主要由三个组件组成，包括感知客户端、核心网内的感知网元以及无线接入网内的边缘服务模块。

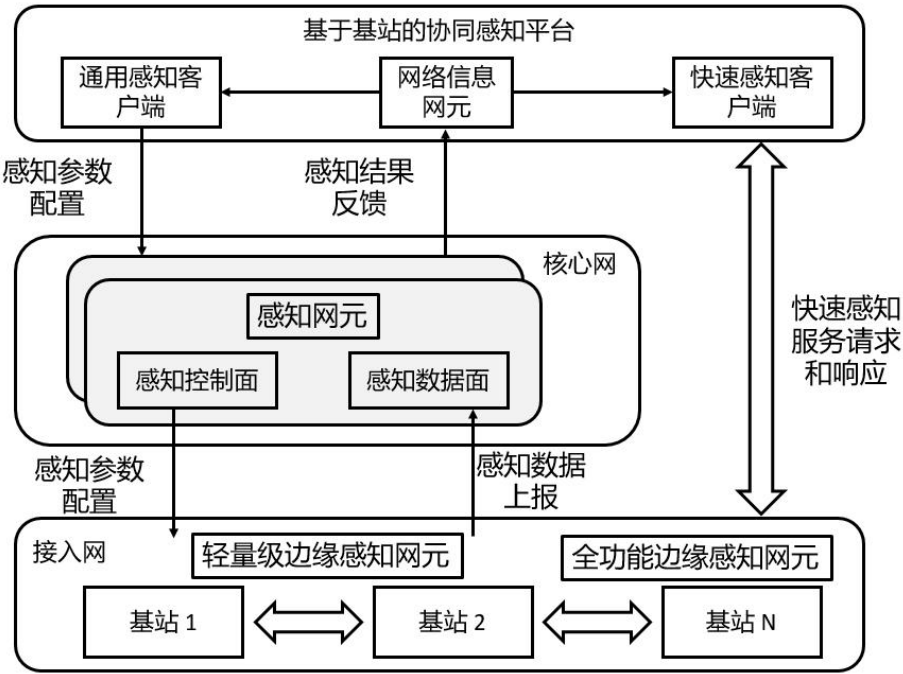


图 3-6 通感一体网络架构

3.3.1.1. 感知客户端

感知客户端向核心网下发多种类型的感知服务请求，例如感知低空无人机的数目并对无人机进行识别、分类等；感知性能要求，例如感知无人机的定位信息，包括距离/速度/角度的精度和分辨率要求等；感知结果反馈要求，例如周期性等。与感知客户端连接的网络信

息网元用于提供网络感知的参数信息，如载波频率、频谱带宽以及其他一些与感知相关的接入网基本参数。

3.3.1.2. 核心网内的感知网元

在通感一体网络架构中，感知网元与核心网紧密耦合，感知请求需通过特定接口从核心网传输到感知网元。感知网元收到感知请求和授权后，生成感知配置参数，主要包括感知目标的定位信息，包括距离/速度/角度精度和分辨率要求以及其他一些与感知相关的接入网基本参数。

3.3.1.3. 无线接入网内的边缘感知网元

无线接入网内的边缘感知网元负责卸载感知网元处理的感知服务。通常情况下，边缘感知网元根据功能分为两类：一类是轻量级边缘感知网元，它在数据处理功能上与感知网元具有类似的能力，但感知网元保留了控制功能，而轻量级边缘感知网元则不具备控制功能。轻量级边缘感知网元的作用可描述如下：

- (1) 与感知网元交互，获取感知控制授权并上报感知结果；
- (2) 与所覆盖的通感基站进行交互，例如收集原始感知数据并导出感知结果，并基于更新的感知结果对通感基站进行动态配置；
- (3) 与相邻（未覆盖的）通感基站进行交互，例如获取相邻基站的感知功能工作状态，以帮助快速激活相邻覆盖的通感基站的感知

功能。

另一类是全功能边缘感知网元，除了支持感知网元可以提供的服务之外，还支持时延敏感型服务，例如支持接入网内部快速感知客户端发起的感知请求，从而降低感知时延。全功能边缘感知网元通过将感知过程在本地进行处理，可以更好适配时延敏感型业务，为用户提供高精度低时延的感知服务。

3.3.2. 通感一体无线关键技术

与传统通信、感知系统分立设计方式相比，通感一体化物理层设计面临如何选取合适频谱来设计高性能的无线信号波形、如何利用通信信号的回波实现内生感知等难题。因此，需要对通感一体化波形设计、波束管理，无线资源管控及干扰协调等无线关键技术进行探索和研究。

(1) 通感一体化波形设计

波形设计对于通信速率和感知精度至关重要，通感一体化波形设计主要有以通信为中心、以感知为中心和通感联合的一体化波形这三大技术路线。基于调频连续波（Frequency Modulated Continuous Wave Radar, FMCW）等感知波形的通感一体则通信频谱效率低下，只能支持中低速率通信。一体化新波形设计以正交时频空（Orthogonal Time Frequency Space, OTFS）为代表，其在信道刻画上存在优势，且具备潜在的稀疏性，但相关的信道估计和接收机研究尚不充分。以

通信为主的波形设计最为可行，该路线主张在现有的正交频分复用技术(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)波形基础上实现感知，它与 5G 通信系统物理层标准具有良好的兼容性，能够实现向 6G 的平滑演进，且能够最大限度保证通信性能，而感知性能增强则可依赖于优化资源分配和波束设计等。

(2) 通感一体化波束设计

通感一体化波束设计需要同时考虑网络节点的通信和感知需求，包括：平衡感知所需的波束扫描和通信所需的精确指向；同时构造多波束实现不同方向上的通感双功能；优化波束以实现在保证通信效能的前提下最小化通信回波对感知回波的影响等。通感一体化波束赋形对于感知精度、容量和覆盖都有影响。识别和精度方面，高效波束管理及波束跟踪方案，可充分利用毫米波波束赋形优势，高效识别目标数目及运动状态，利用毫米波大规模天线阵列阵的数量优势，及宽波束扫描识别和窄波束精准定位相结合，可提高波束利用率，实现低精度快速定位和高精度精准定位。容量方面，通过高、中、低频结合的波束赋形方案，调整优化波束参数，可在一定感知 QoS(Quality of Service)保证下接纳更多目标；覆盖方面，波束赋形可将能量集中到目标区域，能提升小区边缘的目标感知性能，实现大范围覆盖。

(3) 通感一体化无线资源管控

通感资源管控旨在优化时、频、空域等物理资源的分配调度，提升网络整体容量。其中一体化帧结构设计，是通感一体化物理层技术

标准化落地的关键内容之一。通感一体化系统的帧结构设计需要综合考虑工作频段特性、通感性能需求等问题。工作频段越高，可用带宽越大，使得每帧中可以包含更多时隙，更有利于实现大带宽、低时延传输以及高精度的角度、距离、速度感知。此外，进一步考虑到未来通信系统中的终端设备能力高度差异化问题，通感一体化帧结构设计必须综合考虑不同通感一体化链路的设备能力与应用需求。此外，需要根据不同的帧结构设计相应的通感一体化信号处理方法。优化多址接入，利用通感一体化技术，发射端通过接收感知回波信号实现对接收端位置的探测与追踪，提升通信节点的空分多址接入效率。此外，通过网络泛在主动感知，发射端可以实时根据接收端运动状态信息进行接入资源调整，为通感一体化通信闭环接入控制提供重要数据支撑。特别地，对于低空经济场景，还包括智能化空域设计，从空域分层、航道设计、分区隔离等方面优化配置空域资源以满足飞行需求，提升空域容量；小区重选与切换策略优化，实现网络内各基站的协调和负载均衡，提高网络整体容量。

（4）通感一体化干扰管理

干扰管控和抗干扰信号处理技术是通感一体化系统的必要能力，由于通信和感知信号同时同频传输等原因造成自干扰或交叉干扰，严重影响通感一体化网络的性能。为此可以通过干扰抑制以及干扰消除等技术降低干扰，实现通信和感知功能的良性融合。利用感知功能反馈的干扰信道信息以及干扰源信息，实现对干扰模型的构建从而对干

扰进行高效把控。此外还可以利用干扰对齐等方式从信号压缩的角度提取无干扰的期望信号，以实现对于干扰的合理管控。由于通感融合的方法众多，其干扰消除技术也是非常复杂，现有技术中可采用多用户波束选择技术、波束赋形、协作频谱共享、动态频谱共享等方式，以便更加有效地降低干扰对通感一体化网络的影响。同时也可以结合深度学习等智能化计算能力，利用大量的感知信息学习信道特性进而恢复干扰对通感性能的影响。总之，通感一体化干扰控制技术需要从多方面联合优化以实现整体性能的保证。

3.3.3. 通感一体标准化工作

通感一体化作为低空经济的潜在关键技术，受到了 3GPP 的广泛关注，3GPP 研究并定义了以下 6 种感知模式：

(1) 模式 1-基站自发自收

基站向感知目标发送感知信号，并基于感知信号回波对目标物体进行感知；

(2) 模式 2-基站 A 发 B 收

基站 A 向待感知目标发送感知信号，基站 B 基于感知信号回波对感知目标进行感知；

(3) 模式 3-基站发终端收

基站向感知目标发送感知信号，终端基于感知信号回波对目标物

体进行感知；

(4) 模式 4-终端发基站收

终端向感知目标发送感知信号，基站基于感知信号回波对目标物体进行感知；

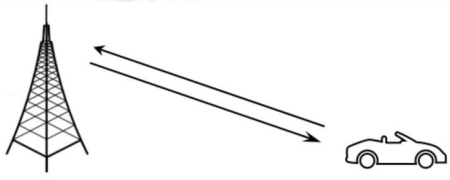
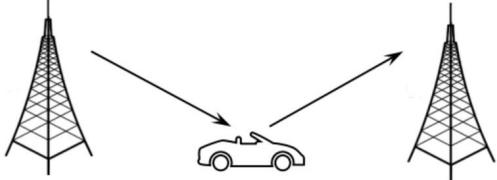
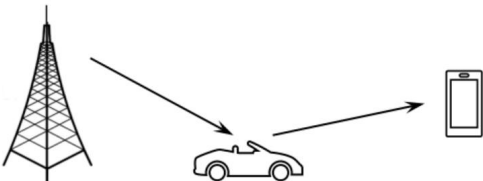
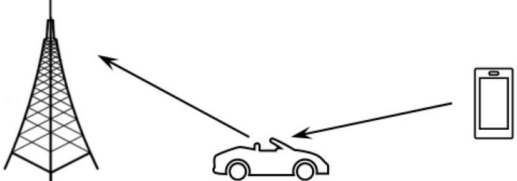
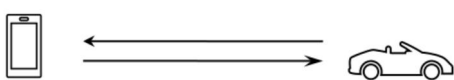
(5) 模式 5-终端自发自收

终端向感知目标发送感知信号，并基于感知信号回波对目标物体进行感知；

(6) 模式 6-终端 A 发 B 收

终端 A 向待感知目标发送感知信号，终端 B 基于感知信号回波对感知目标进行感知。

表 3-1 3GPP 定义的 6 种感知模式

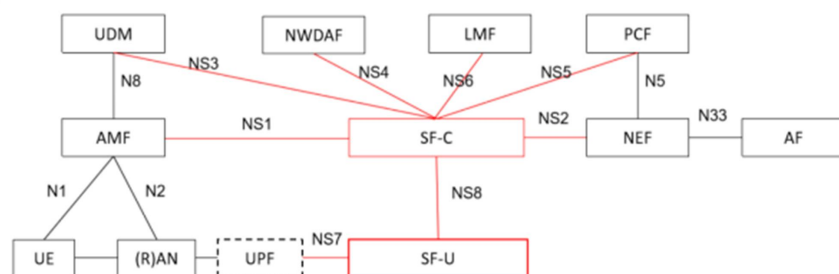
 Mode1 基站自发自收	 Mode2 基站A发B收
 Mode3 基站发终端收	 Mode4 终端发基站收
 Mode5 终端自发自收	 Mode6 终端A发B收

除上述 6 种感知模式外，3GPP 还定义了 32 个感知用例及对应的 KPI (Key Performance Indicator, 关键性能指标)，涵盖入侵检测，智慧交通，智慧家庭，智能工厂等广泛应用场景。

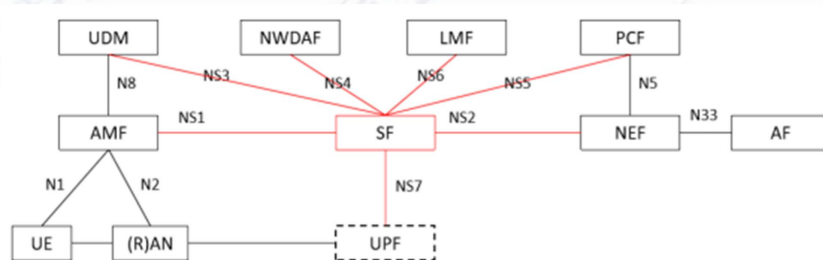
除上述内容外，围绕通感一体化关键技术标准演进还需要研究以下技术内容：

(1) 在现有网络架构下引入感知网元及其基本功能

在现有通信系统中引入感知功能，需要在 5GC 中设计并新增感知网元 SF (Sensing Function, SF)，负责感知功能的整体管控，包含感知结果的处理和计算，感知能力开放，计费和安全等功能，此外，还需要设计 SF 和其他核心网网元之间的接口。



(a) C-U分离架构



(b) C-U不分离架构

图 3-7 感知网元及接口示意图

(2) 设计通感服务流程及满足感知需求的新型协议栈

通感功能的实现需要网络之间进行信令交互，具体包含感知能力交互，感知需求触发，感知测量配置和感知测量结果上报等关键步骤。信令流程和具体信元结构需要在标准制定过程中围绕不同感知用例的特性进行设计，其中针对感知信令传输是复用现有协议栈还是设计新的协议栈还需进一步研究和定义。

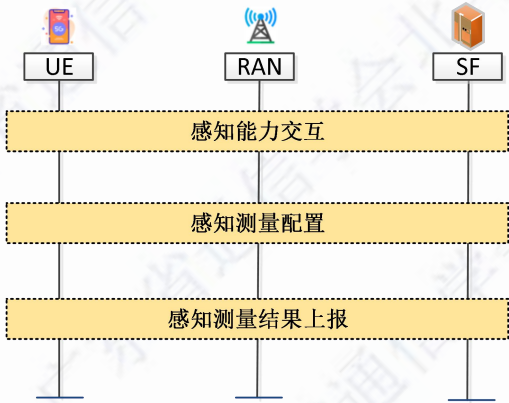


图 3-8 感知信令交互示意图

（3）进行感知信道建模及仿真评估

通感场景信道建模是通感一体技术研究的基础，也是对通感性能进行仿真评估的必要前提。在通感场景中，感知节点基于反射波对目标物体进行感知，需要针对反射信道的特性进行建模，并通过仿真评估验证不同场景下通信和感知的系统性能。

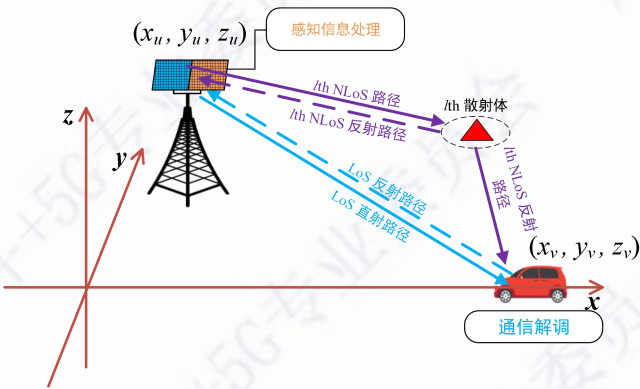


图 3-9 通感一体化信道模型示意图

（4）设计融合感知能力的无线空口关键技术

为了实现高精度、精细化的无线感知服务，需要对通感一体场景下无线空口关键技术进行标准研究，具体包含新波形和帧结构设计，双工模式，功率控制，通信和感知信号间干扰协调，通感资源调度与分配等关键技术标准研究与制定工作。

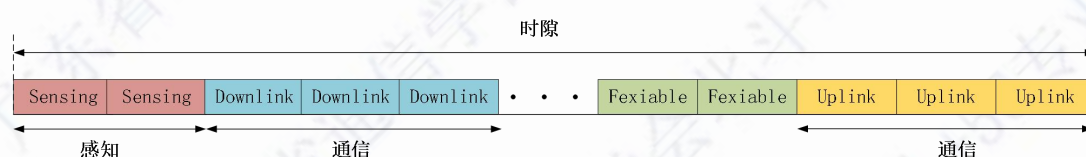


图 3-10 时分通感一体化信号帧结构示意图

除上述关键研究内容外，在通感相关标准制定过程中，还需要考虑如何兼容和支持其他技术感知设备，如何在连续/非连续覆盖场景保障感知服务的一致性，以及如何利用感知能力提升系统通信性能等问题。总之，通感一体技术为传统无线网络打开了一个新的维度，扩展了现有网络的能力，围绕通感展开的标准研究也需不断演进，持续增强。

四. 典型案例

为支撑数字经济的快速发展，中国电信联合产学研领域头部企业组成产业联盟，通过北斗与 5G 相互赋能，构建了核心能力自主掌控、基础能力生态共享的星地一体、通导融合的“1+3+N+X”时空位置服务体系。包括一个统一的运营平台、北斗+5G+X 融合的三张高精度定位网、N 种自研/定制终端以及 X 种高精度时空服务应用。

基于北斗+5G 高可信时空体系，开展智慧商超、智慧医院、智慧

园区、智慧出行、智慧社区、智慧停车等高可信时空网重大应用示范。

在 2023 年数字科技生态科技大会期间，基于“北斗+5G”时空位置服务体系，中国电信联合产业链发布了两项领先的北斗+5G 融合高精位置服务：全场景室内外车道级导航高精位置服务以及家人关爱场景的高精位置服务，以及七大位置服务应用。

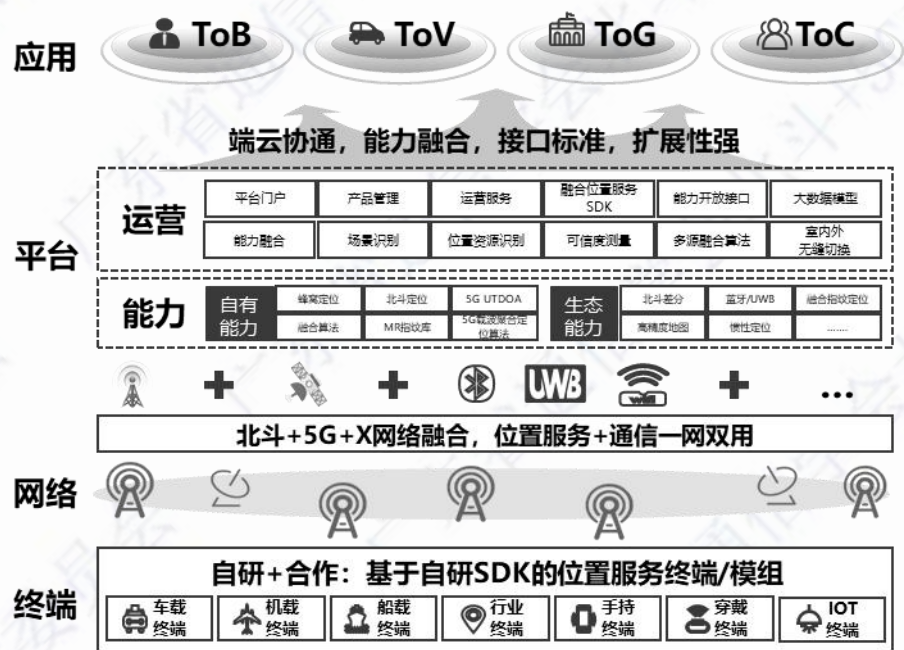


图 4-1 高可信时空网重大应用示范示意图

下面从赋能政府 (ToG)、行业 (ToB)、个人 (ToC/ToV) 三大类应用进行应用案例的介绍。

4.1. 基于通感融合技术赋能低空经济的应用 (ToG、ToB)

基于通感融合技术的时空位置服务是未来重点演进方向，其中低空经济对通感融合技术有明确和广阔的需求。

低空经济的产业规模广泛而多元，涵盖了不同领域的产品和服务。根据国内外市场调研数据显示，全球低空经济产业规模迅速增长，

2019 年全球无人机市场规模达到了 430 亿美元，预计到 2025 年市场规模将增至 630 亿美元。在中国，低空经济产业规模也在迅速发展，无人机是其中重要的发展方向，2019 年无人机行业规模达到 1432 亿元，预计未来几年仍将保持高速增长。

（1）基于毫米波的通感一体化应用

基于 5G 的通感一体化方案，实现在传统基站上部署“雷达”功能；通信和感知共享频谱，提供频谱利用率感知范围广；依赖 5G 基站可实现大范围连续覆盖，是满足低空经济覆盖的重要手段。

中国电信联合华为、中兴和低空经济相关企业，开展了基于通感融合技术的试点验证。



图 4-2 基于通感融合技术的试点验证

中国电信广东公司联合设备厂商在广州开展基于毫米波的通感一体化试点，完成业界首个“通感一体”多基站、多 AAU 组网部署，并启动该场景下的低空无人机、道路车辆等感知测试研究。站点部署

如下图所示：



图 4-3 基于通感融合技术的试点验证

基于试点开展三角形航线，四边形航线的测试验证，跟踪精度可达米级，业界也继续开展通感一体的多种感知定位方法研究和测试，进一步提升感知定位精度。

(2) 通用航空案例

中国电信联合某航空公司，基于 5G+卫星融合网络，以及多系统联动的智慧通航运营平台，落地覆盖陆空和海空两大核心业务，彻底解决了通航空域管理的老大难问题。方案总体架构如下图所示。



图 4-4 5G+卫星方案整体架构

本案例创新性地构建了业界首个、自主可控的 5G+天通卫星海陆空一体化网络。

在直升机作业区，基于 5G 专网+SUL (Supplementary Uplink) 超级上行，提供视频传输、近地数据更新。在航路区，基于天通一号窄带卫星通信，扩大覆盖范围，实现全过程可管可控，创新支持通航视频、话音、报文、位置等全业务全场景应用。



图 4-5 5G+卫星海陆空一体化网络方案

本案例取得了以下成果：

a. 形成面向通航航线的三大能力：

一是陆地航线的定制优化能力。通过天线反装、连续覆盖和快速切换策略来实现。二是海上航线的覆盖增强能力。通过 SUL 超级上行和 5G+卫星融合来实现。三是实机适航的改造能力。通过 5G+卫星机载设备实机适航改造实现，这在业界尚属首次。

b. 推进天地一体技术演进的实际部署：

基于北斗卫星、天通卫星和 5G，实现三网融合：终端融合、业务融合、低空生态与通信生态融合，拉动产业链上下游合作与发展。

本案例打破了低空通航机上通信二十多年的制约，促进通航产业链与政府监管、行业需求结合，形成供需互补、资源共享的良性循环，将促进通航产业资源共享，带动社会发展。

（3）5G 无人机案例：

无人机是低空覆盖的重要应用场景，下面介绍基于北斗+5G 无人机的示范应用。

北斗+5G 智慧路灯杆，在顶部部署了无人机的机库，机库在早晚高峰自动打开，内部的无人机上岗作业，对周边道路巡检，实现对区域内公路事前及时预警、事中快速响应、事后有据可查的全过程管控，为日常管理、拥堵治理、应急指挥、路网养护等业务，提供立体支撑，无人机通过北斗完成定位，并利用 5G 回传数据。



图 4-6 北斗+5G 智慧路灯杆

基于北斗+5G 的无人机、水上救援机器人等智能化装备在应急救援中逐渐运用起来，通过北斗精准定位，并利用 5G 回传实时图像信息，在提高海岸警察响应速度和救援效率的同时，也在一定程度上降低了救援人员的安全风险。



图 4-7 无人机实现电力设施智能巡检

电网基础设施在运行过程中，会遭遇的雷击、老化、覆冰、断股、磨损、腐蚀等问题，通过无人机巡线及时发现隐患。

4.2. 基于北斗+5G 融合定位的智慧港口应用 (ToG)

伴随着港口码头业务量的高速增长，如何对港口作业做到精准、高效调度与管理，降低生产管理成本，成为业内亟待解决的难题。六分科技 GNSS 高精度定位服务，为港口作业提供高精度定位解决方案。该方案在开阔环境下利用北斗 RTK 定位技术，为用户提供连续、稳定、实时的厘米级高精度定位服务，同时结合高精度地图，为有人集卡、IGV、AGV 等各种车辆的高精度定位监管和调度，货物精准装卸，车辆自动驾驶，车辆编队行驶，人员和贵重物资定位等应用场景提供精准位置服务，实现港口环境下车辆、人员、物资的精准定位和导航，提升生产效能，助力智慧港口建设。

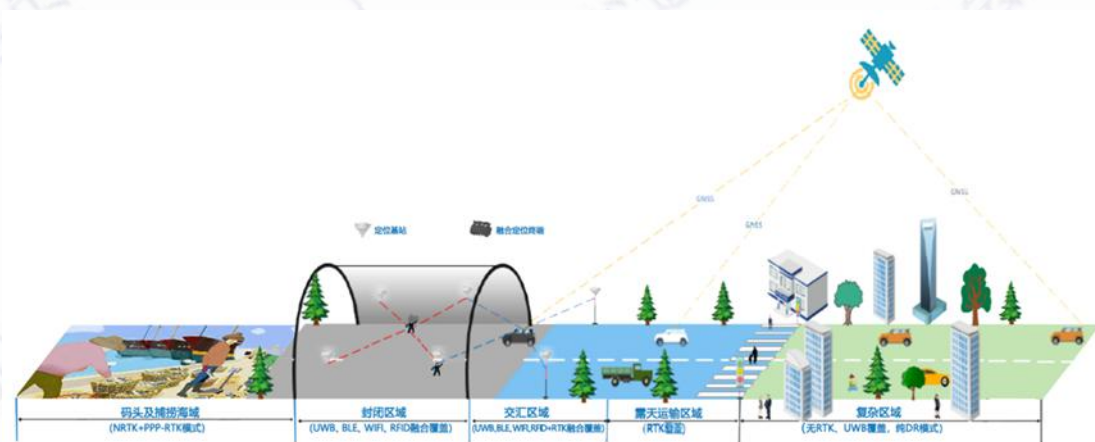


图 4-8 基于北斗+5G 融合定位的港口定位场景

中国电信联合六分科技，以北斗+5G 高精度定位技术为核心，基于中国电信时空服务平台搭建港区高精度定位网，全域厘米级绝对精度高精度地图采集制作，作为港区数字孪生应用的数据底座，实现内部运输系统和港区人员的实时精准定位，通过车辆和人员的位置，结合 GIS 管控平台精细化呈现和监控，包括港区内各类静态和动态设施

设备。平台具备承载海量数据、实时数据等存储、展示、分析、应用等能力，同时还体现了数据的精细化应用。

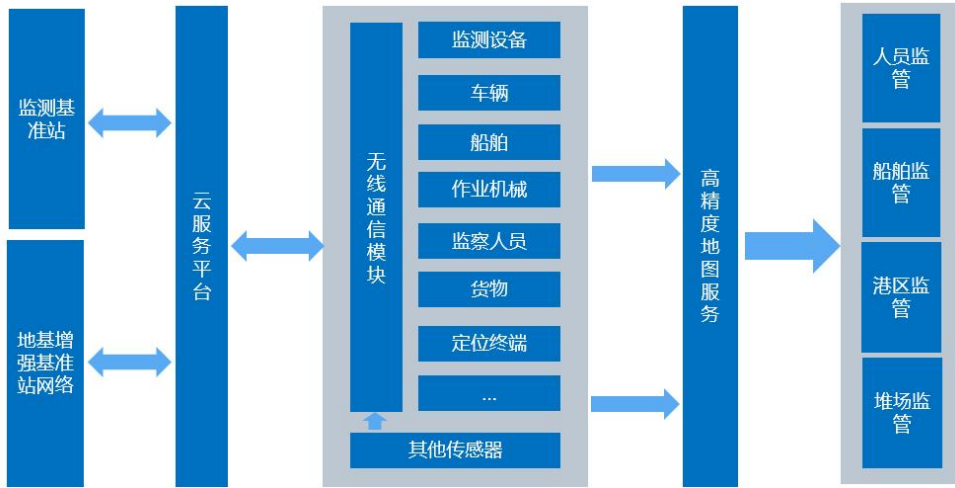


图 4-9 高精度定位流程

为港区提供实时厘米级定位服务，遵循系统性，继承性，前瞻性原则，统一格式，SDK 可接入各类终端系统，为港区业务提供 7*24 小时全天候定位服务，实现港区的高效管理，高精度位置管理，调度和监控，提高运营管理效率。基于位置服务的管控平台从安全、高效、环保等维度提供港区一张图，便于用户从繁杂的业务数据中进行管理聚焦，从而有效辅助港区提升科学化、智慧化的经营决策水平。

4.3. 基于北斗+5G 融合定位的道路态势感知应用(ToG)

随着物联网、云计算、AI 和 5G 技术的发展，利用浮动车（移动车辆）进行实时信息采集与异常事件的检测越来越受到重视。这些实时信息采集能力结合智能技术，让高速路段上的一双双“眼睛”（行驶的车辆）越来越“明亮”和“智慧”。



图 4-10 基于北斗+5G 融合定位的道路态势感知应用示范

借助“北斗+5G”融合其他感知设备，依托高速道路上高频次的浮动车辆资源、硬件感知设备和互联网资源，基于营运车视频数据，实现高速公路人、车、物检测模型。通过数据采集、数据汇聚、数据建模、视频识别、机器学习等技术，结合边缘计算实现对违规占用应急车道、低速行驶、恶劣天气（团雾）、行人、抛洒物、施工、拥堵等交通异常事件进行实时、快速检测，用智能感知的方式创新电子巡检新模式，同时利用浮动车视频直播进行视频巡检，有效补充原有人工视频巡检和路面车辆巡检，进一步释放巡查人力。

通过手机或小程序实现交警、路政、业主一路三方的联勤联动，达到扁平化指挥和事件的闭环管理。事件上报平台后，平台将进行语音报警，根据事件类型扁平化派警到相关单位执勤人员的小程序。自动根据附近的一路三方人员的实时位置、正在处理的警情数量，进行智能化最优事件派发。

基于北斗+5G 的道路态势感知具有以下优点：

（1）浮动车辆有效补充移动巡检，增加巡检趟次

高频次高覆盖的浮动车辆可增加的巡检频次成十倍级增加，是补充传统人工车辆巡查的主要动态巡查力量，可支撑原有路面力量科学化定点部署，从“动”变“静”，让执勤人员专注警情研判与处理。路面人员可使用直播巡查补充原有车辆巡查的方式进行远程巡检，为路面人员提供了无数个可观看移动监控设备。

（2）助力解决夜间/盲区巡检难问题

浮动车辆补充夜间巡查盲区，能够有效保障夜间巡检频次，针对夜间高速视觉环境自研的补光设备，能够在无路灯环境下检测事件，保障夜间巡检效果。提升闸道、主干道弯道、设施植被遮挡等盲区事件发现率，解决盲区无法获取事故现场情况等问题。

（3）拓宽事件发现渠道

浮动车辆自动感知事件，变“被动处理”为“主动发现”，增加事件发现的情报来源，提升事件发现的时效与有效率。

（4）位置精准有画面

北斗+5G+高精里程地图，为每一个事件提供精准的位置信息，增加处置环节的有效率。自动感知的现场画面信息，区别于传统电话报警，可快速掌握事件现场情况。

（5）提升处置效率，降低二次事故发生

通过高频次的浮动车资源，可助力事件快速提前发现，一路三方人员可及时采取相应的措施，加快事件处理效率，有效降低二次事故发生的概率，提高交通流畅度和道路安全性。



图 4-11 基于北斗+5G 融合定位的道路态势感知应用示范

4.4. 基于北斗+5G 融合定位的智慧园区应用（ToB）

随着城市化进程的加速和信息技术的快速发展，智慧园区逐渐成为各地政府和企业关注的热点。智慧园区对室外和室内位置服务有明确的需求。以某园区为例，在停车、人员管理等方面均有定位需求，结合室外北斗，室内 5G、蓝牙、UWB(Ultra Wide Band)等多元融合定位技术，基于园区位置服务平台，构建智慧应用示范园区。

（1）场景 1：停车场定位

找车位需求：查找到实时空车位情况后，选择需要预约的车位，一键导航到达目的车位。

反向寻车：车主在 APP 上输入车牌号信息，快速定位到车辆位置，并规划出最佳前往停车车位路径，步行实时导航快速找到车辆，支持车牌号与蓝牙设备绑定。



图 4-12 智慧园区车辆应用示范

(2) 场景 2：人员定位

在园区大楼部署 5G、蓝牙 AoA (Angle-of-Arrival) 等设备满足人员定位场景需求。5G 基站与蓝牙 AoA 定位基站融合部署方案，充分复用 5G 基站的供电资源、传输资源，大大节约定位部署的复杂度和成本；同时结合 MEC (Mobile Edge Computing) 边缘计算、大数据等领先技术，将定位软件部署在本地服务器，同时应用平台实现基于位置的电子围栏、突发情况报警等。该方案不仅可实现室内亚米级高精度定位，其即插即用的部署方式可大幅降低工程施工和改造成本，并可实现垂直行业多网合一的需求，助力各行各业的数字化转型。同时通过 5G，可实现对园区现场作业人员和车辆的精准定位，并支持查看其身份信息、位置轨迹等信息。



图 4-13 智慧园区人员应用示范

4.5. 基于北斗+5G 联合定位的智能检测车应用 (ToB)

在建设工程领域，由于工作环境的特殊性，有多个长期的痛点：一是信息传递不及时；二是检测流程繁杂、智能化程度较低；三是作业过程容易受限于环境，无法满足实际的工程需求。基于北斗+5G 联合定位技术，广东省建筑科学研究院牵头研发多款北斗+5G 智能车，包括智能检测车、应急抢险指挥车、质量安全巡查车和工地移动实验室四个系列。北斗+5G 智能车的具有以下优点：

(1) 检测现场零距离：通过北斗+5G 移动通讯技术、车联网技术，快速集成各地权威专家，实时共享现场信息，实现专家远程会诊、在线会诊，远程随时掌握检测人员的实施情况和相关数据，进行数据确认和技术指导。解决偏远山区、隧道等环境通讯障碍，实现应急指挥中心与项目现场、车与设备、车与车之间的协同工作。



图 4-14 实现现场监控

(2) 检测现场无纸化：采用数字化改造设备，对检测参数进行自助采集，实现检测过程无纸化、数字化。现场检测数据实时智能处理，一键生成检测报告，提升工作效率。



图 4-15 无纸化检测流程

(3) 高度集成化：车辆集成光伏、发电机、蓄电池、探照灯等设备，实现夜间和有限空间能源补给和自主照明；人员配备智能安全帽，实现人员定位、人员体征监测和作业照明。操作人员通过 BI (Bu

Business Intelligence)可视化大屏，智能分析项目质量安全状况，一目了然各项目部质量安全水平，实现规范管理。



图 4-16 高度集成化智慧管理

4.6. 基于北斗+5G 融合的车道级导航应用(ToC)

千寻位置网络有限公司与高德地图共同发起“北斗出行应用创新计划”，利用北斗+5G 融合技术，合力构建的应用北斗高精定位技术的车道级导航，目前已可支持交通事件的车道级语音播报，并将推动从当前的深圳、广州、东莞、成都、重庆、杭州、苏州、天津 8 个城市的高速和快速路段车道级导航试点，向全国范围普及。同样基于北斗构建核心算力，高德动态红绿灯倒计时和等灯状态的产品功能已覆盖全国上百万红绿灯，日服务超 14 亿次。北斗出行应用创新计划还包括北斗卫星定位查询、绿灯导航、共享位置报平安、绿色出行碳普惠等。

随着城市道路体系和路况越来越复杂，传统手机导航往往出现指

引不清晰、主辅路定位出错、长实线无预警等问题。千寻位置助力手机实现高精度定位能力，可实现亚米级精准定位，满足手机车道级导航需求，在临近转向路口或者高速匝道时，可提供精细的车道级指引，降低用户对导航的理解难度，提升驾驶安全，不错过每一个路口。

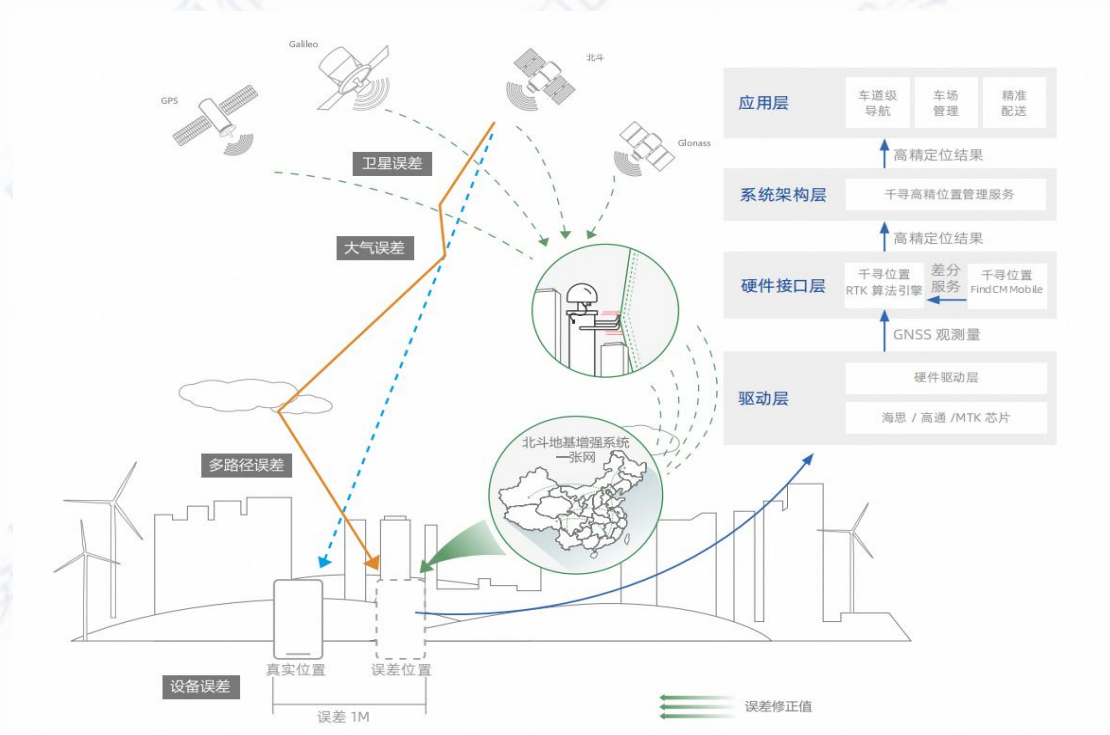


图 4-17 基于北斗+5G 融合的车道级导航应用示范

基于北斗+5G 融合的车道级导航服务，实现 3 个能力，一是高精度定位，在开阔场景下，智能手机可以达到 1 米以内的定位精度。二是动态服务播发：根据场景动态请求差分服务数据播发，实现低功耗精准定位。三是高可用高并发：差分服务数据可用率大于 99.9%；支持百万级高并发接入。

4.7. 基于北斗+5G 融合定位的家人关爱应用(ToC)

国家统计局公布的中国人口数据显示，2022 年，60 岁及以上人

口 28004 万人，占全国人口的 19.8%，其中 65 岁及以上人口 20978 万人，占全国人口的 14.9%，预计 2035 年左右，我国将进入重度老龄化阶段。对老年人日常生活的关注和帮助是目前社会面临的极大难题，特别是留守、独居老年人的日常生活安全问题更是困扰着几乎每一个家庭。中国电信联合产业链伙伴，基于北斗+5G+固移融合的位置服务能力网，可实现室内外精准位置关爱服务。

2023 年科技生态大会上，中国电信牵头，联合北邮、高德、小米、华为、中兴、千寻、六分等产业链共同发布“北斗+5G 高可信时空体系”研发成果，家人关爱场景的北斗+5G 融合高精位置服务，并率先在 Redmi Note13 Pro 等终端技术落地，通过北斗+5G+固移融合位置服务，实现 3D 楼层级精准室内定位能力，为家庭关爱提供了有力支持。



图 4-18 基于北斗+5G 融合定位的家人关爱应用示范

五. 北斗+5G 产业发展建议

5.1. 产业布局建议

建议政府牵头，指导产业链加快制定北斗+5G 产业发展顶层规划及相关标准、政策法规，统筹大湾区北斗+5G 产业布局。

加快制定北斗+5G 产业发展顶层规划，制定北斗+5G 时空网明确的战略定位、明确发展北斗+5G 产业的目标，充分利用大湾区全国领先的 5G 网络建设规模和产业优势，出台和完善相关北斗+5G 时空网络建设服务标准和法规，基于北斗+5G 的高可信时空网服务体系开展应用创新，开展试点工作，推动北斗+5G 技术与产业深度融合，加快北斗+5G 通感融合时空位置服务体系在大湾区内的布局。

通过政策引导，揭榜挂帅、设立专项基金等机制，鼓励北斗+5G 融合的科技创新成果产业转化落地，对率先落地北斗+5G 应用的企业给予资金激励。通过构建北斗+5G 融合时空服务平台，提供全场景融合定位导航授时服务。面向大众、企业、城市规模应用，构建高可信、高可用、高精度、高安全的定位导航授时服务体系。鼓励有条件的龙头企业以市场需求为引导，实现产业链的一体化运作。成立大湾区北斗+5G 产业联盟，推动以北斗和 5G 为核心的定位、导航与授时服务产业进一步提升规模，促进规模化应用，推动北斗+5G 产业高质量发展。扶持专精特新企业，发挥自身领域优势，并将其整合到产业生态中，形成良性循环。

5.2. 基础设施的规划建议

加强北斗+5G 基础设施规划建设,为行业通感融合发展奠定基础。建议出台相关政策,牵引各方共同参与,提前布局时空网络,合作共赢。在大湾区先行先试,制定室内分布系统建设标准,政府牵头,引导开发商和业主,建设通信感知一体的室内覆盖网络,率先在政务服务中心、大型交通枢纽、大型购物中心、医院、住宅楼宇等率先实现通信感知一体化的服务,从而推动整个行业的发展。基于统一的时空位置服务平台,制定统一的接口标准,融通各方建设的位置服务网络,在大湾区率先实现产业链共同参与、全场景立体覆盖的时空位置体系。

5.3. 突破关键核心技术的建议

基于北斗+5G 产业链图谱,集中力量攻克北斗+5G 领域关键核心技术。通过建立大湾区北斗+5G 产业联盟,分工合作,积极对北斗+5G 融合关键技术的研究,对目前 PNT 应用中存在的重点、难点进行突破,通过攻克关键技术,提升北斗+5G 领域的核心竞争力,推动北斗+5G 的应用拓展与推广。同时,通过建立关于 PNT 服务的国际合作与交流平台,在攻克重难点技术的过程中,与国际上 PNT 领域的研发企业开展合作研究,提供共享资源和经验,提高我国在 PNT 领域的国际地位和声誉,通过加强与其他国家的技术交流,可以对接全球前沿技术和发展趋势,为我国北斗+5G 技术的创新提供借鉴和启示,吸引更多的企业和研究机构参与北斗+5G 应用的开发和实施,通过研发具有

创新性、前瞻性的应用解决方案，推动北斗+5G 技术在各行业的广泛应用，促进数字经济的发展。

5.4. 产业链体系的发展建议

构建北斗+5G 产业链体系，培育“北斗+5G”新模式新业态。建议政府围绕北斗+5G 全产业链，加强北斗+5G 基础设施建设，包括北斗卫星系统、5G 通信基站等，确保覆盖范围，构建强大而稳定的通信网络；促进北斗+5G 终端设备的研发和制造，包括智能终端、传感器、物联网设备等，推动硬件产业链的发展；支持软件和应用开发企业，促进北斗+5G 在各行业的应用。

通过鼓励不同行业的企业进行合作，促使北斗+5G 技术在不同领域的深度融合，与智能制造、智慧城市、农业、医疗等相关行业展开合作，支持北斗+5G 产业集聚发展，打造一批特色产业集群，发掘并催生关于北斗+5G 的新兴产业和创新生态系统形成，培育新的产业链和价值链，推动新的创业企业 and 创新项目的涌现。

六. 总结展望

“北斗+5G”通感融合赋能时空位置服务，为各行各业提供了精准的位置服务和授时能力，将成为支撑数字经济发展的重要动力，为实现更加智能、更加高效的社会创造巨大的机遇。在 5G+北斗通感融合的引领下，数字经济将迎来更为广阔的发展空间，助力社会各行业实现数字化转型，为数字经济的繁荣发展做出积极贡献。

“北斗+5G”通感融合，将为 ICT 行业打造新蓝海。传统通信企业正逐步向科技型企业转型，服务范围也从传统的地面通信为主，逐步拓宽到地面+低空、空天地海一体；业务类型也正在从 TeleCom（信息通信）向 TeleSensor（通信+感知）方向进行演进。我们相信，北斗+5G 通感融合赋能时空位置服务，将成为 ICT 行业技术创新的突破口，也必将成为业务发展的第二曲线。