

室内定位白皮书

（2020 年）

中国移动

精准定位联盟

联合编写单位及作者

（作者按姓氏笔画排序）

中国移动通信有限公司研究院：

王锐、孔露婷、孙蕾、张欣旺、张凯奕、张静文、邹司晨、景旭

中国移动上海产业研究院：

张琳、唐语艺、郭卫江、薛纯

中国移动雄安产业研究院：

周万兴、高有军、晋晶晶、焦红灵

中国移动成都产业研究院：

兰天、吕铮、苏郁、何明、罗柯、袁军艳、唐飞

华为技术有限公司：周信廉、赵旭、夏苏华

中兴通讯：查希平

上海诺基亚贝尔股份有限公司：贾世锡

高德地图：王超、孙佳

京东物流：

乔晓强，刘伟，陈亚迷，张月，者文明，童克冬，樊立鹏

清研讯科科技有限公司：赵瑞祥

Quuppa：盛卫东

锐捷网络股份有限公司：丁晟、杨英，陈建祥，黄增安

马路创新科技：何燕萌

苏州真趣信息科技有限公司：余彦培

版权声明

本白皮书版权属于中国移动，并受法律保护。任何单位和个人未经中国移动书面授权，不得以任何目的（包括但不限于学习、研究等非商业用途）修改、使用、复制、截取、编纂、上传、下载等方式转载和传播本书中的任何部分，授权后转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国移动”。违法上述声明者，将被追究其相关法律责任。

前 言

随着 4G/5G 网络在国内的普及以及国家“提速降费”政策的推动，移动终端和移动互联网业务在国内的渗透率达到了空前高度，越来越多的个性化需求应运而生，其中室内定位的需求越来越强烈。从 O2O 业务到各行业需求，推动室内定位市场规模高速增长，技术环境也日趋成熟，室内定位产业处于蓬勃发展阶段。

本研究报告针对室内定位产业发展现状及面临的挑战，深入分析了垂直行业的室内定位需求，并详细阐述了实现室内定位的技术原理，及室内定位评测体系。同时，为搭上 5G 网络建设的高速列车，本研究报告着重分析了室内定位网络和室内通信网络的融合方式，并介绍了室内定位网络平台。最后对室内定位网络的发展做出了展望与探讨，希望能够为产业界在应用室内定位技术及解决方案时提供参考和指引。

本研究报告的版权归中国移动所有，未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本研究报告之部分或全部内容。

目　录

目录

1 室内定位产业发展现状及挑战 7
1.1 室内定位产业发展环境分析 7
1.2 室内定位市场发展前景分析 10
1.3 室内定位产业发展挑战分析 11
2 垂直行业的室内定位需求分析 13
2.1 智慧博物馆 13
2.2 智慧医院 17
2.3 智慧园区 21
2.4 智慧商超 23
2.5 智慧工厂 25
2.6 智慧停车场 27
2.7 垂直行业室内定位需求汇总 29
2.8 运营商布局室内定位技术的 SWOT 分析 32
3 室内定位技术原理介绍 34
3.1 室内定位基本原理 34
3.2 5G 基站定位技术 40
3.3 4G 基站定位技术 43
3.4 蓝牙 4.2 定位技术 44
3.5 蓝牙 5.1 定位技术 47
3.6 Wi-Fi 定位技术 48
3.7 UWB 定位技术 49
3.8 vSLAM 50
4 室内定位评测体系 53

4.1 室内定位关键性能评价指标 53
4.2 室内定位关键性能评测方法 54
5 室内定位网与室内通信网融合策略 63
5.1 室内定位网与室内通信网融合方式 63
5.2 室内定位网与室内通信网融合的意义 65
5.3 应用场景 65
6 室内定位网络平台 67
6.1 室内定位网络系统架构 67
6.2 室内定位能力平台功能 68
6.3 设备管理平台功能 69
7 展望 70
附录 A 72
参考文献 74

1 室内定位产业发展现状及挑战

1.1 室内定位产业发展环境分析

工信部官网 2 月 27 日公布了 2019 年通信业统计公报[1]，公报表示，2019 年，我国通信业深入贯彻落实党中央、国务院决策部署，坚持新发展理念，积极践行网络强国战略，5G 建设有序推进，新型信息基础设施能力不断提升，有力支撑社会的数字化转型。

自 2009 年以来的 10 年间，移动电话的普及率稳步增长。至 2019 年，因第二卡槽的需求基本释放完毕，移动电话用户数增速开始放缓，达到 16 亿户，普及率达到 114.4 部/百人，如图 1.1-1 所示。全国有 26 个省市的移动电话普及率超过 100 部/百人，截止到 2019 年，全国绝大多数地区平均每人至少拥有一部移动电话。作为消费级市场潜在的室内定位终端，移动电话的高普及率为室内定位发展奠定了良好的用户基础。



图 1.1-1 2009-2019 年固定电话及移动电话普及率发展情况

早在 2012 年，科技部《导航与位置服务科技发展“十二五”专项规划》中已提出突破以北斗为核心的多系统兼容互用、室内外协同实时精密定位、位置信息挖掘与智能服务等关键技术，2013 年科技部《室内外高精度定位导航白皮书》计划在大众位置服务、出行服务、物联网、智慧城市、应急救援等领域开展室内外协同实时精密定位应用示范，到 2020 年实现“百城亿户”的应用推广目标。随着 5G 在国内的普及以及国家“提速降费”政策的推动，移动终端和移动互联网业务在国内的渗透率达到了空前的高度。随着国家对 5G 频谱的无偿划拨、颁发商用牌照、各地补贴运营商的基站建设，越来越多的智能化终端和个性化需求将应运而生。室内定位技术的全球领导者 Indoor Atlas 在报告《The Rise of Indoor Positioning-A 2016 Global Research Report On The Indoor Positioning Market》中指出，如今人们超过 80%~90%的时间在室内度过，伴随着这些设备的出现，室内定位的需求将越来越强烈。

从 2010 年开始，O2O 的商业模式在中国进入高速发展阶段，伴随着 3G、4G 移动通信技术和移动互联网的兴起，团购和外卖作为中国 O2O 模式的本土化产物开始走进越来越多人的生活。根据艾媒咨询《2016-2020 中国本地生活服务 O2O 市场规模及预测》的数据显示从 2016 年至今，中国本地生活服务 O2O 市场规模持续增长，2020 年预计可达到 1.3 万亿元，如图 1.1-2 所示。

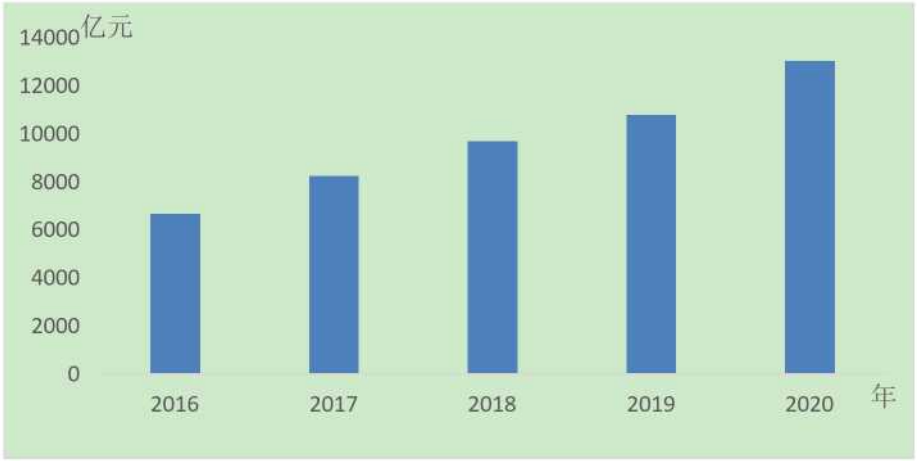


图 1.1- 2 2016-2020 年中国本地生活服务 O2O 市场规模及预测

2017 年，中国在线外卖用户规模达到 3.05 亿人，2018 年规模达到 3.58 亿人，2019 年突破 4 亿人次，规模突破 2800 亿元。传统的餐饮、商超、休闲娱乐行业也纷纷开启 O2O 模式，依托万达广场等城市商业中心和公众号、小程序等服务平台提供自己的产品。商业中心的规模化建设对室内定位的要求逐渐升高，传统的室分系统已经不能满足用户的定位要求。在行业领域，智慧工业和智慧城市，这两大题材催生了大量行业应用。目前，化工厂、医院、养老院、监狱/看守所/戒毒所、施工现场等都大规模引入室内定位，增长速度极快。具体到行业，《2018 年室内定位的发展前景分析》报告指出，我国室内定位直接市场总量已突破 3000 亿元。

表 1.1-1 我国室内定位直接市场总量

场所	**数量**	**单价（万元）**	**市场总计（亿元）**
规模以上石油及化工厂	30000 家	80	240
规模以上工厂	250000 家	50	1250
隧道	5022 千米	50	100.44
地铁	2200 个站	50	11
电厂	1300 家	400	52
养老院	80000 家	50	400
三级医院	2000 家	300	60
看守所	7000 个	40	28
监狱	680 家	500	34
博物馆	5200 家	30	15.6
其他（指挥大楼、桥梁、码头、地下管廊、船舶、停车场、会展、商场、机场、游乐园等）	……	……	1300+
合计（首次项目建设）			3491+

产业链方面，技术环境产业链已经完全成熟，各层面均有大量企业。

产业上游，有高通、博通、TI、Decawave、NXP 等厂商提供芯片支持，以及苹果、谷歌等巨头企业开发室内定位底层接口及操作系统支持。

产业中游，地图供应商方面，百度、高德、商汤科技均有较多积累；在应用解决方案方面，尚无以室内定位作为核心方向的大型上市企业，目前有大量中小规模企业，人数规模在十数人至数百人量级；硬件设备与终端厂家则比较广泛，华为、中兴、新华三、锐捷等网络设备商及小米、华为、VIVO 等智能终端厂家均有成熟的硬件支持。

产业下游，应用集成方面，虽然尚未形成成熟方案，但苹果、阿里巴巴、腾讯、小米等大企业均有丰富的应用集成经验，对室内定位技术兴趣颇浓。整体来看，产业链均比较完备。

1.2 室内定位市场发展前景分析

全球范围内，根据市场调研公司 Markets and Markets 的分析预测报告，室内定位技术的市场规模将从 2017 年的 71.1 亿美元增长到 2022 年的 409.9 亿美元，复合年增长率高达 42%[2]。在 Indoor Atlas 的研究报告[3]中，301 家机构、单位参加了调研，99%的受访单位已经或计划安装室内定位系统。

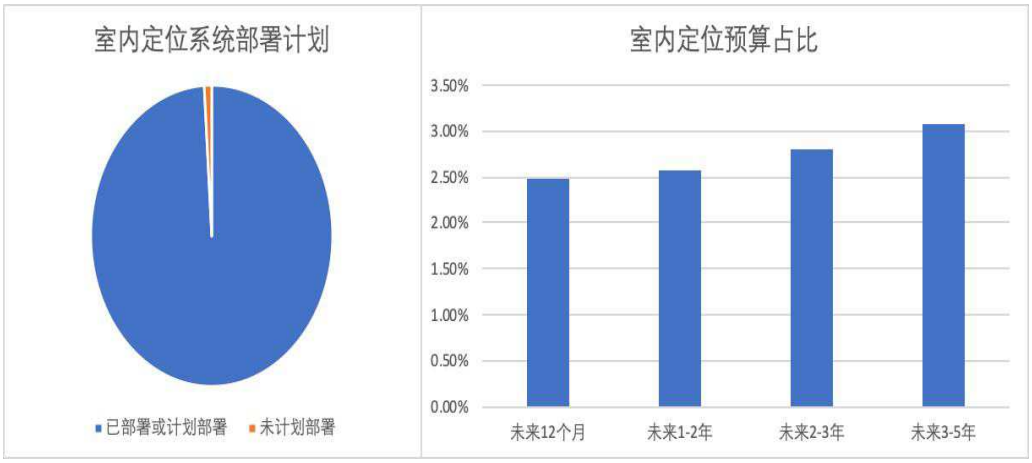


图 1.2-1 计划部署室内定位系统的机构占比及用于部署的预算比例

另外，在这些已经安装室内定位系统的机构中，47%选择了 Wi-Fi，选择 beacon 和地磁方法的分别占 26%和 17%。但是在试点或计划部署 IPS 的机构中，选择 beacon 和地磁方法的机构占比有明显提升，分别达到了 54%和 49%。

从应用场景方面，机场、酒店、医院、办公楼和商场是受访机构最愿意部署室内定位的场景，其中机场占比最高，达到 38%，酒店紧随其后，占比 28%，而医院、办公楼和商业区则均达到 24%的比例。具体到需求而言，商场、机场、车站等人流密集场所需要高效的人流监控和动态分析手段，以提高运营效率、挖掘商业潜力；而现代化工厂需要实现智能仓储管理、生产过程追踪、自动货物搬运、自动对象加工，达到降本增效目的；矿井和高层建筑等存在特殊工种的场景需要在紧急状态下实时定位内部人员；医疗护理机构则需要实时定位护理对象，尽可能争取时间提供最及时的医护服务。

1.3 室内定位产业发展挑战分析

室外卫星定位已形成大而完整的室外定位网络，但是室内定位没有发展形成室外定位网络的规模，究其原因主要有以下几点。

第一、精度要求。室内环境复杂多变，房间、物品之间的距离更近，参与定位的设备更多，人们对定位精度的要求也远高于室外，尤其是部分涉及到高速移动设备定位的行业，对精度的要求可能是厘米级，同时对定位时延要求也非常苛刻。

第二、施工部署难。形成室外定位网络需要发射卫星，对接的管理部门线条清晰，但室内定位网络需要在每个楼宇单独部署站点，需要大量的物业协调沟通工作。而且室内相比室外，空间私密性更强，人们对隐私保护的要求也更高，这也增加了布网时候的工作量。

第三、定位平台不统一。室外定位已形成大而统一的定位平台，例如国外的谷歌地图，国内的高德、百度地图，而室内定位由于刚刚

起步，标准还未成熟统一，室内定位平台还不成规模。另外碎片化的应用场景更增加了更新维护室内地图的成本。

2 垂直行业的室内定位需求分析

随着智慧化浪潮的兴起，垂直行业对室内定位的需求日益迫切。本章将重点介绍智慧博物馆、智慧医院、智慧园区、智慧商超、智慧工厂、智慧停车场等室内定位的典型应用场景，并给出各行业对室内定位的需求指标。

2.1 智慧博物馆

2.1.1 市场规模分析

根据国家文物局 2018 年数据显示，近年来，我国博物馆发展比较迅猛。截止 2018 年年底，全国在各级政府备案的博物馆就达到了 5136 家。每年新增的博物馆都在 180 家左右[4]。



图 2.1- 1 2012-2018 年国内博物馆数量变化

2018 年，我国博物馆参观人数已经达到了 10.08 亿人次[5]。近 5 年来博物馆年收入稳步增长，2017 年博物馆年收入首次突破 300 亿元（325.56 亿元），同比增长达 38.6%[6]。

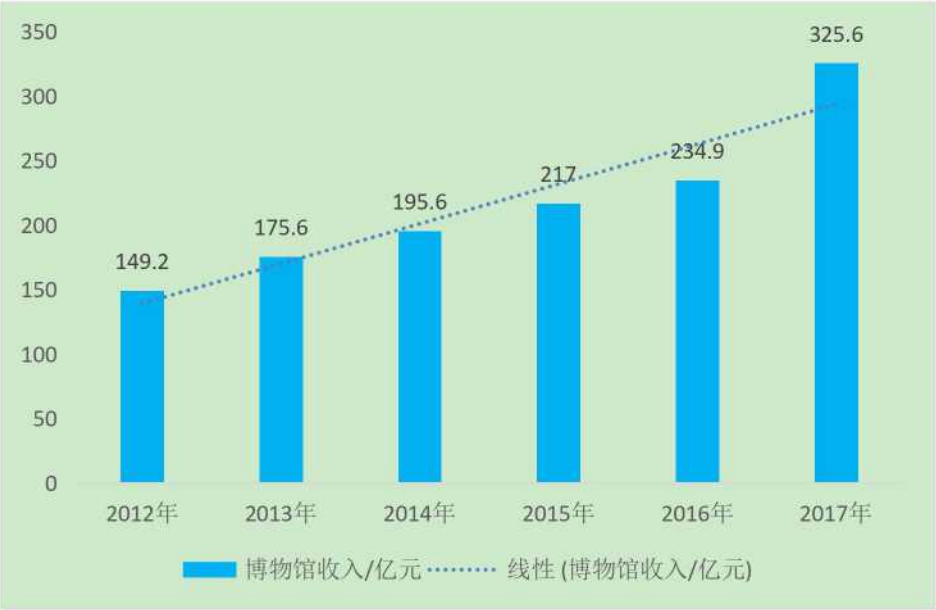


图 2.1- 2 2012-2017 年国内博物馆收入趋势

目前国内博物馆行业正在积极拥抱新科技、新体验、新技术，多媒体互动手段逐渐成熟：多媒体展示技术已经在博物馆陈列展览中不断渗透，采用声、光、电多媒体技术和自动控制手段，把幻影成像、实时人景合成、虚拟、激光、三维动态成像乃至 VR、AR、全息技术等高新技术结合传统的展示内容，合成脚本，产生全新的展示效果，增加了展示的可看性和参与性。采用室内定位技术来吸引游客前来观览、提升游客到场体验正成为国内博物馆行业的强烈需求。

综上，通过分析 2012-2018 年国内博物馆行业的数据趋势，包括国内博物馆数量的历年变化、国内博物馆收入的历年变化，可以看出：国内博物馆发展势头良好，市场规模庞大且逐年增加，行业收入明显逐年递增。同时，博物馆行业对于室内定位需求旺盛，具有健康的投入期望。

2.1.2 业务需求分析

智慧博物馆对于室内定位的需求，主要集中在游客导览、展品讲解、展品管理、客流统计等方面。

- **游客导览**

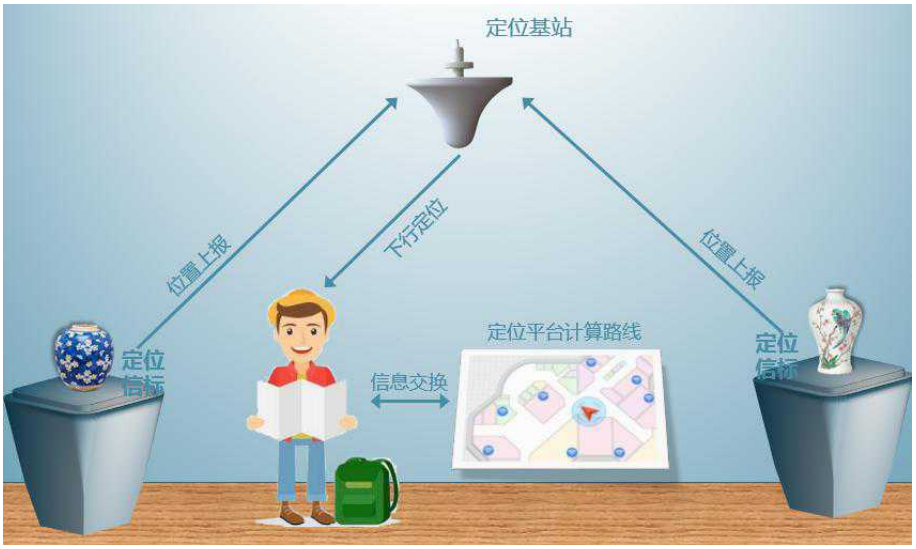


图 2.1-3 室内定位应用于游客导览示意图

通过提供人员的定位与导航服务，游客可以在手机端实时了解自己当前的位置，可以查询想去的地点在哪里（包括展品、文创商店、卫生间、楼梯等等），可以按照手机导航指引直接前往目的地，提升游客体验。

- **展品讲解**



图 2.1-4 室内定位应用于展品讲解示意图

通过融合人员的定位信息与展品的讲解信息，游客可以在手机端自主选择要听的展品的讲解材料，形式不限于语音、视频、文字、图片，以及更加智慧化的 AR 讲解，带来具有互动效果的讲解新体验。

- **展品管理**

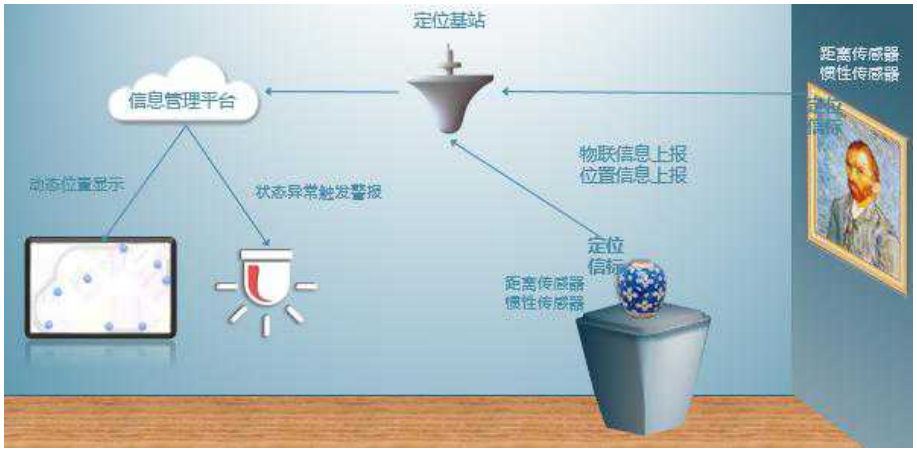


图 2.1-5 室内定位应用于展品管理示意图

智慧博物馆可以为展品加装距离传感器和惯性传感器，判断展品是否受到了非法接近，再通过通信模块上报传感器信息和位置信息。在传感器信号强度超过阈值后，信息管理平台收到对应展品的异常信号，激活馆内警报或直接报警，并在定位平台上实时跟踪展品的位置动态，为展品的安全提供了强有力的保证。

- **客流统计**



图 2.1-6 室内定位应用于客流统计示意图

用户购票后，信息管理平台会完成全天的客流统计，同时室内定位还可以通过通信模块检测接入用户设备的通信状态和 ID 信息统计

实时客流量。针对每个游客，系统可以结合用户的位置信息在数据分析平台生成游客的热点区域从而分析游客的喜好，形成游客画像。游客数据库的建立可以帮助博物馆为游客提供更精准的服务信息。

2.2 智慧医院

2.2.1 市场规模分析

国家卫生与健康委员会在 2018 年 4 月发布的《全国医院信息化建设标准与规范（试行）》中，明确提出了对三级医院和二级医院，在患者定位，资产和物资管理，医院范围内的车位定位、地图导航、科室分布导航，医疗废弃物实时定位和监控等业务方面的要求。在 2019 年 3 月发布的《医院智慧服务分级评估标准体系（试行）》中，明确列出了针对患者的就医路径规划，科室导诊导航等基于室内定位技术的业务，为医院智慧服务分级的评估项。根据国家卫生健康委员会的统计数据，截至 2019 年 5 月，全国三级医院共计 2608 家，全国的三级医院每年增加约 150 家。全国二级医院共计 9172 家，全国的二级医院每年增加约 490 家。据估计，三级医院的室内定位部分一次性建设成本约为 300 万元（不含后续数据运营价值）。

根据国家卫生健康委员会的统计数据，2019 年全国三级医院每月的诊疗人次数约 1.6 亿人次，并且该数字的年均增长率在 5%以上。2019 年二级医院的每月诊疗人次数约为 1.1 亿人次，年均增长率在 3%以上。因此，在医院院内的室内定位导航服务存在巨大的市场空间，并且持续呈高速增长的态势。

2.2.2 业务需求分析

智慧医院对于室内定位的需求，主要集中在医院资产智能定位管

理、病患精细化定位管理、智慧导诊导航等方面。

- **医院资产智能定位管理**

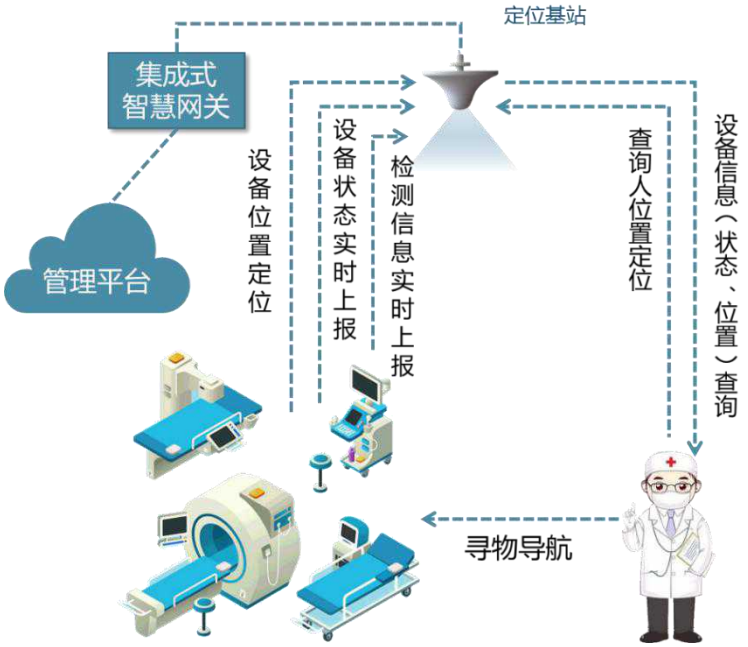


图 2.2-1 室内定位应用于医院资产只能定位管理示意图

针对医院资产管理的相关痛点，利用室内定位技术实现的医院资产智能定位管理需要覆盖以下相关业务：

➢ 资产定位监控

对被定位的资产进行位置监控，可以按资产类型选择实时监控或者按一定频率上报位置信息，能够在定位平台上看到被定位资产所在的具体位置。定位精度应该在 3 米左右，能够定位到具体的房间。

➢ 维保管理

对被定位的资产进行物联网信息采集，能够记录资产的维保信息，包含但不限于维保时间，次数，维保人等信息。

➢ 资产清算

能够对所有被定位的资产在定位系统上进行清算盘点，能够看到每一个被定位资产所在的位置，并且应该显示包括但不限于是否在合理位置，是否处于正常使用状态等信息。定位精度应该在 3 米左右，能够准确显示清算资产所在的位置。

➢ 设备状态监控

能够对被定位的设备进行状态监控，能够显示包括但不限于设备开关状态，设备能耗，设备使用频率等信息。

- **病患精细化定位管理**

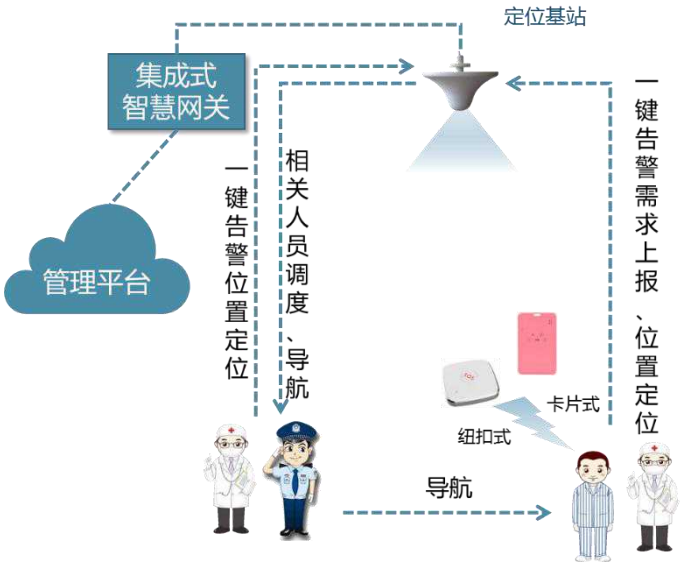


图 2.2-2 室内定位应用于病患精细化定位管理示意图

针对病患管理的相关痛点，利用室内定位技术实现的病患精细化定位管理需要覆盖以下相关业务。

➢ 电子围栏

对被定位的病患提供可定制化的电子围栏设定服务，可以针对每个病患划分电子围栏区域，病患离开电子围栏区域及时告警。电子围栏的精度应该为亚米级，一旦发生越界应当及时告警，避免危险事故发生。

➢ 实时定位监控

对特殊病患进行实时定位监控，提供精细化的监管服务，减少护理人员的工作量。利用实时定位监控能够及时发现危险，对病人活动进行及时的人工干预。实时定位的精度应该在 3 米左右，能够精确到某楼层的某区域。

➢ 轨迹查询

能够记录被定位人员的移动轨迹，可以进行回溯和分析。用于发

生特殊事件时，可以追溯事件经过。或者可结合大数据用于特殊病人的行为分析。

➢ 一键告警

为被定位的病人提供一键告警服务，在需要帮助或者发生危险时，能够及时向医院工作人员寻求帮助。医院工作人员可以快速定位告警病人所在位置，快速到达现场提供帮助和救援。定位精度应该在 3 米左右，能够精确到某楼某层的某区域。

- **智慧导诊导航**

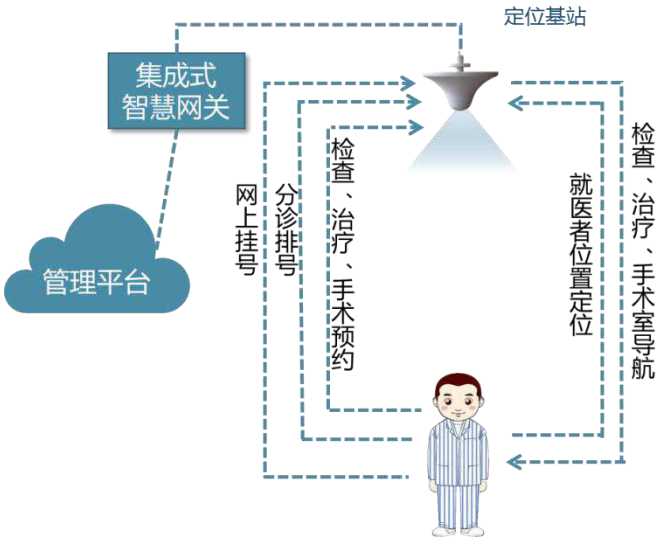


图 2.2-3 室内定位应用于智慧到诊导航示意图

面向医院的智慧导诊导航服务需要覆盖以下相关业务：

➢ 医院室内地图科室分布展示

提供医院内的地图展示服务，能够清楚地看到医院的科室分布。地图精度能够达到亚米级。

➢ 医院室内地图路径指示

对于就医的病患，在进行智能分诊后，能在医院的室内地图上画出就医的路径指示。对于收到告警的医院工作人员，能够在室内地图上画出到事发地点的路径指示。定位的精度应该在 3 米左右。

➢ 智能导诊后的到科室的导航

为就医的病患，提供在智能分诊后，精确到就诊科室的导航服务。

导航的精度应该在 3 米左右。

➢ 院内位置共享

提供院内的位置共享服务，方便探病的亲属好友在院内寻人。定位的精度应该在 3 米左右。

2.3 智慧园区

2.3.1 市场规模分析

园区经济是我国经济发展的主要助推器，目前全国有各类产业园区约 2.5 万个，对国家经济贡献达到 35%以上。其中，高新区和开发区作为国家经济发展的引擎，集聚几乎所有的优势产业和优秀企业。截至 2017 年底，全国有 156 家国家级高新区、219 家国家级经开区，合计实现园区生产总值为 18.62 万亿元，占比当年全国 GDP 的 22.69%。

在国家大力扶持下，全国园区智慧化建设如火如荼，各地不同类型的园区根据自身发展定位与市场竞争情况制定了各自的发展规划。同时，各地加强了园区智慧化的建设投资力度。以信息化建设为例，园区信息化费用所占比重约园区投资开发成本的为 10%-15%，2018 年，全国园区信息化市场规模已增 2688 亿元左右[7]。



图 2.3-1 2012 年—2018 年中国园区信息化市场规模及增长

室内定位技术发展推动智慧园区的建设和创新，提高人员劳动生产率，实现园区价值最大化，顺应智慧城市发展方向，推动新型战略产业发展等。

2.3.2 业务需求分析

室内定位带给智慧园区效益非常明显，包括访客管理提高园区管理安全，物资管理提高仓储、物流、物资管理效率，人员管理提高工作人员的效率。

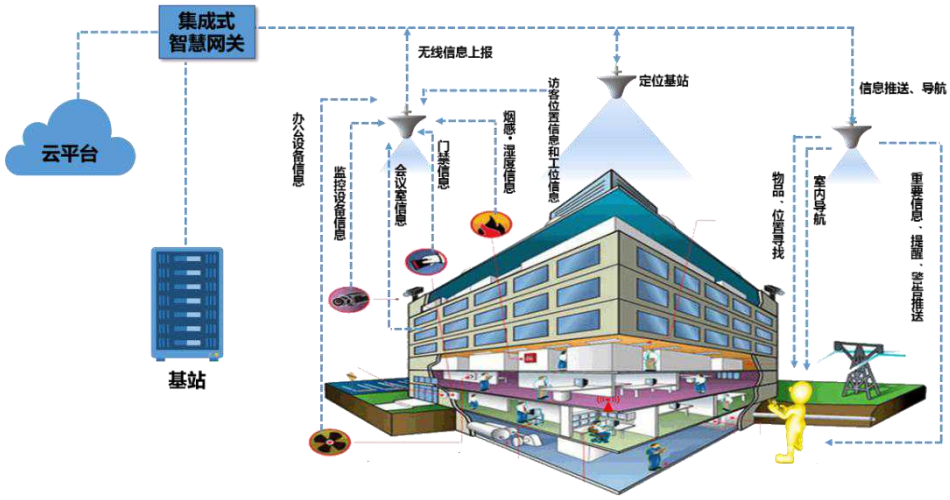


图 2.3-2 室内定位应用于智慧园区示意图

- **定位导航**

员工或访客通过手机可实现当前位置的定位，和到达目的办公室或会议室的路径导航，解决园区内大型办公楼内员工、访客找寻目的地的耗时耗力问题。

- **员工考勤**

员工通过佩戴电子胸牌或手环，在公司入口处可实现自动感应打卡，打破了传统的人为刷卡方式，提高了考勤的便捷性和效率。

- **电子围栏**

对指定区域设置电子围栏，可以实时监控该区域内所有来访人员和设备出入的情况，通过区分人员的不同身份和不同权限来管控指定

区域的访问权限，若越权访问系统会立刻报警。

- **历史轨迹查询**

通过人员佩戴电子胸牌，可随时查看内部人员及访客的历史运动轨迹，提高人员管理效率。

- **固定资产管理**

通过重要资产安装定位标签，可在区域内查看物品实时位置、数量、移动轨迹、使用状态等情况。支持对资产位置的自动查询和一键告警，自动盘点资产是否在指定区域内。如脱离指定区域，一键告警提醒管理人员，并在可视化平台进行展示。

- **车辆管理**

在物流仓库室内，存在各种搬运车辆，以进行物资的搬运转移，比如叉车，地牛等等。室内定位技术对于仓库车辆的应用包括：进行叉车等物流车辆的定位和反向寻找、室内驾驶路径规划和导航，以及基于车辆和人员的精准定位跟踪，检测防止人车碰撞、车车碰撞引发的安全事故，进行防撞控制和安全生产实时监控。

- **无人车 AGV 管理**

无人化是物流发展的一个重要方向。自动导引小车（AGV）是无人仓库中常见的自动搬运车辆。如果室内支持毫米级或者厘米级别的高精度定位技术，就可以支持无磁条无人车路径导航，实现 AGV 的部署灵活性。

2.4 智慧商超

2.4.1 市场规模分析

智慧商超新零售，即个人、企业以互联网为依托，通过运用 5G 大数据、人工智能、室内定位等先进技术手段并运用心理学知识，对商品的生产、流通与销售过程进行升级改造，进而重塑业态结构与生

态圈，并对线上服务、线下体验以及现代物流进行深度融合的智慧商超新模式。

消费升级、产业转型带来强烈室内定位需求。从消费者层面来说：由于室内空间越来越庞大复杂，商业综合体地下停车场反向寻车、超市内查找某件特定商品、定位走散的家人等变得越来越困难，室内定位的需求前所未有高涨。从商超管理层面来说：商场、MALL、超市等人流密集场所需要高效的人流监控和动线分析手段，以提高运营效率、挖掘商业潜力。从超市仓库层面来说：需要实现智能仓储管理、生产过程追踪、自动货物搬运、自动对象加工，达到降本增效目的。

根据不完全统计，室内定位的行业分布情况，零售行业占据 16%，健康医疗行业占 14%，旅游行业占 12%，物流行业占 12%，广告行业占 12%，公共安全占 11%，其他行业占 23%。未来几年超 100 亿的室内定位规模，其中零售行业室内定位的市场规模可超 16 亿美元。

2.4.2 业务需求分析

智慧商超对于室内定位的需求，主要集中在精准商品定位、仓储管理、反向寻车等方面。

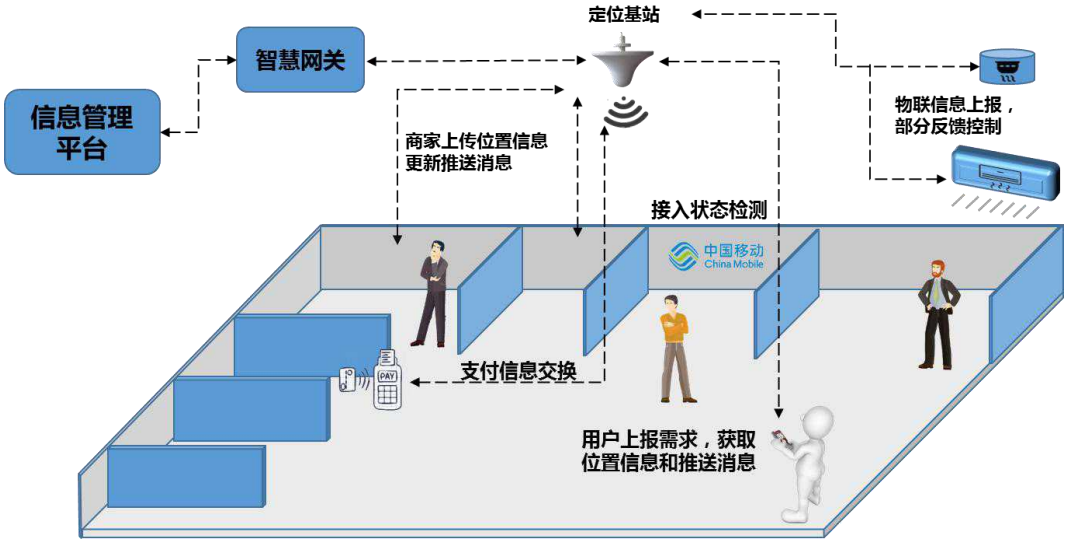


图 2.4- 2 室内定位应用于智慧商超示意图

- **精准商品定位**

该业务场景主要针对个人用户定位需求，主要发生在空间较大，结构较复杂的室内环境中，例如大型商业区，超市等。结合位置服务和商品信息，商场能为消费者提供特定商品查找、路径规划等智能的购物引导服务，帮助消费者快速锁定目标，避免迷路、绕路，提升线下购物体验。同时结合大数据分析用户消费偏好，精准化推送营销信息，帮助商场实现线下线上引流，吸引商家入驻，带动消费盈利，同时提升商场的自主服务能力，实现降本增效。

- **仓储管理**

货物仓储管理一直是比较棘手的问题。通过对室内的物品或人员进行定位，获知货物或人员在仓库的当前位置。在获知人员位置和货物位置后，通过头戴式或手持显示器，指导人员靠近和寻找目标货物所在区域，更可以令货品的标签亮灯与发声，使得拣货员快速地拣货，不仅节省时间，还免除错误拣货的风险。考虑到货架一般较高且分多层，为快速找到商品，需要对商品进行三维定位。

- **反向找车**

消费者驾车进入停车场之后，只能记得地面的停车位编号，以及就近的电梯。完成购物后，消费者往往不能按照原路进行返回，甚至根本记不住从哪部电梯上楼。基于室内定位的反向找车，消费者驾车进入停车场，系统后台记录车牌号，与停车位编码绑定，消费者购物完成之后，只需要通过扫码输入车牌号，后台根据人和车的位置，指定路线，AR 导航到达车前。

2.5 智慧工厂

2.5.1 市场规模分析

近几年，对于不少危险作业行业如化工厂、隧道等，相关部门都

发布了安全管理政策强制企业加强人员定位系统的建设，如“煤矿安全避险六大系统”、“综合管廊运维标准”、“十三五司法信息化建设”、“化工行业智能化二道门建设要求”、“公路隧道施工安全管理系统暂行管理规定”等。

中商产业研究院在《2019 智慧工厂市场前景研究报告》中指出，智能化是制造业的发展方向，智能制造已成为全球各国竞争的新一轮焦点。智慧工厂是现代工业、制造业的大势所趋，当前主要国家积极建设和发展智慧工厂，智慧工厂市场规模不断扩大。2018 年全球智慧工厂市场规模突破 2500 亿美元，预计 2020 年市场规模有望突破 3000 亿美元。智慧工厂中，在员工/物资管理、易燃易爆物监控、访客管理等方面对于定位有较强烈的需求。随着智慧工厂的发展，智慧工厂领域的室内定位行业也存在巨大的市场空间。

2.5.2 业务需求分析

智慧工厂对于室内定位的需求，主要集中在员工管理、物资管理、风险管理、访客管理等方面。

- **员工监管**

对全厂所有工作人员进行定位监管，在后台实时查看其位置，判断是否在岗，计算工作时间，追踪其活动轨迹，有助于优化员工作业流程，提高工作管理效率。

- **物资监管**

对全厂范围内的货物、资产进行定位监管，货物资产总数、消耗的数量、剩余的数量，具体对应仓库位置，都可在后台显示。其中还可查看货物进出的详细数据列表，包括种类、所属仓库、时间等，从而提高货物的调度使用效率及资产盘点效率，并确保资产安全。考虑到货架一般较高且分多层，为快速找到货物，需要对货品进行三维定位。

- **远程监控**

室内定位系统可实时定位人员、物资精确位置信息，与视频联动，对人员、物资进行视频跟踪，在后台随时查看每个区域的现场情况，提升管理效率和管理水平，有效保障人员与物资的安全。

- **风险管理**

化工厂等高危行业发生安全事故的概率很高，室内定位系统可有效帮助企业实现风险管理。可通过在危险区域或重要区域设置电子围栏，对员工进行权限管理，防止员工进入危险区；还可对人员进行各种行为监测，包括超时监测、聚众监测、不动监测等，全方位智能化管理，从而避免安全事故的发生。

- **紧急救助**

当发生安全事故时，人员可通过随身佩戴的定位终端设备进行紧急求助。同时，管理人员也可对被定位人员进行寻呼，提醒员工有危险或下发撤离命令。管理人员还可通过定位系统查看所有人员位置信息，确保所有人都脱离危险。救援人员也可根据人员位置进行高效救援。

- **访客管理**

外来访客对公司环境不了解，随意走动容易误闯危险区域。室内定位系统可实时查看访客的进出时间、在某区域滞留时间、活动轨迹等信息，并且可设置电子围栏，防止客户私自进入危险区域引发事故，从而实现对访客精细化、数字化、智能化管理，提升客户考察体验。

2.6 智慧停车场

2.6.1 市场规模分析

从市场规模上看，2017 年我国智慧停车市场规模达到了 76 亿元，2019 年我国智慧停车市场规模突破 126 亿元，根据数据预计[8]，未来

几年，智慧停车市场规模将以20%左右的速度继续增加。

智慧停车领域广泛，涵盖车场信息、车位分享、车位预约、闲置车位引导、泊车、反向寻车、车场道闸、自动缴费、车后市场整个闭环链路。

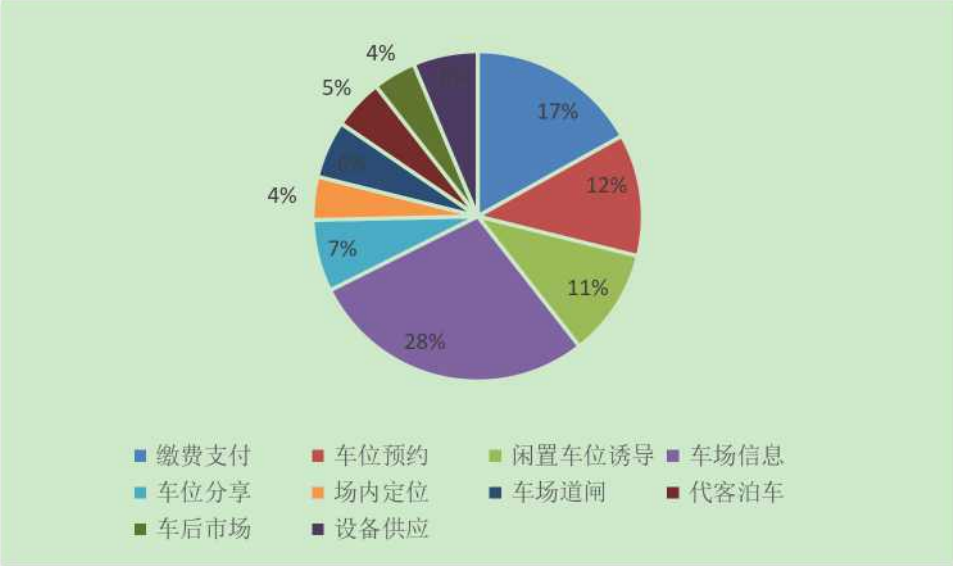


图 2.6-1 百家停车公司主营业务分布

2.6.2 业务需求分析

智慧停车场对于室内定位的需求，主要集中在闲置车位引导、智能反向寻车、自动代客泊车等方面。

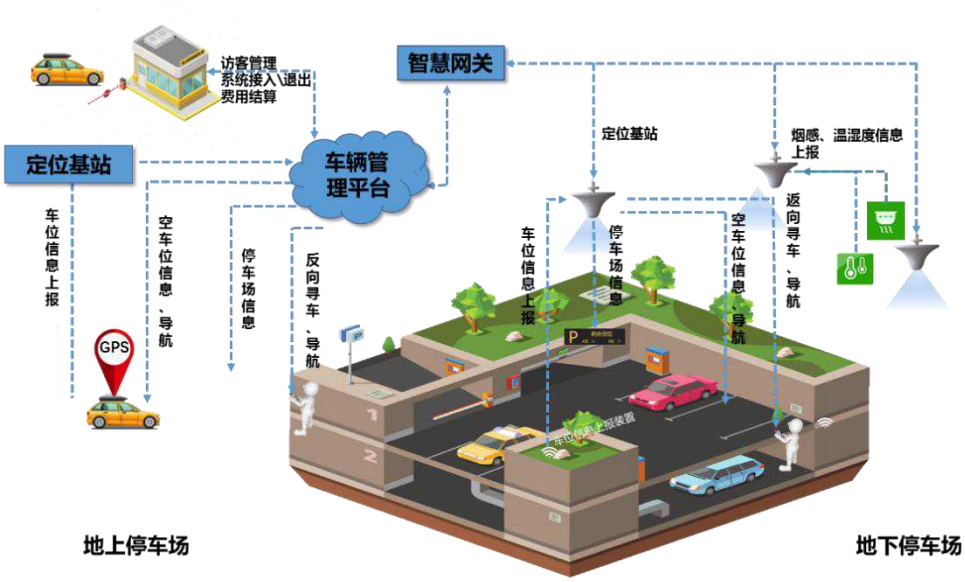


图 2.6-2 室内定位应用于智慧停车场示意图

- **闲置车位引导**

为车主提供闲置车位的预约和引导功能，协助车主迅速定位至具体空车位，并指引车主前往。

- **智能反向寻车**

满足车主在最短的时间找到车辆停放位置的诉求，需要有途径规划到车位的最佳路径，对于不同车主而言，最佳路径的定义存在差异，例如耗时最短、不需要电梯等待、途径额外的目的地等。但计算最佳路径的前提是能准确定位车主当前所在的位置及车辆所在位置。

- **自动代客泊车**

自主代客泊车就是用户通过下达停车的命令，车辆就可以自动从下车区开到停车场里，并自己找到车位停好，当车主需要的时候，再次从 App 上发出命令，车辆会自动回到上车区。整个过程没有人的参与，是一个典型的限定范围内低速无人驾驶应用场景。

2.7 垂直行业室内定位需求汇总

表 2.7-1 智慧博物馆需求指标

需求名称	智慧博物馆	
关键功能描述	游客导览	展品讲解
定位精度	1 米以内	5 米内
定位时延	暂未明确	暂未明确
定位模式	主动	被动
定位成本	暂未明确	暂未明确
并发能力	50	50
其他设备要求	无	无

表 2.7-2 智慧医院需求指标

需求名称	智慧医院		
关键功能描述	医院资产智能定位管理	病患精细化定位管理	智慧导诊导航
定位精度	1-3 米	1-3 米	1-3 米
定位时延	毫秒级	毫秒级	毫秒级
定位模式	被动	被动	主动
定位成本	分布式皮基站方案成本约 500 万元；蓝牙定位方案成本约 400 万元；UWB 定位成本约 900 万元。（某案例）		暂未明确
并发能力	>2000 件	>5000 人	所有挂号病人
其他设备要求	手环待机时间与市场上主流手环设备待机时间相当		无

表 2.7-3 智慧园区需求指标

需求名称	智慧园区		
关键功能描述	资产管理、设备查找	人员管理、定位导航	无人车 AGV 管理
定位精度	1 米以内（货物需要三维）	1 米以内	<5 毫米
定位时延	100ms（传送货物） 分钟级别（静态货物）	100ms 以内	2ms
定位模式	被动	主动（导航）/被动（其他）	被动
定位成本	低，物流是成本敏感行业	暂未明确	暂未明确
并发能力	$10/m^2$	$10/m^2$	$2/m^2$
其他设备要求	无	无	无

表 2.7-4 智慧商超需求指标

需求名称	智慧商超		
关键功能描述	精准商品定位	反向找车	仓储管理
定位精度	米级	米级	米级
定位模式	被动	被动	被动
定位成本	暂未明确	暂未明确	暂未明确

并发能力	暂未明确	暂未明确	暂未明确
其他设备要求	基于用户手机直接定位，不配置额外终端	基于用户手机直接定位，不配置额外终端	终端设备电池供电能保证 1 个月

表 2.7-5 智慧工厂需求指标

需求名称	智慧工厂		
关键功能描述	员工监管	物资监管	紧急救助
定位精度	1 米	1 米	3-5 米
定位模式	被动	被动	被动
定位成本	头盔：300 人民币 手环：1000 人民币	模组芯片 500 人民币以下	头盔：300 人民币 手环：1000 人民币
并发能力	暂未明确	2000 个@ 16000 平米	暂未明确
其他设备要求	防爆，低功耗	防爆，低功耗优先	防爆，低功耗

表 2.7-6 智慧停车场需求指标

需求名称	智慧停车场		
关键功能描述	闲置车位引导	智能反向寻车	自动代客泊车
定位精度	2-5 米	5-20 米	<20 厘米
定位时延	1 秒	1~5 秒	<50 毫秒
定位模式	主动	主动	主动
定位成本	暂未明确	暂未明确	暂未明确
并发能力	暂未明确	暂未明确	暂未明确
其他设备要求	可大规模部署应用	手机可直接使用，无需其他外接设备	暂未明确

2.8 运营商布局室内定位技术的 SWOT 分析



图 2.8-1 运营商布局室内定位技术 SWOT 分析

- **优势**

随着 5G 网络的加速建设，各垂直行业需要室内定位技术来提升行业服务水平，尤其在资产管理、人员定位、室内导航等业务方面有明确需求。

目前市场上可提供室内定位服务的厂家众多，但是并无厂家可提供规模化室内定位服务能力，并且存在同质化竞争现象。运营商在网络和资本上有天然优势，且行业客户众多，具备规模化提供室内定位服务的能力及优势。同时，运营商可积极发挥行业影响力，推动产业界制定室内定位领域的行业标准。

- **机会**

运营商具备网络资源优势，垂直行业也希望使用运营商搭建的行业专网。运营商应当抓住 5G 室分网络建设契机，同步规模化建设室内定位网络，降低网络建设及维护成本，并与相关厂商合作，为垂直行业客户提供端到端解决方案。

- **劣势**

从技术层面来讲，大多数室内定位技术为短距通信技术，例如蓝牙、Wi-Fi、UWB 等。虽然运营商在蜂窝通信技术方面优势显著，但

是在短距通信技术上缺乏技术积累。

- **威胁**

现阶段垂直行业对于 5G 的需求强烈，但运营商在提供室内定位应用时仍然大量借助于厂家能力，在底层关键技术上缺乏掌控力。运营商应加快推进室内定位中台能力构建和面向行业应用的定位服务平台开发，尽快掌握室内定位核心能力。

3 室内定位技术原理介绍

目前，室内定位技术众多，考虑到市场应用普及性及技术应用前景，本章将从定位原理、定位方式及性能、产业链支持情况以及产业痛点分析这些维度，分析介绍 5G 基站定位、4G 基站定位、蓝牙 4.2 定位、蓝牙 5.1 定位、Wi-Fi 定位、UWB 定位、vSLAM 等定位技术。

3.1 室内定位基本原理

室内位置解算分为终端侧解算和网络侧解算两种。其中，终端侧解算是指不经过网络传输，终端可直接解析其自身位置，室外以 GNSS 为代表，室内需定位信标发送其坐标位置信息。目前室内定位技术多以网络侧解算为主。

无线定位信号测量主要包括功率测量、时间测量和角度测量。功率测量包括三角定位和指纹定位，时间测量包括 TOA、UTDOA 和 OTDOA，角度测量包括 AoA 和 AoD。

3.1.1 基于功率测量

基于场强测量的定位技术可以分为 2 种，分别是三角定位技术和指纹定位技术。

- 三角定位技术

通过接收信号强度（RSS, Received Signal Strength）计算得到终端到多个定位节点的距离，并以已知节点位置为圆心，终端距离节点的距离为半径形成圆形，多个圆的交点就是终端位置，如图 3.1-1 所示。

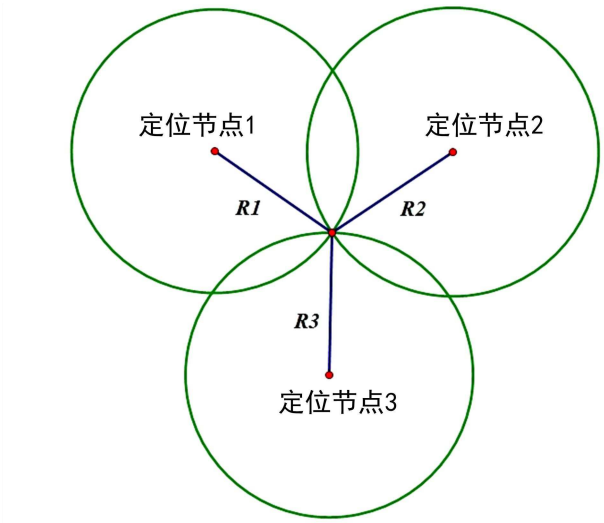


图 3.1-1 基于距离的定位原理

终端到基站的距离解算方程组如式（1）：

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}, \quad i = 1, 2 \cdots, n, \quad n \geq 3 \qquad (1)$$

式中R_i为第 i 个基站到终端的距离，(x_i, y_i)为第 i 个基站的坐标。

基于场强进行距离估计时，当终端距离定位基站较近时，信号强度对应的距离分辨率较好，精度较高，当终端距离定位基站较远时，信号强度对应的距离分辨率差，精度较低。通常，当定位精度要求在 2-3m 时，定位节点部署间距要求在 6-8m。

此种定位方式要求定位基站与定位终端间可直视，无墙体等阻挡，可达到较高定位精度。

- **指纹定位技术**

当定位信号存在非视距等环境影响因素时，测量到的场强等信息难以真实反映定位基站与终端间的实际距离时，可采用指纹定位技术减轻此类误差。

指纹定位技术由离线与在线两个阶段构成。离线阶段即指纹库采集阶段，首先进行定位区域的网格划分，然后采集不同网格的信号特征值，将采集得到的信息建立定位指纹库，特征值可为场强等信息。在线阶段即指纹定位阶段，测量信号特征值，将测量的信号特征值与指纹库中的预存信息进行指纹匹配，根据匹配算法得出终端坐标位置。

指纹定位流程如图 3.1-2 所示：

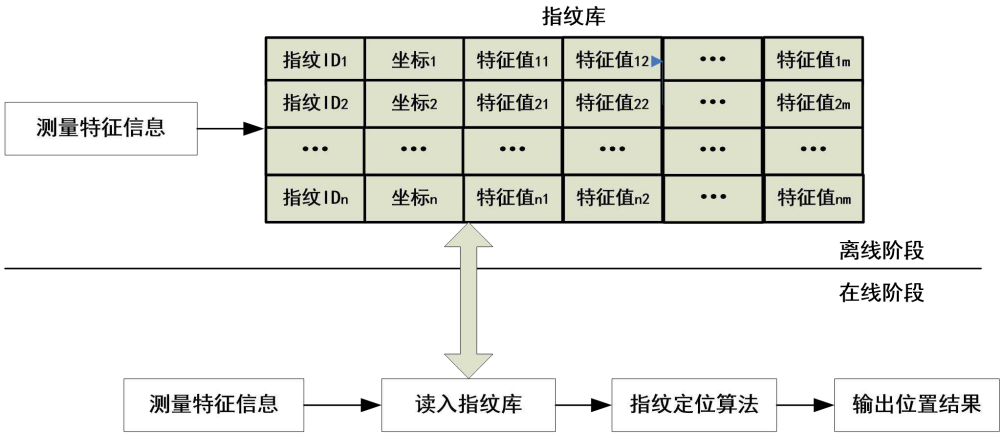


图 3.1-2 指纹定位流程图

指纹定位技术主要缺点在于指纹数据库采集工作量大，且在后期维护过程中，随着环境发生变化，需重新采集维护指纹数据库。

3.1.2 基于时间测量

- **TOA 测量**

TOA（Time of Arrival）又称 TOF（Time of Flight），一般又分为双向测距和基于时钟同步的 TOA 测距。常用的双向测距法不需要定位标签和定位基站之间严格时钟同步，只需要未知点（即定位标签）向参考点（即定位基站）发送信号，定位基站也向定位标签发送信号，如图 3.1-3 所示：

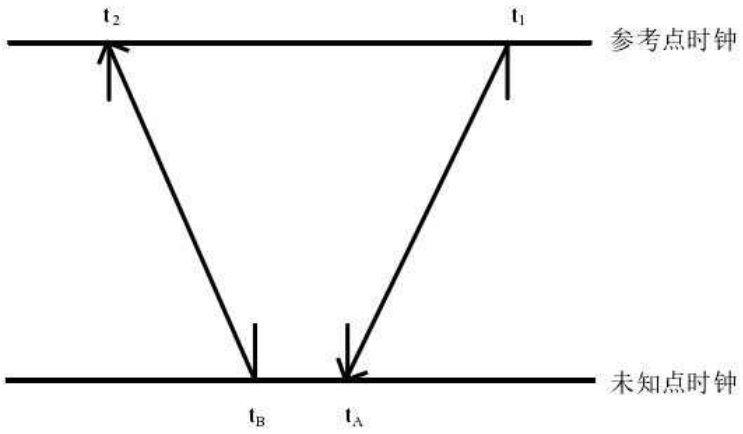


图 3.1-3 TOA 定位原理图（双向测距）

参考点于 t_1时刻（参考点本地时钟的 t_1）向未知点发送信号，未知点于 t_A时刻（未知点本地时钟的 t_A）接收到该信号；未知点于 t_B时刻（未知点本地时钟的 t_B）向该参考点发送信号，参考点于 t_2时刻（参考点本地时钟的 t_2）接收到该信号。

上述时间差再乘以电磁波在空气中的传播速度 C，即可得到该未知点和该参考点之间的距离，如下所示：

$$D = \frac{t_2 - t_1 - (t_B - t_A)}{2} \times C \qquad (2)$$

同理，确定该未知点与其他参考点之间的距离，根据至少三个距离即可确定该未知点的位置。例如当获取到标签到至少 3 个基站的间距时，即可根据三点定位方法实现定位，如下图 3.1-4：

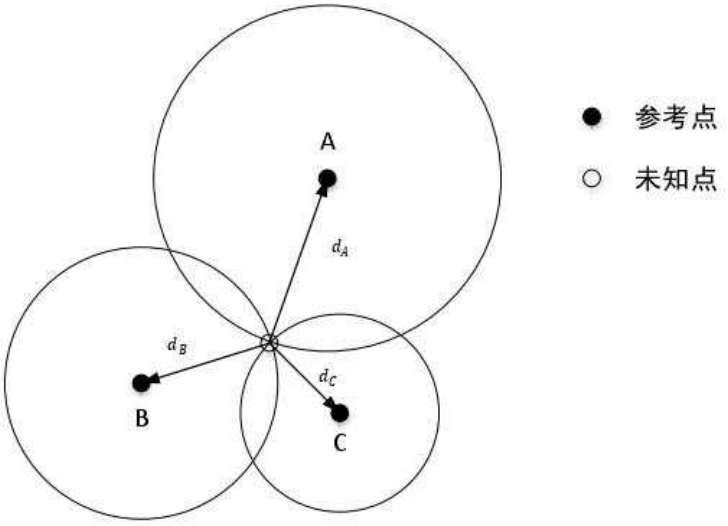


图 3.1-4 TOA 定位原理图（基于时钟同步）

已知三个基站位置(x_A, y_A)，(x_B, y_B)，(x_C, y_C)，通过两点之间的距离计算出标签(x_0, y_0)到三个基站距离 d_A、d_B、d_C，通过下述公式即可算出标签位置(x_0, y_0)：

$$\begin{aligned} (x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2 &= d_A^2 \\ (x_B - x_0)^2 + (y_B - y_0)^2 &= d_B^2 \\ (x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2 &= d_C^2 \end{aligned} \qquad (3)$$

- **TDOA 测量**

基于时间到达差(TDOA，Time Deference of Arrival)的定位法要求参考点之间的时钟严格同步，而对参考点与未知点之间则没有时钟严格同步的要求，这就能相对简化定位系统，降低定位系统成本。

TDOA 定位法的定位过程：预先将所有参考点之间时钟同步，未知点发出信号，不同参考点在不同时刻接收到该信号，选取某参考点接收到信号的时刻作为基准，其他参考点收到信号的时刻减去该基准得到定位信号到达时间差，该到达时间差即为 TDOA 值。根据未知点与两个参考点之间的 TDOA 值可以建立一条双曲线，实现二维定位需要至少三个参考点建立一组双曲线方程求解得到未知点的位置估计，如图 3.1-5 所示：

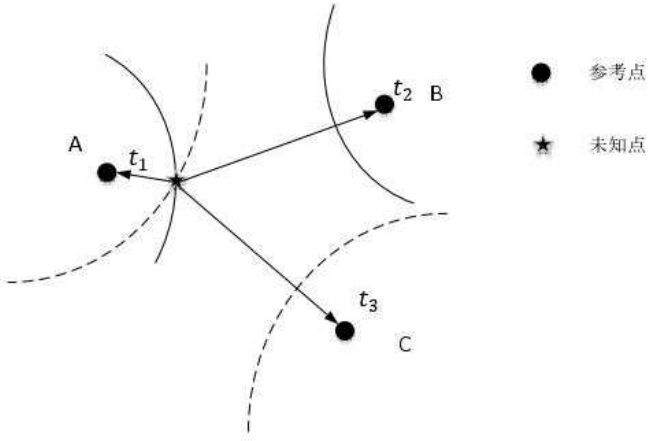


图 3.1-5TDOA 的定位原理

由于根据距离差做出的双曲线相较于根据距离做出的圆而言，其呈发散型，因此，实际应用中通常需要至少 4 个基站来获得多条双曲线来获取冗余 TDOA 值，并将误差较大的 TDOA 值剔除之后再确定未知点的坐标，这样可提高 TODA 定位的精度。

根据信号上下行，TDOA 测量技术可分为 OTDOA 和 UTDOA。

OTDOA（Observed Time Difference of Arrival）：移动终端对基站下行定位信号进行测量。

UTDOA（Uplink Time Difference of Arrival）：移动终端发射上行测量信号，网络侧基站或者定位测量单元（Location

Measurement Unit，LMU）测量得到时间差。

- **TOA 测量和 TDOA 测量有各自的优势：**

TOA 测量的优势在于：

✓ 精度较高，定位收敛；

✓ 基站逻辑简单；

✓ 结合一定的算法，可以实现小房间内单基站存在性检测；

TDOA 的优势在于：

✓ 容量大；

✓ 标签功耗低；

✓ 标签逻辑简单，省去基站；

✓ 搜寻机制。

3.1.3 基于角度测量

- **AOA 测量**

到达角（Angle of Arrival, AOA）是发射器通过单一天线发送特殊的数据包，接收器通过多天线接收，由于各个天线到发射器的距离不同，会产生相位差。通过相位差和天线间的距离计算出相互之间的角度关系。

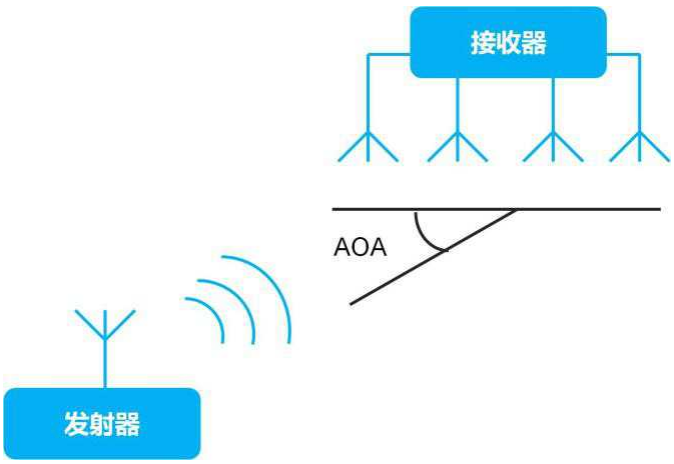


图 3.1- 6 AOA 定位示意图[9]

设参考点（定位基站）个数为 M，坐标分别为（x_i, y_i），未知点（定位标签）坐标为（x，y），各个参考点的 AOA 估计值θ_i相互独立，

根据（x_i, y_i）和θ_i计算得到目标的距离，如图所示：

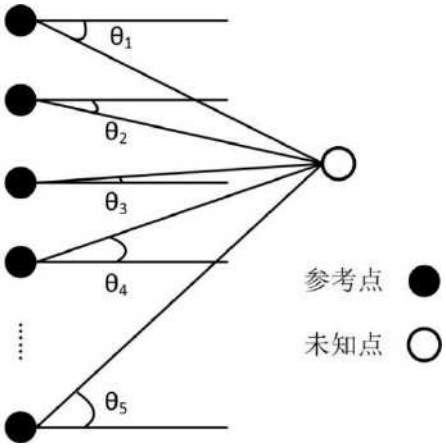


图 3.1-7AOA 定位原理图

采用到达角测量在视距传播时定位精度较高，在非视距传播时定位精度显著降低。

- **AOD 测量**

出发角（Angle of Departure, AOD）与到达角相反，接收器是单天线，发射器多个天线发射特殊的数据包，接收器根据产生的相位差、天线距离，计算出相对的方向和距离。

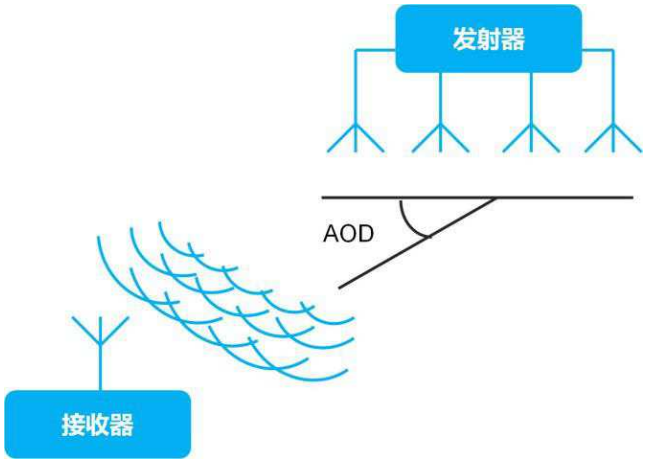


图 3.1-8 AOD 定位示意图[9]

3.2 5G 基站定位技术

3.2.1 定位方式及性能

在 3GPP Rel-15 及更早的版本中，3GPP 的基站定位技术均基于 4G

网络实现。而在 2020 年 6 月冻结的 Rel-16 版本中，首次引入了 5G 基站定位功能。

- 5G 基站定位技术

4G 基站定位支持的定位技术主要包括 E-CID、OTDOA 和 UTDOA 等，在此基础上，5G 基站结合 5G 网络大带宽和多波束的特性，进一步支持了 multi-RTT、UL-AoA 和 DL-AoD 等多种定位技术[10]。5G 基站定位技术的基本原理和优缺点分析见附录 A。

- 5G 基站定位性能

3GPP 定义了室内定位场景下，5G 定位需满足的定位精度和端到端定位时延需求，水平维和垂直维定位精度均<3m（区域内 80%用户），端到端时延<1s。

针对上述需求，3GPP 定义了在室内办公场景下所能达到的水平维定位精度。3GPP 主要评估的定位技术为 DL-TDOA、UL-TDOA、UL-AoA 和 multi-RTT，其所能达到的定位精度及条件如下表所示。

表 3.2-1 5G 基站定位精度

定位技术	水平维定位精度（区域内 80%用户）	条件
DL-TDOA	FR1：< 3m	1.DL/UL-TDOA 假设基站间严格同步 2.发送带宽：FR1 50/100MHz；FR2 400MHz
	FR2：< 1m	
UL-TDOA	FR1：< 3m	
	FR2：< 2m	
UL-AoA	FR1：< 2m	
Multi-RTT	FR1：< 2m	
	FR2：< 1m	

- 性能影响因素

上述 5G 基站定位能力仍是基于标准化仿真评估得到，而在实际部署中，存在多种因素可能影响到定位精度：

频带宽度：定位可用信号的频带越宽，相对应时域信号越窄，则越容易检测到该定位信号传播首径，故对时间的检测越精确，定位精度越高。这也是在各种 TDOA 方案下，5G 定位相对于 4G 定位性能大幅提升的核心原因之一。

信噪比：当带宽一定时，信噪比恶化将导致对时间的估计偏差逐渐增大。有研究表明，当信噪比低于 3dB 时，开始影响定位精度，该恶化门限高于 5G 通信正常工作所要求的信噪比。因此，若希望通信网与定位网的复用，在网络规划方面需综合考量。

多径效应：5G 基站定位的各种技术方案，一般均基于存在 LOS 径的前提进行评估。但在实际应用中，NLOS 径不可避免。

站间时钟同步：对于 TDOA 方案，TOA 是由每个 RRU 基于各自的本地时钟计算后记录的，不同 RRU 之间的时钟误差直接影响 TOA 准确度。在共 BBU 场景下，时钟同步精度较高，但对于非共 BBU 场景，需要额外引入时钟同步设备。

3.2.2 产业链支持情况

5G 定位标准在 R16 中发布，很多 5G 定位方法如 OTDOA、RTT 等，目前终端都不支持，同时基站也需要升级到 R16。在标准定型后，预计 1 年左右将有成熟 5G 高精度定位产品出现。产业链支持情况预期如下：

定位技术	终端厂商分布	网络（基站，CN）分布	技术要求
OTDOA	行业特制终端厂商 5G 通信终端供应商	中兴、华为等	基站、终端支持 R16
UTDOA	5G 通信终端芯片供应商	华为、中兴、高通	基站支持 R16
RTT	5G 通信终端供应商	高通，其他待定	基站、终端支持 R16
AOA,AOD	5G 通信终端供应商	华为、中兴等	基站支持 R16

3.2.3 产业痛点分析

技术原理：从上下行定位技术的角度出发，基于下行的定位技术可以提供更大的带宽，定位性能较好，然而其需要终端基于 Rel-16 标准升级后才能支持，且需要终端支持高精度的下行定位参考信号测量与上报，会导致产业链全面支持的时间延后；基于上行的定位技术

仅需要终端支持发送上行 sounding 信号即可实现定位，但其受限于上行功率和带宽，定位性能相比于基于下行的定位技术略差。从定位测量角度出发，相比于基于定时测量的技术，利用波束和角度信息进行定位的技术方案，对基站硬件设备能力的要求比较高（大规模天线阵列等），且要求终端可以同时收到 3 个以上基站的精确波束，该条件在现网中实现的难度较大、概率较低。因此，在定位网络部署初期，考虑到终端的实现能力，可以优先考虑引入 UTDOA 等上行定时测量技术，随着终端实现和网络部署的向前推进，再随之引入能够提供更高定位精度的定位技术。

商业发展：由于 5G 定位技术依赖于蜂窝网络，仅服务于单一运营商用户，5G 基站定位无法为跨运营商用户提供 To C 服务。此外，5G 基站定位的发展，尚需解决产品化的问题，能够尽早推出端到端的 5G 定位产品是 5G 定位发展的关键。

3.3 4G 基站定位技术

3.3.1 定位方式及性能

4G 室内基站的定位实现是系统基于信号传播模型的距离估算方法，根据 RSSI 在无线信道下的损耗模型，估算出移动终端到各个定位基站的位置，再用三角定位法计算出被定位终端的位置。但实际环境复杂，信号传播规律通常存在偏差，可以根据经验模型和指纹算法等进行纠正，计算出被测量设备大概位置。

4G 室内基站的定位方案充分利用了有源数字设备（pRRU）的优势，通过一定的信号归属判定原则区分 UE 所接入的不同远端单元，同时再与上行信号强度的定位机制相结合，可以实现定位精度的提升。但是由于 pRRU 的覆盖范围与部署密度存在较大关系，采用 UE 归属的远端单元进行辅助定位时，pRRU 的部署密度可能会对定位精度产

生较大的影响。经过测试分析这种室内定位的精度一般可以达到1/3～1/4 的 pRRU 站间距，pRRU 部署间距为 30 米时，定位精度仅为5～7 米。

3.3.2 产业链支持情况

产业链	厂商
上游芯片厂家	高通、海思等
中游硬件厂家	华为、中兴等
下游应用厂家	各硬件厂商独立提供服务，暂无成规模的应用提供商
手机厂家（潜在应用厂家）	华为，苹果，三星，小米等
标准化组织	3GPP

3.3.3 产业痛点分析

基于 SRS 场强测量是一种很好的被动定位方式，无需用户操作配合，所有智能或非智能蜂窝网终端都可以被定位。但 4G 定位精度为5-7 米级，与蓝牙 4.2、Wi-Fi 等技术精度相当，相比于 5G、UWB 等高精度定位技术没有优势，且 4G 定位网与通信网强绑定，仅能服务于单一运营商用户。

3.4 蓝牙 4.2 定位技术

3.4.1 定位方式及性能

- **网络测量定位：**

该模式下，定位终端发送蓝牙信号，由蓝牙网关进行信号测量，回传至服务器进行定位，系统架构如图 3.4-1 所示，性能参数如表 3.4-1 所示。

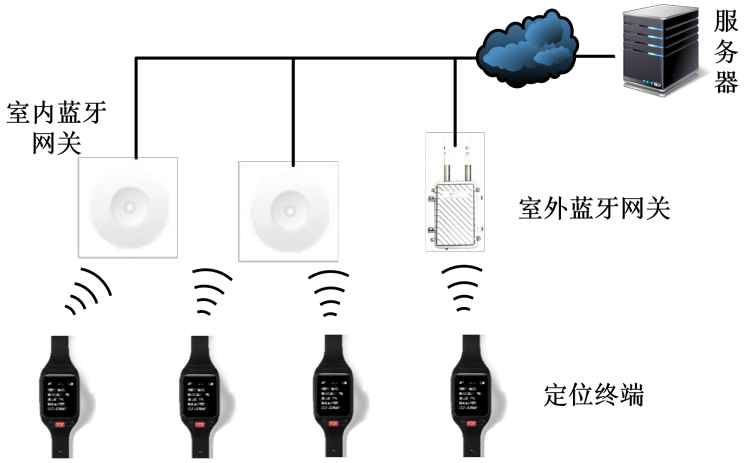


图 3.4-1 蓝牙网络测定位网络架构

表 3.4-1 网络测量定位模式下，性能参数表

指标项	典型参数
蓝牙信号监测距离	50m -100m
蓝牙网关功耗	高功耗，需外接电源
定位终端功耗	45uA 量级
定位精度	● 2m 精度（定位信标间距 6m 时） ● 3m 精度（定位信标间距 8m 时） ● 5m 精度（定位信标间距 12m 时）

- **终端测量定位**

该模式下，定位信标发送蓝牙信号，由定位终端进行信号测量，回传至服务器进行定位，系统架构如图 3.4-2 所示，性能参数如表 3.4-2 所示：

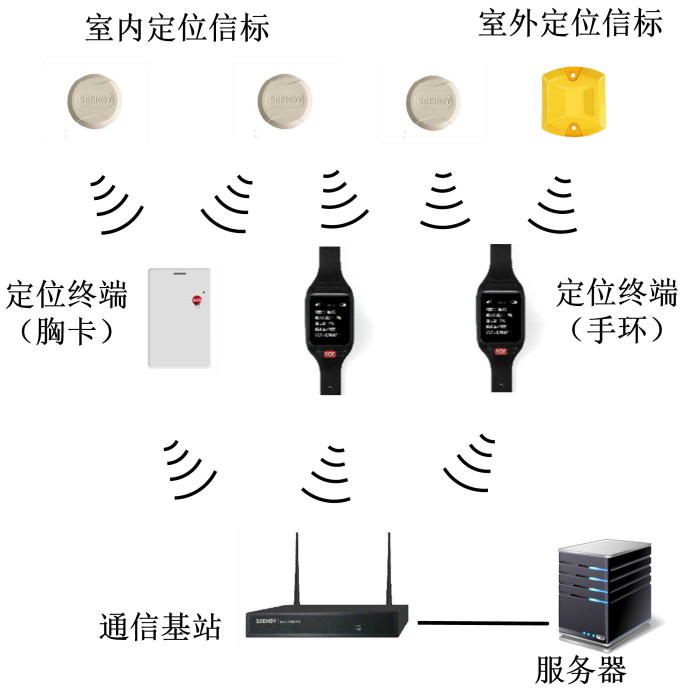


图 3.4-2 蓝牙终端测量定位网络架构

表 3.4-2 终端定位测量模式下，性能参数表

指标项	典型参数
蓝牙信号监测距离	30m -70m
定位信标功耗	高功耗，需外接电源
定位终端功耗	1.5mA 量级
定位精度	● 2m 精度（定位信标间距 6m 时） ● 3m 精度（定位信标间距 8m 时） ● 5m 精度（定位信标间距 12m 时）

3.4.2 产业链支持情况

产业链	厂商
上游芯片厂家	多为芯片行业大型企业，占比较多的包括德州仪器（TI）、Nordic Semiconductor、Dialog 等
中游硬件厂家	国内：杭州利尔达科技、深圳云里物里、苏州寻息电子、北京四月兄弟等
下游应用厂家	主要是室内导航厂家，例如高德地图、百度地图、腾讯地图等； 在人员、物品的监控定位方面，系统需要与定制终端结合，形成定位胸卡、手环等，在这方面，有苏州真趣科技、中兴克拉、无锡真源科技等企业
手机厂家（潜在应用厂家）	几乎所有手机均支持蓝牙 4.2 定位
标准化组织	蓝牙技术联盟(Bluetooth SIG)

3.4.3 产业痛点分析

供电难：终端测量定位方案中，蓝牙信标一般采用电池供电，1-2年需要更换电池，大幅度增加了网络后期维护成本。网络测量定位方案中，蓝牙网关需要通过PoE网线供电，大幅增加了网络建设成本和施工复杂度。

定位精度：蓝牙定位技术规模应用时的精度多在3m以上。市场中有部分场景需求为1m精度，该场景用蓝牙定位精度略显不足。用UWB等高精度定位，成本又过高，难以实施。随着蓝牙AOA技术的逐渐成熟，将有望解决该问题。

3.5 蓝牙5.1定位技术

3.5.1 定位方式及性能

蓝牙5.1相比蓝牙4.2，最大的变化就是定位精度提升到厘米级别，且引入了寻向功能。目前高精度的室内定位需求很多，例如通过导航软件找到酒店门口，但是最后的100米其实也很关键，蓝牙寻向功能就可以解决这个问题，从酒店门口可以直接导航到客房。

蓝牙5.1基于AoA或AoD技术将定位精度提升到厘米级，它的基本原理就是利用无线电的相位差换算出位置信息。AoA测量技术通过测试发射器和接收器直接的到达方向，然后通过三角定位获得发射器和目的物的方位和距离的技术。AoD测量也是利用信号相位差技术，它的工作原理是发射器在以阵列排布的有源天线之间切换时，发送特殊的数据封包，而接收器通过单一天线接收信号，然后从接收到的信号中获取IQ样本，在了解发射器内的天线排布后，通过数据计算得出信号的相对方向和距离。该技术定位精度最小可达到10厘米。

3.5.2 产业链支持情况

产业链	厂商
上游芯片厂家	Silicon Labs, Nordic, TI, Ubisense 等）
中游硬件厂家	Orange, Thinkin, AB&R, Confidex, HockeyTech, KST, NESA Solutions, RTV, Lufthansa Industry Solutions, Synapses, Tieto, Bitwise, Blueup, Empower, Favendo, Navigine, NBN23, Track & Locate, Fujitsu, Nidec, AQiS, Averos, Fanna 等等
下游应用厂家	各硬件厂商独立提供服务，暂无成规模的应用提供商
手机厂家（潜在应用厂家）	苹果，三星，华为
标准化组织	蓝牙技术联盟(Bluetooth SIG)

3.5.3 产业痛点分析

安装难：由于蓝牙 5.1 技术是基于角度测量，基站功率消耗大，无法使用电池供电，需要 PoE 供电，且蓝牙 5.1 基站布放密度为十米量级，因此每个基站都需要解决直流供电问题，为安装造成了困难。

3.6 Wi-Fi 定位技术

3.6.1 定位方式及性能

Wi-Fi 定位技术一般采用 Cell-ID 定位或指纹定位。Cell-ID 定位是最先实现规模化的技术，一般采用“邻近法”判断，即终端距离哪台 AP 最近或者连着哪台 AP 释放出来的网络，则认为定位终端就在该 AP 附近，简单实用，但精度低。指纹定位技术是指将实际环境中的位置和接收到的无线信号的“指纹”特征联系起来，一个位置对应一个独特的指纹。

3.6.2 产业链支持情况

产业链	厂商
上游芯片厂家	高通（Qualcomm）、博通(Broadcom)、瑞昱(Realtek)、乐鑫科技、博通集成、中颖电子等
中游硬件厂家	锐捷网络、中兴通讯、华为、华三等。终端厂家如小米、华为等

下游应用厂家	主要是室内导航厂家，例如高德地图、百度地图、腾讯地图等
手机厂家（潜在应用厂家）	几乎所有手机均支持 Wi-Fi 定位
标准化组织	中国国家无线电监测中心（SRMC），美国联邦通讯委员会（FCC），欧洲电信标准化协会（ETSI），美国电气和电子工程协会（IEEE），WI-FI 联盟，Internet 工程任务组（IETF），WAPI 产业联盟

3.6.3 产业痛点分析

Wi-Fi 定位的终端一般为智能设备，如智能手机，笔记本等。Wi-Fi 由于其功耗高，并不适合制作成 Wi-Fi Tag 去实现资产定位等应用。利用现场已有的 Wi-Fi 设备，部署成本低，但是为了提高定位精度，有时需要提高 Wi-Fi 设备的部署数量和密度。

3.7 UWB 定位技术

3.7.1 定位方式及性能

基于 UWB 技术的无线定位系统一般由定位标签、定位基站及解算软件构成。通过在特定区域布设合理数量的定位基站，并不间断地采集人员、车辆、资产、工具上的定位标签回传的各个要素的时空坐标数据，实现室内空间实时精确定位、监控、引导、预警等功能。

UWB 主要采用飞行时间（TOA/TOF）、飞行时间差（TDOA）、到达角度（AOA）三种定位方法。三种定位方法各具优劣，其性能对照如表 3.7-1 所示：

表 3.7-1 三种定位算法性能比较

定位方法	定位特征	终端功耗	设备复杂度	传输距离	并发容量	环境适应性	是否需要同步	定位延迟	定位精度
ToF	双向，主动	高	中	25m	中	强	否	低	高
TDoA	上行/下行，主动/被动	低	中	25m	高	弱	是	低	中
AoA	上行，主动	低	高	25m	高	弱	否	低	中

3.7.2 产业链支持情况

产业链	厂商
上游芯片厂家	Decawave（Qorvo），成都精位科技
中游硬件厂家	国内：清研讯科、润安科技、红点定位、郑州联睿、南京沃讯等
	国外：英国 Ubisense、美国 Time domain、美国 Zebra、荷兰恩智浦
下游应用厂家	各硬件厂商独立提供服务，暂无成规模的应用提供商
手机厂家（潜在应用厂家）	苹果、三星
标准化组织	电信技术协会(TTA)

3.7.3 产业痛点分析

UWB 定位技术兴起较晚，产业链仍不成熟，虽然最近几年涌入了大量企业，但是制约行业发展的问题也越发凸显：

一是，成本较高，严重制约 UWB 的推广应用。UWB 定位系统需要额外部署专用的信号测量设备，且遇到墙体遮挡需重新部署网络等原因，会产生较高的成本。而蓝牙 5.1，蓝牙 4.2 及 Wi-Fi 等其他无线定位系统成本相对较低，在定位精度要求不高的场景下，挤占了 UWB 技术的市场份额。

二是，缺乏统一的行业发展规范，影响行业发展进程。目前在全球范围内，并没有针对 UWB 制定系统性规范，一方面导致了行业内鱼龙混杂，产品质量参差不齐、重复生产、恶性竞争的现象的多发；另一方面使得行业内企业“各自为政、自说自话”，各个 UWB 厂商设备无法互联互通，影响了全行业的整体发展。

3.8 vSLAM

3.8.1 定位方式及性能

SLAM（同步定位与地图构建），是指运动物体根据传感器的信息，一边计算自身位置，一边构建环境地图的过程，解决机器人等在未知环境下运动时的定位与地图构建问题。目前，SLAM 的主要应用于机

器人、无人机、无人驾驶、AR、VR 等领域。根据传感器种类和安装方式的不同，SLAM 主要分为激光 SLAM 和 vSLAM（基于视觉的定位与建图）两大类。

vSLAM 基本原理是基于投影几何的成像模型。通过在不同角度对外部环境的光学观测，在不同的视角下，其公共对应部分可以分析出不同观测视角的相对位置、角度、距离等等。传统意义上的视觉定位是基于外界光源的光学观测，所以也属于一种被动定位原理。

vSLAM 的定位方式有两种：

（1）基于深度摄像机的 vSLAM，跟激光 SLAM 类似，通过收集到的点云数据，能直接计算障碍物距离；

（2）基于单目、鱼眼相机的 vSLAM 方案，不能直接获得环境中的点云，而是利用多帧图像来估计自身的位姿变化，再通过累计位姿变化来计算距离物体的距离，并进行定位与地图构建。

3.8.2 产业链支持情况

产业链	厂商
设备厂家	Kinect： 微软
	TOF 摄像头： LG，夏普，三星，索尼，德州仪器等
	双目摄像头：小觅智能，中科慧眼等
应用厂家	家用：科沃斯、小米等
	工业移动机器人：海康，马路创新，极智嘉，快仓等
	工业自动化：基恩士，康耐视等
	自动驾驶：谷歌，百度，特斯拉，图森未来等

3.8.3 产业痛点分析

SLAM 技术是机器人定位导航演进的发展趋势基本已成产业共识，但关于 SLAM 定位导航技术的路径选择（即选择激光 SLAM 还是视觉 SLAM）业界始终存在一定分歧。

虽然 vSLAM 技术相对激光导航拥有较大硬件成本优势，但是对算法的开发能力却有非常高的要求。同时，市面上也难有一套完整方

案可以满足所有场景的需求，这也造成市面上有能力开发出成熟产品的公司非常少有。

4 室内定位评测体系

目前，能够实现室内定位的技术众多，不同技术各具优势但同时也各有局限性。如何选择不同的定位技术满足业务层面对定位精度、定位时延、容量等方面的需求，同时兼顾设备成本、部署难度等，将需要对多个维度的关键指标进行评估测试。本章将介绍评价不同定位技术的关键指标，以及相应的测试方法。

4.1 室内定位关键性能评价指标

4.1.1 关键指标定义

定位精度：定位精度是评价室内定位技术性能最重要的指标，是指定位系统计算得到的终端位置信息与其真实位置之间的接近程度，通常用两者之间的欧式距离表征。

为便于下文表述，将不同定位精度的定义约定如下:

- 厘米级定位精度：固定概率模型下，定位系统计算得到的位置信息准确度在 0.01-0.1 米；
- 分米级定位精度：固定概率模型下，定位系统计算得到的位置信息准确度在 0.1-1 米；
- 米级定位精度：固定概率模型下，定位系统计算得到的位置信息准确度在 1-10 米；

定位时延：指从定位终端到达特定位置与定位平台稳定显示该终端位置的时间差，主要包括定位信号传输时延和平台解算时延；

并发容量：定义为在单位时间内，在满足定位精度和定位时延性能的条件下，单个定位基站可以支持的定位终端数量；

同步性能：在定位系统中，为了提高定位精度，通常多采用多站

联合定位，同步性能指的是多站定位中对基站时间同步的要求；

单站距离：指特定定位精度下，单个定位基站的覆盖距离；

功耗性能：指基站和定位终端在特定状态下的耗电，包括在休眠状态、定位数据传输状态以及位置信息解算状态的耗电；

射频性能：指基站和定位终端的发射功率、测量精度、解调能力等射频能力满足应用要求。

4.1.2 不同定位技术关键指标

	5G【1】	4G【1】	蓝牙 4.2	蓝牙 5.1	Wi-Fi	UWB	vSLAM
定位精度	分米级	米级	米级	分米级	米级	分米级	分米级
定位时延	十毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	百毫秒级	毫秒级
并发容量（上行）	百级	百级	百级	百级	百级	百级	-
同步性能	纳秒级	-	-	-	-	纳秒级	-
单站距离（半径）	20m	20m	7m	2*站高度 (站高<20m)	20m	10m	-
基站功耗	十瓦级	十瓦级	瓦级	瓦级	十瓦级	瓦级	-
终端功耗	瓦级	瓦级	毫瓦级	毫瓦级	瓦级	百毫瓦级	瓦级
基站成本	千元级	千元级	百元级	百元级	百元级	千元级	-
终端成本	千元级	百元级	十元级	十元级	十元级	百元级	千元级

【1】：5G 和 4G 定位技术的基站/终端的功耗和成本包括通信能力和定位能力两部分贡献。

4.2 室内定位关键性能评测方法

4.2.1 室内定位精度

定位精度是评价室内定位技术性能最重要的指标，指的是定位系

统计算得到的终端位置信息与其标定真实位置之间的接近程度，在二维定位中为平面位置，三维定位中还包括高度。严格来说，定位精度包括“准确度”和“精确度”，“准确度”表示测量值与标定真实值的接近程度，用于表明测量值的正确性；“精确度”表示多次测量结果相互之间的符合程度，用于表明测量值的可重复性。影响定位精度的重要因素为定位解算算法，同时定位基站部署密度和位置、遮挡和干扰、设备测量误差等均会对定位精度产生影响，在测试中需要考虑到。

如图 4.2-1 所示，定位系统包含定位解算平台、定位基站以及定位终端。定位基站和定位终端承担了底层通信，获取通信信号的原始信息并上传到定位平台，定位平台进行位置解算，最终定位结果在定位平台呈现。

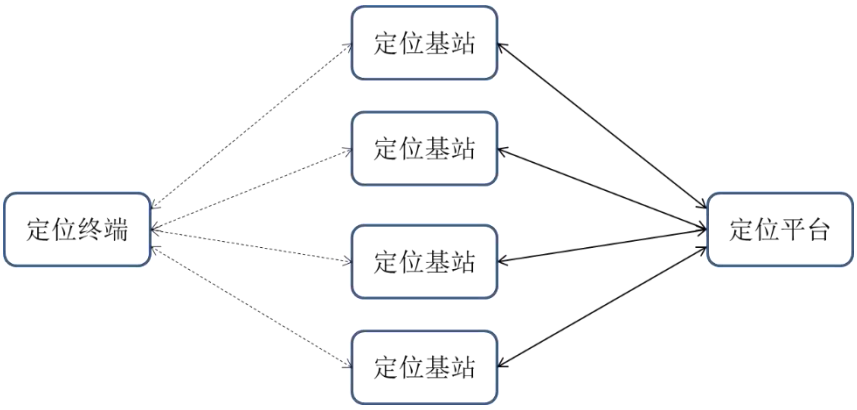


图 4.2-1 定位系统示意图

定位精度可在实际环境下选定测试点进行测试，将定位平台解算出来的位置坐标和标定的实际位置坐标进行比对，计算定位误差。根据应用场景不同，室内定位模式可分为零维定位、一维定位、二维定位和三维定位。其中零维定位为存在性测试，仅用于检测定位标签是否位于特定房间内；一维定位为线性定位，应用于走廊、隧道等场景，通常忽略线性区域的宽度，仅关注标签的 X 坐标；二维定位为平面定位，关注标签在空间内的具体位置（X、Y 坐标）；三维定位是在二维定位基础上增加对标签所处高度的测算。

为覆盖较为全面的使用场景，如图 4.2-2 所示，测试环境可包含

一个正方形大房间、长度适宜的走廊以及相邻的两到三个小房间，分别用于测试二维、一维及零维定位性能。同时考虑到环境中是否存在遮挡对定位精度是有影响的，可在二维测试的大房间中，利用立柱等构造遮挡环境。

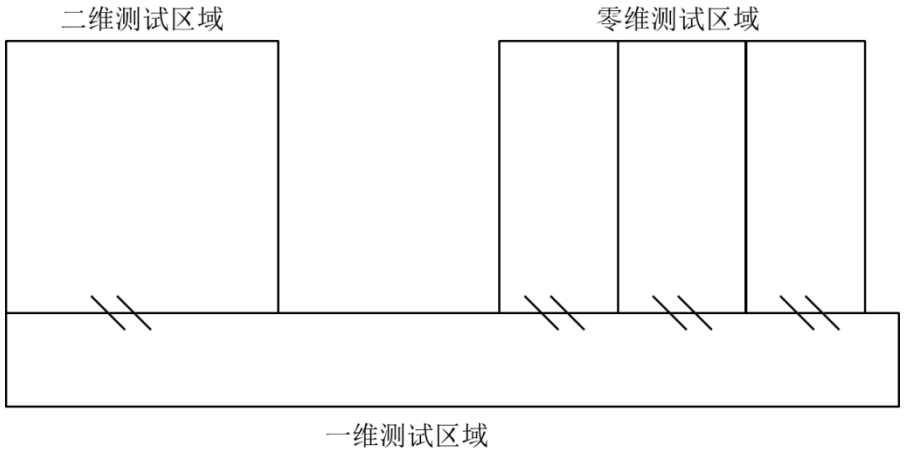


图 4.2-2 定位性能测试环境

在设备部署方面，基站数量将影响定位精度、标签功耗和容量等性能，可根据不同定位技术的特点进行部署。对于 4/5G、蓝牙 4.2、UWB 和 Wi-Fi 定位，通常在正方形房间中部署四个基站，能够满足定位算法的几何解算条件；走廊区域根据单站通讯距离进行等距离部署；零维定位测试区域通常是每个房间一个基站。对于蓝牙 5.1 定位，采用单台蓝牙定位基站即可实现二维定位，采用双基站可以实现三维定位。蓝牙 5.1 定位基站通常水平安装在测试区域天花板，其安装高度根据测试场景差异有所不同，如以典型的办公室场景及工厂场景为例，办公场景通常安装高度在 3 米左右，工厂场景安装高度在 5-8 米。考虑到蓝牙 5.1 定位采用角度测量原理，测试区域蓝牙基站的安装高度应该是一个明确的固定值。如图 4.2-3 所示，单个蓝牙 5.1 基站覆盖区域类似圆锥型，其覆盖区域分为高精度定位区域以及低精度定位覆盖区域。在测试蓝牙定位精度时，测试点位应覆盖不同精度定位区域。

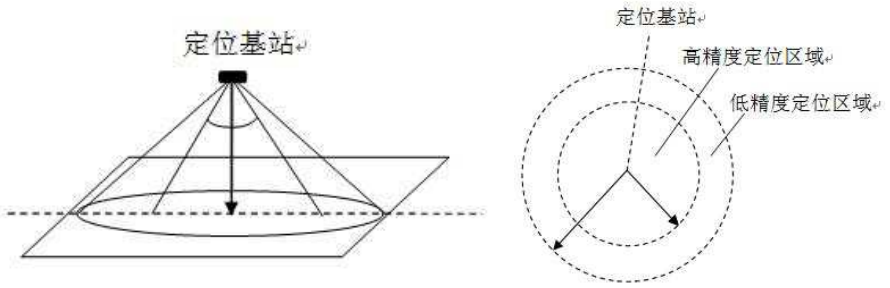


图 4.2-3 蓝牙定位基站部署及覆盖范围

完成测试环境及定位系统部署后，对于二维定位和一维定位，在测试区域选择足够数量的测试点位。首先应该确定测试区域原点，并借助全站仪等设备精确测量测试点位的实际坐标。测试中将标签静止摆放在选定的点位，通过定位平台记录多次定位测试结果，计算测试点位实际位置和解算位置的偏差，得出定位精度的“准确度”。对于零维存在性检测，计算定位结果串房间的次数与总定位次数的比值，计算串房间率。

定位精度允许存在一定概率的误差，即定位精度的“精确度”。定位精度误差的评定具有多种概率模型，如 CEP（Circular error probability，圆概率误差）、DRMS（Distance Root Mean Square，距离均方根差）、2DRMS。CEP 指 50%概率，以 1m CEP 为例，指的是 50%的测试点准确度能够达到 1 米以内,也就是说定位精度达到 1 米的概率是 50%。DRMS 指的是标准差，概率为 67%；2DRMS 为两倍标准差，概率为 95%。在定位精度测试中常用误差模型为 CEP 或 DRMS，对精度稳定性要求更高的场合可以使用 2DRMS 进行评定。

4.2.2 室内定位时延

严格意义上，定位时延是指从定位终端到达特定位置与定位平台稳定显示该终端位置的时间差，主要包括定位信号传输时延和定位平台位置解算时延，定位终端的刷新率（即定位包发送间隔）和运动速度对时延的测试均有影响。测试时需要定义合适的刷新率和运动速度，

使不同定位测试点间隔保持在合理距离之内。定位时延的测试环境和设备部署可以和二维和一维定位精度测试环境保持一致。

终端移动状态下定位时延的测量方式较为复杂。一种方法是由测试人员携带定位终端，也可采用能够自动完成圆形或往返直线运动的设备携带标签的方式，以一定的速率移动并依次经过测试点，记录各测试点上的时延。这种方式需要能够自动记录定位终端通过测试点的时间，和平台显示终端位置的时间点做差值。但终端通过测试点的时间并不容易记录，一种可行方法是在观测点处设置红外对射或类似设备，当人员或设备携带标签通过观测点时，能够触发终端自动记录时间并上报定位平台。同时在定位平台上能够接收定位终端上报的时间戳，完成对定位延时特性的评估。

静止状态的时延测试则相对简单，可通过测量终端发送定位数据包到定位平台稳定显示位置的时间差确定静止状态的定位时延。该种状态下的时延不涉及终端移动速率。

4.2.3 其他性能要求

- **并发容量**

在实际的定位应用场景中，可能同时存在多个需定位的终端。并发容量是定位系统的一个重要指标，其定义为在单位时间内，一个基站在满足定位精度和定位时延性能的条件下，可以支持的定位终端个数。

并发容量可采用如下步骤进行评估：

步骤 1：通过仪表来模拟多个（各定位系统标称单站可支持并发容量）定位终端，采用典型的定位业务模型（包大小，频次），触发该定位系统进行定位；

步骤 2：根据前述的定位精度、定位时延的定义，评估该次定位结果是否满足预期指标；

如果所有用户的定位结果均满足预期指标，则以固定步长继续增加用户数，重复步骤 1~2，直到无法满足所有用户的定位预期指标，记录该用户数；

如果无法满足所有用户的定位预期指标，则以固定步长，减少用户数，重复步骤 1~2，直到所有用户的定位结果均满足预期指标，记录该用户数；

该用户数即为该定位系统的并发容量。

- **同步性能**

在定位系统中，为了提高定位精度，多数采用多站定位。多站定位对于基站同步要求较高。在测试中，可选取两个基站，来验证站间同步性能。

同步性能可采用如下步骤进行评估：

步骤 1：多个定位基站/AP 同时向定位平台发送同步测试信息；

步骤 2：在定位平台侧观察从不同基站/AP 接收到的信号时间差；

该时间差即为该定位系统站间同步性能。

- **通讯距离/单基站覆盖距离**

单基站覆盖距离会影响定位系统部署成本。单站覆盖距离可采用如下步骤进行评估：

步骤 1：在距离基站 X 米（各定位系统标称单站可支持覆盖距离）处，触发该定位系统进行定位；

步骤 2：根据前述的定位精度、定位时延的定义，评估该次定位结果是否满足预期指标；

如果满足，则以固定步长，在远离基站方向继续拉远，重复步骤 1~2，直到找到不满足预期指标的点位，记录该位置与基站的距离；

如果不满足，则以固定步长，逐步靠近基站，重复步骤 1~2，直到找到满足预期指标的点位，记录该位置与基站的距离；

该距离即为该定位系统的实际单基站覆盖距离；

- **功耗性能**

1. 定位基站功耗性能

目前市面上 UWB、Wi-Fi 定位基站普遍采用 PoE 供电，蓝牙设备则采用电池供电。蓝牙设备由于采用电池供电，因此对于功耗性能十分敏感。评估定位设备功耗性能时，需将电源输入端串接电源分析仪，电源分析仪为设备进行电源供电和读取工作电流，记录定位设备在正常工作状态下的电流变化即可确认该设备的功耗值。



图 4.2-4 基于仪表的定位基站功耗测试系统示意图

2. 定位终端功耗性能

定位终端普遍采用电池供电，功耗性能和电池容量将影响终端工作时长，因此低功耗是终端的重要特性。终端和定位相关的状态主要为定位相关数据传输，部分在终端侧计算位置信息的定位技术需考察终端定位过程的耗电，此外考虑到终端大部分时间处于待机或者休眠状态，因此需考察其待机休眠耗电。需要注意的是，其中工作状态耗电和上报频率相关，因此测试中需固定上报频率。

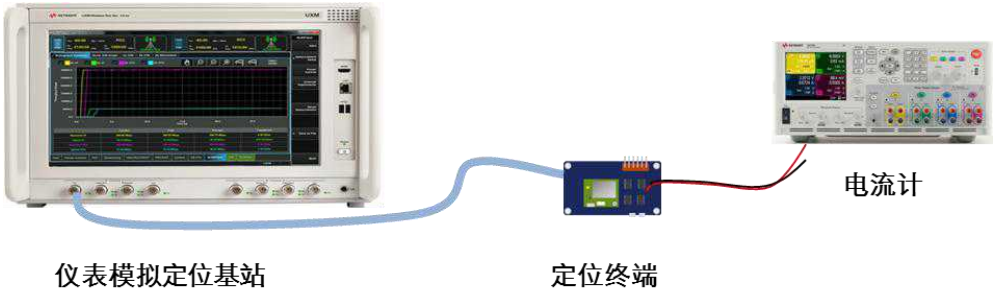


图 4.2-5 基于仪表的定位终端功耗测试系统示意图

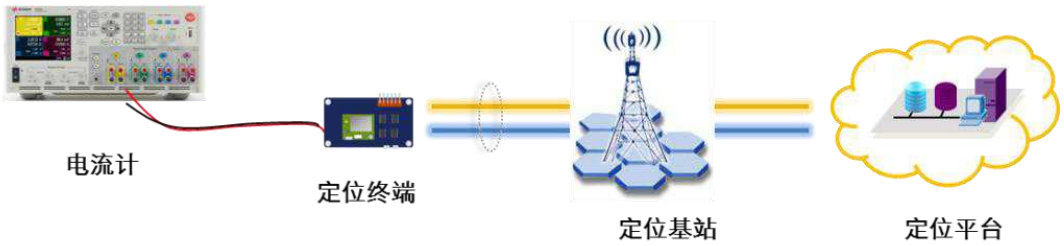


图 4.2-6 基于实际定位网络的定位终端功耗测试架构示意图

如图 4.2-5 及图 4.2-6 所示，终端功耗测试可基于实际定位基站进行，也可以使用测试仪表模拟定位基站，以便使终端进入预期的休眠或者工作状态。此外，功耗测试需借助电流计，电流计的主要作用一方面是为终端提供稳定的工作电压，另一方面需测量终端的平均电流。测试中移除终端供电电池，将电流计正负电源和终端整机正负供电口相连，在稳压情况下测量终端整机耗电。测量结果为固定测试时间内的平均电流值，结合供电电压可得到功率值。

- **射频性能**

1. 基站射频要求

测试内容主要包括输出功率、最大功率谱密度、频率范围、带宽、传导杂散发射、调制特性、灵敏度等测试指标。

测试设备介绍：矢量信号分析仪用于调制质量与频谱质量等有关发射机性能测试；矢量信号源可做数据调制，用于接收机测试；程控数显电源用于设备供电，及读取工作电流。

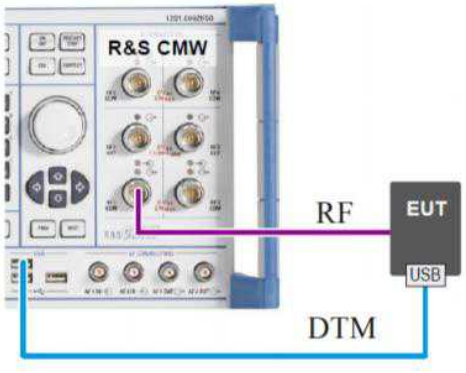


图 4.2-7 射频测试系统示意图

2. 终端射频要求

良好的终端射频性能是保障终端通讯能力的基础，射频性能测试内容包括射频发射机性能及射频接收机两大部分，考察终端对 4/5G、蓝牙、UWB、Wi-Fi 等室内定位信号的测量能力、接收灵敏度、发射功率、解调能力、频率偏移等射频指标。如图 4.2-8 所示，是对终端误差向量幅度（EVM）的测试结果示意图。

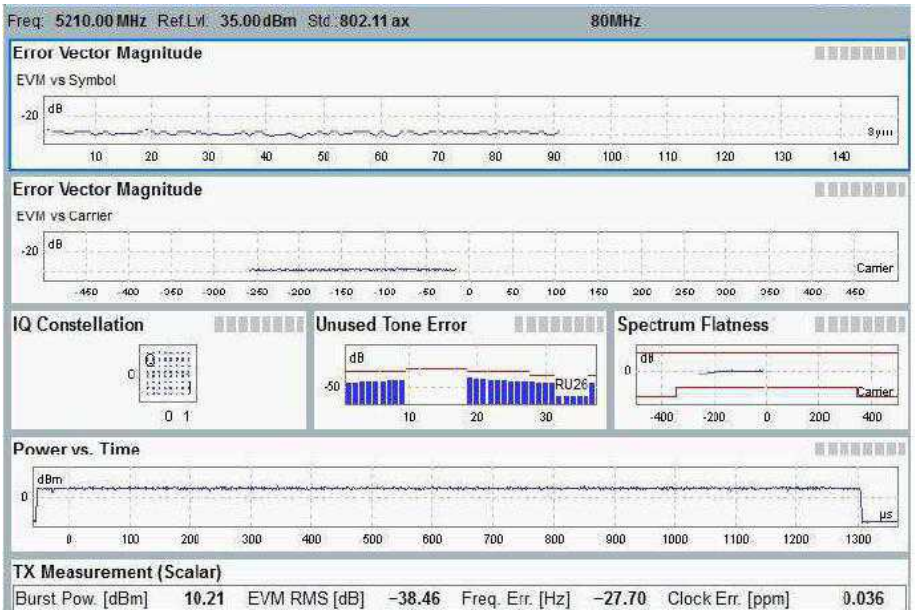


图 4.2-8 射频性能测试结果示意图

如图 4.2-9 所示，终端射频测试通常借助测试仪表，由测试仪表模拟定位基站，和被测终端进行通讯并对终端射频信号进行分析。目前 4/5G、Wi-Fi、蓝牙的射频测试方案较为成熟，相应的仪表产品较为丰富，罗德与施瓦茨、安立等仪表厂家均推出了商用产品，UWB 射频测试系统仍在开发中。



图 4.2-9 射频测试系统示意图

5 室内定位网与室内通信网融合策略

5.1 室内定位网与室内通信网融合方式

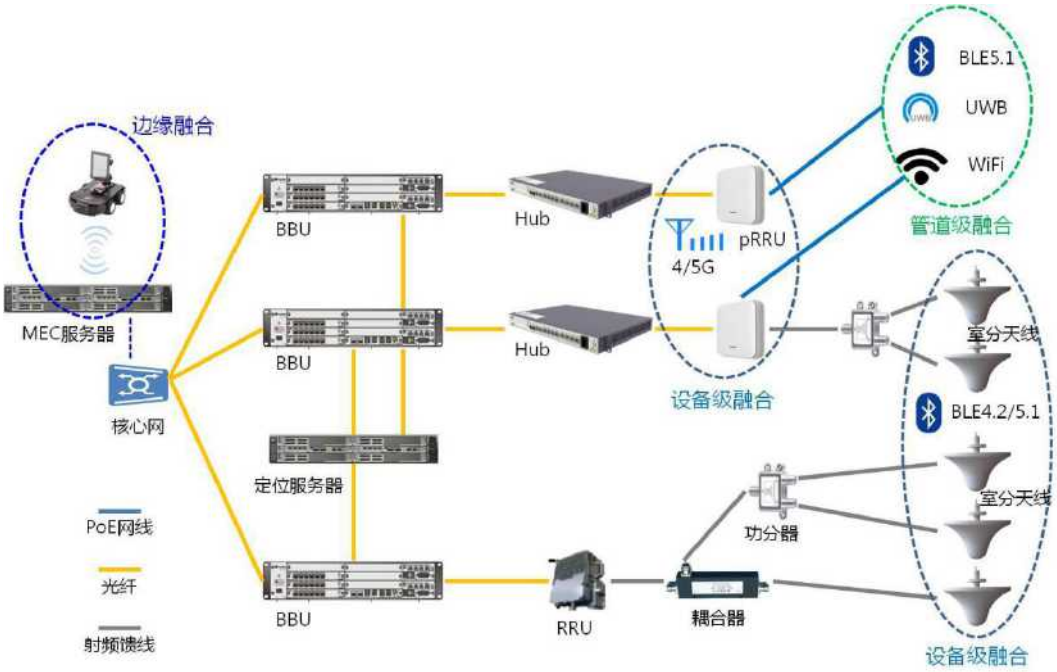


图 5.1-1 室内定位网与室内通信网融合方式示意图

- **4/5G 定位技术**

4/5G 室内定位技术与室内通信网络通过室内皮基站设备相融合，皮基站设备既承担了发送 4/5G 信号的功能，同时也承担了定位功能，4/5G 定位技术与通信网络具备天然的融合优势。

- **蓝牙 4.2 定位技术**

供电：蓝牙定位信标与无源室分天线实现一体化集成，蓝牙信标发射的定位参考信号耦合到室分天线振子内并发射出去。蓝牙网关接入到室内通信网络中，一方面通过功分器/耦合器为室分天线内部集成的蓝牙信标供电，另一方面时刻监控蓝牙信标的工作状态。

管理控制：蓝牙信标通过不断发送携带自身 MAC 地址的广播信息给终端实现精准定位服务，为了避免该广播信息被盗用，蓝牙网关

会定期修改室分天线内部蓝牙信标的 MAC 地址，同时服务器下发信息实现对蓝牙信标、蓝牙网关的管理控制。

信号传输：蓝牙信号数据通过 BBU、核心网将数据回传至服务器。

数据处理：实现蓝牙室分天线管理及配置、定位坐标计算以及定位能力输出能力，实现蓝牙室内定位应用。

- **蓝牙 5.1/UWB/Wi-Fi 定位技术**

供电：通过皮基站的 PoE 接口对蓝牙 5.1/UWB/Wi-Fi 设备进行直流供电和参数配置。

信号传输：依托于通信网络的数据传输优势，蓝牙 5.1/UWB/Wi-Fi 采集的数据通过 BBU、核心网传输至其业务平台进行处理。

这种融合方式一方面帮助运营商有效地拓展了室内数据采集范畴，另一方面也解决了蓝牙 5.1/UWB/Wi-Fi 设备在设备供电、信号传输及物业施工方面的痛点，将蓝牙 5.1/UWB/Wi-Fi 设备与通信皮基站一同入场施工安装，节省了设备的施工成本。

- **vSLAM 定位技术**

vSLAM 是移动机器人诸多导航应用中复用移动蜂窝网络资源与边缘计算处理资源的一种方法，但是由于其运算复杂，单台移动机器人本身难以很好支持，因此使得该导航方式商用缓慢。为解决移动机器人的网络可靠性问题，可将移动机器人的高级导航算法上升到边缘服务器，通过强大的边缘服务器进行 vSLAM 位置解算，而移动机器人本体只需要进行惯性导航和避障即可，这样不但大幅降低了移动机器人应用成本，也提升了移动机器人的场景理解力和应用可靠性，使得移动机器人可提供更为完善和智能的服务。vSLAM 定位不涉及室内定位网络，仅仅是通过移动通信网络传输定位数据。

综合以上不同定位技术与通信网络的融合方式，可以把不同定位技术和通信网的融合方式分为设备级融合、管道级融合和边缘级融合三种方式：

设备级融合：定位设备的供电、管理控制、信号传输、数据处理全部与通信网络设备紧耦合。

管道级融合：定位设备的供电与信号传输借助室内通信网络，而定位基站的管控与数据处理则不依赖于通信网络。

边缘级融合：复用移动蜂窝网络资源与边缘计算处理器。

5.2 室内定位网与室内通信网融合的意义

对于定位网络而言，从设备安装供电、控制维护、数据上传、服务器部署等一系列问题都是室内定位网络发展面临的挑战。而室内通信网络有大量远端设备的布设，天然为定位网络的数据回传提供了数据通道和供电网络，且室内定位技术如蓝牙、Wi-Fi、UWB 和 5G 室分皮基站布设密度接近 1:1~4:1，这为室内定位信标提供了合并安装、合并回传的绝佳条件。大幅降低部署成本，也能够实现一网两用，即“一张 5G 数据网”+“一张室内定位网”。

对于通信网络而言，通信网络包含设备侧、传输侧、网络侧等一整套的通信设备，基础设施完备，若将定位网络与通信网络相融合，复用通信网络的基础设施架构，可以提高通信网络设备的使用效率，为运营商提高收入。

5.3 应用场景

下表总结了六种室内应用场景的定位方式，考虑了不同业务需求和不同定位技术特点。

定位方式	定位特点	智慧博物馆		智慧医院		智慧园区			智慧商超		智慧工厂		智慧停车场	
		游客	展品	资产	人员	资产	人员	无人车	仓储	人员	资产	人员	寻车	自动泊车

5G	定位精度高(分米级)，定位时延低(<10ms)，同时支持室内、外定位							√			√			√
4G	定位精度低（米级），同时支持室内、外定位	√	√	√	√	√	√		√	√		√	√	
蓝牙4.2	定位精度低（米级），设备成本低	√	√	√	√	√	√		√	√		√	√	
蓝牙5.1	定位精度高（厘米级）		√	√		√		√	√		√			√
Wi-Fi	定位精度低(米级)，设备成本低	√	√	√	√	√	√		√	√		√	√	
UWB	定位精度高(厘米级)，稳定性强							√			√			√
vSLAM	通过视觉摄像头实现机器人空间观测和定位的实时导航技术							√			√			√

为了提高室内定位网络覆盖率，室内定位技术建议采用蓝牙技术。一方面是由于目前智能手机均支持蓝牙模块，另一方面，是由于蓝牙信标体积小、成本低、功耗低，可将蓝牙 4.2 或 5.1 定位信标与无源室分天线实现一体化集成，随着 5G 室内通信网络的建设，同步完成室内定位网络建设。

6 室内定位网络平台

6.1 室内定位网络系统架构

室内定位平台可以作为独立的网络系统部署到生产环境中，同时5G时代的到来，室内分布系统方案中可以融合室内定位网络系统，在为用户提供5G室内无线覆盖的同时，也可以为用户提供高精度的室内定位网络系统。同时，室内定位业务平台（第三方）基于各种通信技术实现面向室内定位业务的平台应用，为用户提供高精度的室内定位应用。

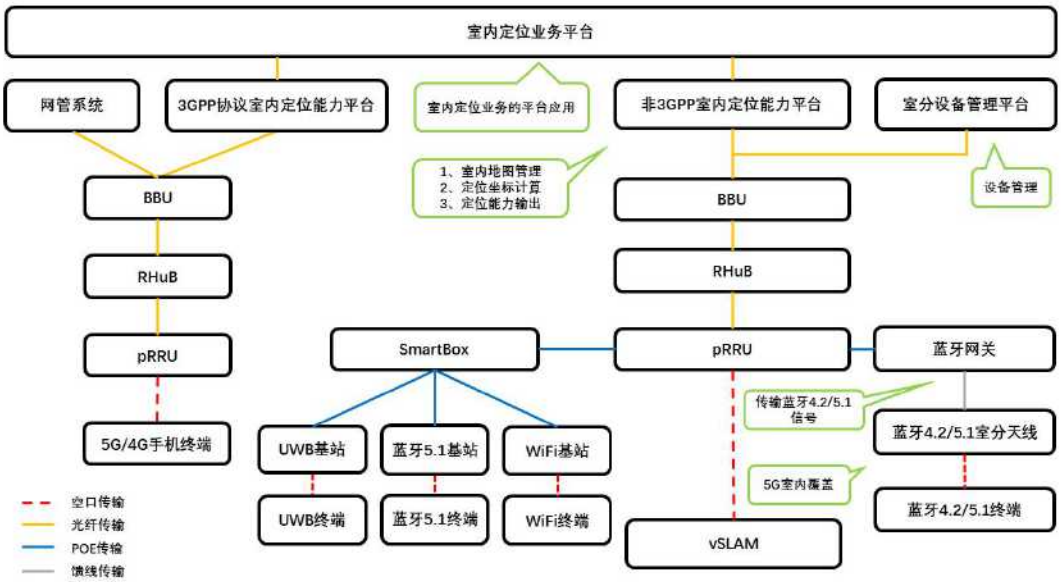


图 6.1-1 室内定位网络系统架构示意图

- **5G/4G 定位技术接入方案**

该方案利用5G/4G有源室分在网络端接收移动终端发送信号，并进行位置计算。其定位过程是由多个通信基站同时检测移动终端发射的信号，将各接收信号携带与移动终端位置有关的特征信息送到信息处理中心，计算出移动终端的位置。

- **蓝牙 4.2 定位技术接入方案**

蓝牙4.2信标集成在移动室分天线中，蓝牙广播信号通过天线阵子辐射出去，终端收到蓝牙信号后根据定位算法解算出自身位置。蓝牙参数上传及数据传输通过蓝牙网关、pRRU和BBU上传至定位能力平台及设备管理平台，采用三角定位或指纹定位算法实现位置解算。

- **蓝牙 5.1/UWB/Wifi 接入方案**

5G+蓝牙5.1/UWB/WiFi融合定位方案将5G室内覆盖网络和基于泛在无线技术的室内定位网络相互融合，为运营商提供了差异化的室内定位解决方案。定位数据可以通过Smart Box接入pRRU，通过BBU上传至定位能力平台及设备管理平台，采用蓝牙5.1/UWB/WiFi的定位算法实现室内位置解算。

- **vSLAM 接入方案**

vSLAM视觉导航通过摄像机对周围环境进行图像采集，利用5G/4G蜂窝网络将信息回传至运营商的移动通信网络，最终上传至室内定位能力平台完成自身位置解算和路径识别，并做出导航决策。

6.2 室内定位能力平台功能

室内定位能力平台主要实现定位坐标计算、室内地图管理以及定位能力输出，实现与设备管理平台和室内定位业务平台接口相关的功能要求。

定位坐标计算功能：用于计算用户的定位坐标，主要计算方法支持三角定位、指纹定位、TOA、UTDOA、OTDOA、AoA和AoD等算法；

室内地图管理功能：具备对所管理区域的设备安装设计图的管理功能，能够上传和下载该区域的设备安装设计图；

室内定位能力平台给室内定位业务平台输出定位能力：该接口用于当室内定位能力平台完成定位计算后，将定位计算结果的坐标输出给室内定位业务平台，以便室内定位业务平台完成后续的各种业务逻辑。该部分接口功能主要有：

1. 室内定位能力平台可以向室内定位业务平台输出设备所在楼栋信息、楼层信息；
2. 在上行定位中，室内定位能力平台能力给定位业务平台输出定位计算结果坐标数据；
3. 在下行定位中，室内定位能力平台能够接收室内定位业务平台传递过来的定位请求，然后进行定位坐标计算，定位完成后将定位结果返回给定位业务平台。

6.3 设备管理平台功能

设备管理平台主要实现对设备的管理、状态监控和故障分析等功能，实现与室内定位能力平台的通信。对设备的管理是设备管理平台的一个重要功能，也是定位坐标计算的数据源，所以室内定位能力平台需要具备对设备基站的管理功能，需要标注管理每个设备的标识、安装坐标点、安装楼栋、安装楼层、发射功率等各个参数，并与室内定位能力平台实现参数及状态交互。同时，设备管理平台可实现对定位设备的状态监控，当设备出现故障时，在管理平台可实时呈现报警，并且设备管理平台可根据上报信息，分析具体故障环节。

7 展望

本研究报告详细介绍了相对成熟的室内定位技术，包括 5G、4G、蓝牙 4.2、蓝牙 5.1、Wi-Fi、UWB 和 vSLAM，并且上述技术可以通过不同融合方案与室内通信网络相互融合。目前业界也在针对 RFID、Li-Fi 和毫米波基站等定位技术开展研究，其各有优劣势，未来也可能与室内通信网络相互融合，提供室内定位服务能力。

- **RFID 定位技术**

RFID 定位通过一组固定的阅读器读取目标 RFID 标签的特征信息（包括 ID 信号和接收信号场强 RSSI），通过三角定位原理或指纹库定位原理计算出 RFID 标签位置。其优势在于：1）成本低廉，RFID 标签价格非常低廉；2）环境适应性好，可以非视距传播。其劣势在于：1）RFID 信号覆盖距离较小，不利于大规模部署；2）不适合 To C 业务，无法兼容智能手机。未来如果可以将 RFID 读卡器与室内通信网络相结合，可以部分降低大规模部署成本。

- **Li-Fi 定位技术**

Li-Fi 通信技术通过对每个 LED 灯进行编码，以 LED 灯的开和关表示“1”和“0”信息，将通信数据通过 LED 灯发送出去，再通过手机摄像头来识别出来通信数据。Li-Fi 定位技术通过灯光到达角度和光强度来实现定位功能。其优势在于：1）复用现有设备，Li-Fi 通信和 LED 灯照明完美结合在一起；2）定位设备普及率高，所有智能手机都可通过摄像头支持 Li-Fi 定位。其劣势在于：1）容易受到周围环境影响，Li-Fi 技术无法应用于光线较亮的场景；2）终端功耗较大，由于需通过摄像头进行 Li-Fi 数据解析，其造成终端耗电量较大。由于运营商部分室内基站出于美化考虑，通常会美化为照明灯具，可以在此基础上集成 Li-Fi 定位技术，实现通信基站与 Li-Fi 定位设备相互融合。

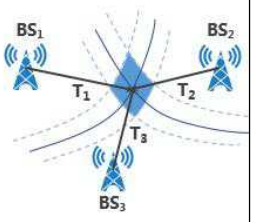
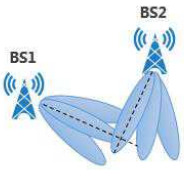
- **毫米波定位技术**

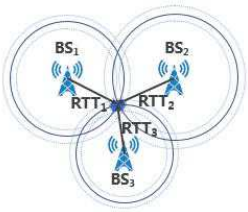
运营商 5G 频段包括 Sub-6G 和毫米波，根据《中华人民共和国无线电频率划分规定》，我国初步确定 24.75-27.5GHz 和 37-42.5GHz 为我国的 5G 高频候选频段。由于工作频段升高，毫米波室内基站形态相比 Sub-6G 室内基站发生了较大改变，从全向天线改为阵列天线，通过引入波束赋形技术提高了毫米波信号覆盖能力。

由于毫米波室内基站发送窄波束，因此毫米波终端很难同时收到三个定位基站的信号，传统的三角定位原理和指纹定位原理不再适用，只能通过类似蓝牙 5.1 的单基站二维定位技术实现定位。即通过毫米波室内基站天线阵列获得到达角度，通过接收信号场强计算距离，进而得出毫米波终端位置信息。由于毫米波定位技术基于毫米波基站实现，可以充分利用运营商建设 5G 毫米波室内基站实现局部区域室内定位网络部署。

附录 A

表 1：5G 基站定位技术原理及优缺点

定位技术		定位原理		优缺点
基于下行的定位技术	DL-TDOA	• 终端测量两个基站发送的下行定位参考信号到达时间差； • 利用至少三个基站测量得到的时间差确定两条双曲线，其交点即为终端位置		优点：下行定位参考信号可以配置更大的带宽，定位精度较高 缺点：要求基站间严格同步；需要终端支持高精度的测量和上报
	DL-AoD	• 基站发送多个下行定位参考信号波束，终端测量 RSRP； • 利用至少两个基站测得的波束方向，其交点即为终端位置		目前标准中支持的 DL-AoD 仅能利用 RSRP 判断终端的波束信息，颗粒度较粗，定位性能受限
基于上行的定位技术	UL-TDOA	原理与 DL-TDOA 相同，为终端发送上行定位参考信号，至少三个基站测量到达时间差		优点：仅需终端支持上行参考信号发送即可实现定位，实现复杂度低； 缺点：要求基站间严格同步；受限于终端上行资源和发送功率，会影响定位精度
	UL-AoA	原理与 DL-AoD 类似，为终端发送上行定位参考信号，至少三个基站测量上行到达角		优点：仅需终端支持上行参考信号发送即可实现定位，实现复杂度低； 缺点：依赖较高的天线阵子数；对多径敏感
上下行结合的定位技	E-CID	• 终端测量基站发送的下行定位参考信号的 RSRP/RSRQ；或者，基站与终端互发参考信号测量 Rx-Tx 时间差以得到 round trip time，确定终端所在的圆 • 结合 DL-AoD 或		优点：仅靠单站即可完成定位，不受基站间同步精度的影响； 缺点：若采用基于 RSRP/RSRQ 的距离确定方案，定位精度受限；需要同时配置上下行参考信号

术		UL-AoA 得到的角度信息，其与圆的交点即为终端位置		
	Multi-RTT	终端与至少三个基站互发参考信号，测量 Rx-Tx 时间差以得到 round trip time，三个圆的交点即为终端位置		优点：不受基站间同步精度的影响； 缺点：需要同时配置上下行参考信号

参考文献

[1]. 2020 年 1—2 月通信业经济运行情况，工信部，2020.

[2]. Indoor Location Market by Component (Technology, Software Tools, and Services), Deployment Mode (Cloud, and On-premises), Application, Vertical (Transportation, Hospitality, Entertainment, Retail, and Public Buildings), and Region - Global Forecast to2022[R],MarketAndMarket,2020.

[3]. The Rise of Indoor Positioning[R], IndoorAtlas,2016.

[4]. 国家文物局数据：http://www.sach.gov.cn/col/col2236/index.html.

[5]. 华经产业研究院：http://www.cnhjsd.com/html/research/.

[6]. 国家统计局：http://www.stats.gov.cn/tjsj/.

[7]. 新闻：https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/190410-0467d3cc.html.

[8]. 2017 中国智慧停车行业大数据报告

[9]. Web 开发网：http://www.cncms.com.cn/things/20190624/06246340.html.

[10]. 欧阳俊,陈诗军,黄晓明,等. 面向 5G 移动通信网的高精度定位技术分析[J]. 移动通信, 43(9): 13-17.2019.

[11]. 张欣旺，董佳等.通信·导航·物联一体化 5G 室内通信网络.电信科学，第 8 期，2019.