



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴  
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

# 中国联通 5G 智能室内数字化定位 技术白皮书

中国联通  
2019 年 11 月

# 目录

1	引言 .....	1
1.1	背景 .....	1
1.2	室内定位发展愿景 .....	1
2	室内定位现状及挑战 .....	3
2.1	室内定位场景分析 .....	3
2.2	室内定位技术现状 .....	4
2.3	室内定位系统面临的挑战 .....	6
3	智能室内数字化定位能力需求 .....	8
3.1	精确定位 .....	8
3.2	便捷规划 .....	9
3.3	智能管理 .....	9
3.4	开放交互 .....	10
4	智能定位实现方案 .....	11
4.1	定位平台架构 .....	11
4.2	定位平台特性 .....	14
5	总结与展望 .....	15

# 1 引言

## 1.1 背景

随着通信技术的演进和用户行为习惯的改变，室内成为移动数据业务量新的增长点，机构预测，5G 时代室内网络将承担全部业务量的 80%以上。未来，如何为室内用户提供更优质而完善的网络应用，将成为运营商的核心竞争力之一。

伴随着 5G 网络建设，业务种类持续增加，行业边界不断扩展，如何与行业伙伴合作，为移动用户提供更便捷丰富的线上应用是运营商面临的重要议题。人工智能和物联网技术发展，促使基于位置服务(LBS)的行业应用，如室内导航、智慧商业、智能停车、智能办公、智慧仓储等增值业务需求迅速增长。结合运营商网络建设与室内定位技术、智能网络管理的室内综合应用，为运营商网络增值服务提供了切入点。

国外科技巨头纷纷看好室内定位前景，早在 2015 年 Facebook 就开始向企业免费发送蓝牙信标数据用于定位营销。谷歌也在 2017 年推出了与广告服务一起使用的访问者推动通知功能。我国政府也十分重视室内定位技术的发展和业务应用，科技部、工信部等部委下发多项指导政策，提出要大力推动室内定位系统发展的要求。2012 年科技部印发的《导航与位置服务科技发展“十二五”专项规划》中，明确指出要推动室内定位技术发展；2013 年，科技部和国家遥感中心等联合发布的《室内外高精度定位导航白皮书》中力推室内外精确定位系统实施，在大众位置服务、紧急救援等场合开展示范应用，并希望在 2020 年前在一百座城市完成部署，惠及一亿名用户。

通信运营商具有优秀的网络规划建设能力、丰富的建设管理经验，先进的网络管理手段，势必成为推进室内定位技术研发，定位基础设施建设，定位增值服务推广的中坚力量。

## 1.2 室内定位发展愿景

个人消费领域，随着移动互联网技术发展和自媒体等新应用形态的普及，用户对于个性化、定制化服务的需求不断提升。大型商业区能够借助室内定位技术

为前来购物的消费者提供实时导引服务和个性化营销推广服务,为用户带来便利的同时,挖掘营销潜力,优化品牌规划,提升效益。

公共服务领域,机场、停车场、交通枢纽等场所通过为用户提供导航和线路规划,科学引导分流车辆、人群,保障运营安全、提升运营效率。医院、养老院内可建立对需要特殊护理的病患实时定位监控系统,防止意外发生;同时可与物联网技术相结合,对医疗设备进行定位,方便管理及快速调配。在救灾方面,通过建筑物内定位信息,合理安排救援路线,提升救援效率。

工业领域,利用位置信息和自动控制技术实现智能仓储管理、生产过程追踪、自动货物搬运、自动加工、自动巡检,推进工业转型升级,达到降本增效目的。对于具有危险性的工厂,还需要对人员进行定位管理,预防安全生产责任事故的发生。

可以说,室内定位在零售、餐饮、物流、制造、化工、电力、医疗等行业均展现出了广阔的市场前景。行业咨询公司估计,至 2022 年,室内定位的总市场规模将超过 400 亿美元。



图1 室内定位应用场景

注:图 1 来自于 CCSA 基于移动网络的高精度定位技术研究报告

## 2 室内定位现状及挑战

### 2.1 室内定位场景分析

室内定位目标场景按照需求方的不同可以分为面向个人用户定位场景和面向行业用户定位场景两大类。

面向个人用户定位需求，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。来自谷歌的市场调研指出，消费者在购物过程中渴望了解更多有关商品的信息，并享受个性化服务。但事实上，有三分之二的消费者无法在实体店找到想要购买的商品，43%的人会失望离开店铺；另外有超过 71%的消费者认为在网上搜寻相关商品信息，会比店内找寻更方便。因此，线上线下融合呈现商品信息的功能，已成为消费者购物体验中至关重要的一环。

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，帮助商场实现线上线下引流，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。



图3 商业区应用示例

此外，医院、会展中心、政务中心、大型图书馆、园区等室内场景也有明确的定位导航和基于位置信息的精准推送需求。

面向行业用户的定位场景中，工厂园区是定位需求最多的场景。现代化工厂对产品生产流程管控的要求越来越高，工厂自动化水平也逐步提高，而精确的位置信息是生产组织信息化、自动化的前提条件。通过精确地定位生产资料、物流配送车辆、在岗工人、自动化设备位置，并实时传送至集中监控管理平台，可以

帮助工厂全面精准掌握每个生产环节，实现人财物协同调度，及时处理异常。



图4 工厂应用示例

室内精准定位在公共服务方面也有丰富的应用。在交通枢纽、大型活动或体育赛事等场景下，通过室内精准定位进行人员引导，疏散路径规划，结合电子围栏技术进行场地管控等。在紧急情况救援方面，火灾、化工厂事故等救援现场往往存在视线受损或内部情况不明。在不掌握室内情况的条件下进行救援，既不利于解救被困人员，也不利于对搜救人员的保护。精确的人员、物资定位信息，可以帮助指挥员科学制定搜救方案，提升救援效率和成功率。

## 2.2 室内定位技术现状

室内定位方法众多，较常见的室内定位方法主要包括：基于移动通信网定位技术、基于 Wi-Fi 的定位技术、基于蓝牙的定位技术、基于超宽带定位技术、基于射频识别 (RFID) 的定位技术、基于超声波定位技术等。

### 1) 移动通信网定位技术

室内分布系统网络主要分为传统的 DAS 系统和数字化室分系统两类。传统 DAS 系统由于终端天线为无源器件，系统仅可以定位到小区级别，不能满足室内定位需求。而数字化室分系统定位能力由微 RRU 部署密度决定，其定位原理和卫星定位技术原理类似，采用三点定位技术。目前常见的定位信号有三类：RSSI 信号场强、到达时间差 (TDOA)、到达角度差 (AOA)。数字化室分系统定位，终端无需通过改造即可接入，无其他成本。

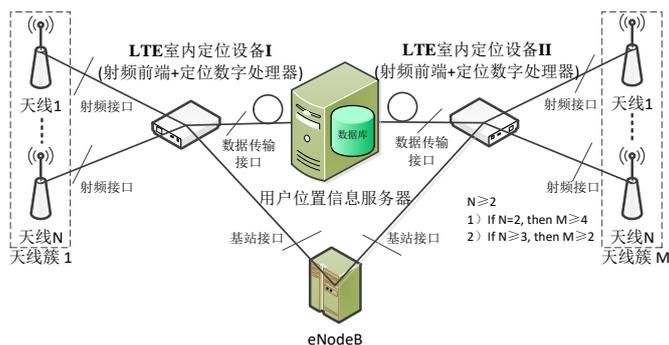


图5 室内分布系统定位结构

## 2) Wi-Fi 技术

通过 WLAN 可实现复杂环境中的定位、监测和追踪任务。它以无线接入点的位置信息为基础，采用经验测试和信号传播模型相结合的方式，对已接入的移动设备位置进行定位，最高精确度为米级。Wi-Fi 接入点通常覆盖半径较小，而且很容易受到其他信号的干扰，从而影响其精度，定位器的能耗也较高。Wi-Fi 可以随室内分布系统一起建设，现有用户终端均支持接入。

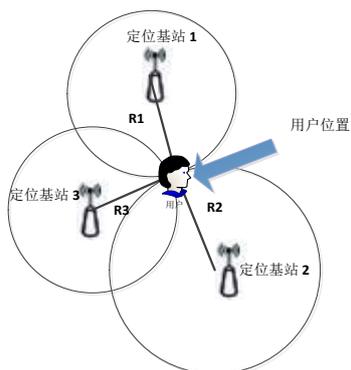


图6 Wi-Fi 三点定位示意图

## 3) 蓝牙技术

蓝牙是一种短距离低功耗的无线传输技术，在室内安装适当的蓝牙局域网接入点后，通过检测信号强度就可以获得用户的位置信息。蓝牙定位包括基于指纹的定位法和直接定位法两种。直接三点定位受信号衰减和多径效应影响较大，定位精度不高。指纹法构建一个指纹库，将位置信息的一种或多种特征（如 RSSI）作为指纹，定位时通过检测获得的特征值与指纹库中的特征匹配，获得位置信息。指纹法定位精度与指纹库丰富程度相关。蓝牙定位主要应用于小范围定位，只要终端设备的蓝牙功能开启，室内定位系统就能够对其进行位置判断。

## 4) 超宽带技术

超宽带定位技术通过发送和接收具有纳秒或纳秒级以下的极窄脉冲进行定位，定位精度高，可达到厘米级。与传统的窄带系统相比，具有穿透力强、功耗低、抗多径效果好、安全性高、能够提高精确定位精度等优点，通常用于室内移动物体的定位跟踪或导航。超宽带定位需要建设专有网络和专用定位终端，定位精度与发射接收脉冲的基站数量和位置有关，建设成本高。

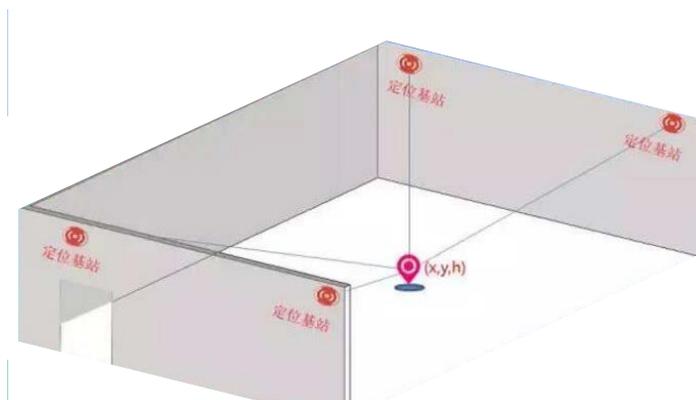


图7 超宽带定位示意

#### 5) 射频识别技术

射频识别（RFID）定位技术，设置固定位置标签，阅读器利用射频方式进行非接触式数据交换，实现移动设备识别和定位的目的。RFID 定位精度高，可达分米级，同时时延短、传输范围大、成本较低。但是 RFID 定位技术有一定的局限性，如 RFID 必须建设专有网络，不便于整合到移动设备之中，作用距离最长为几十米，通常只有几米，用户的安全隐私保护性差等。

#### 6) 超声波技术

超声波定位原理是通过发射超声波并接收由被测物产生的回波，根据回波与发射波的时间差计算出两者之间的距离，并通过三点定位等算法确定物体的位置。超声波定位整体定位精度较高、系统结构简单，但容易受多径效应和非视距传播的影响，降低定位精度，同时，它还需要大量的底层硬件设备投资，总体成本较高。

### 2.3 室内定位系统面临的挑战

不同于 GPS 定位或基站定位等室外定位技术拥有比较成熟的技术方案、标准和应用场景，室内定位技术发展相对缓慢，行业缺乏统一的技术标准，各企业采

用私有的技术方案，产品性能参差不齐。此外，由于室内的结构复杂多样，对定位系统设计规划的精细化程度要求更高。目前，室内定位主要面临以下几个方面的问题：

### 1) 定位精度

更高的定位精度是室内定位一直不断追求的目标，更多的细分场景应用也对定位精度提出了更高的要求，如商场个性化营销和导航服务需要米级的定位精度，而智能制造、智能仓储场景需要亚米级，甚至厘米级的定位精度。

### 2) 可靠性

室内定位技术存在一定的定位误差，且定位技术本身不具备对误差进行修正的能力，定位系统设计建设过程中还可能引入新的误差，将严重影响定位的可靠性。同时，室内环境动态性很强，内部结构可能会发生改变，定位设备也有故障的可能性，还可能会受到不同程度的干扰，这些因素都会对室内定位的可靠性产生影响。

### 3) 成本和复杂度

定位系统成本包含两部分，一是定位终端的成本，如超宽带定位、射频识别定位技术，需要专用的终端进行定位，成本较高。而 Wi-Fi、蓝牙、室分系统定位方法普通终端均可以支持，成本相对较低。二是定位系统建设和维护的成本，包括软硬件产品、建设费用、维护费用，以及功耗等。尤其对使用电池的硬件设备，功耗是使用成本中一项重要指标。

系统复杂度与定位需求密切相关，为了满足特定的精度要求，需要建设专用的定位网络，结合多种定位技术设计复杂定位算法，部署更密集的定位终端设备，这些措施将明显提高系统的复杂度。

### 4) 可扩展性

如何将位置信息的价值最大化是定位技术一直面临的重要问题，位置信息只有和用户需求相结合才能发挥其价值。这就需要定位系统具备与应用相结合的能力，并可以方便地移植到不同的环境中。

### 3 智能室内数字化定位能力需求

针对定位系统面临的各项挑战，智能室内数字化定位系统需要具备精确定位、便捷规划、智能管理、开放交互的能力，以满足设计建设、应用、维护的多样性要求。

#### 3.1 精确定位

为达到精确定位，需要从三个层面提升定位性能：合理的定位技术设计保证基本定位能力；融合多重定位技术进一步提升定位精度；自适应定位算法修正，保证定位算法性能的稳定性。

不同应用场景下，对定位精度的要求有所不同。超市、仓储物流、展馆讲解等场景，需要亚米级的定位能力。而室内导航、个人商业娱乐、位置监控等应用，米级定位精度完全可以满足需求。而不同定位技术能达到的定位精度也有差异，数字化室分定位、Wi-Fi 定位、蓝牙定位精度相对低，超宽带定位、射频识别(RFID)定位和超声波定位，相对精度也较高。因此，在定位系统实际建设中，选用合适的定位技术是确保定位性能的基础条件。

表 1 常见定位技术比较

定位技术	数字化室分	Wi-Fi	蓝牙	超宽带	RFID	超声波
定位精度	米	米	米	分米	厘米	分米
覆盖范围	中	中	小	小	小	较大
抗干扰能力	强	强	差	强	差	差
成本	低	低	低	高	中	高

根据表 1 可以看到，仅使用一种定位手段，精度、覆盖范围、抗干扰能力有限，这需要通过多种技术联合定位，取长补短，有效的提高室内定位系统整体精度。可采用多种定位技术分别对已知的位置进行定位测量，以测量结果与已知位置的误差作为对每种定位技术可信度的衡量，结合机器学习技术设计智能定位融合算法，最终获得位置信息的最优解。

由于室内传播环境相对复杂，对于采用位置指纹方式的定位技术而言，离线构建指纹库采集的信息有限，影响定位精度。因此，需要指纹库在使用过程中不断进行自我完善，提升定位精度。非指纹定位也可采用智能算法结合定位数据，

对参数进行自适应调整，达到更精确定位性能。此外，室内结构可能发生不可控的变化，对定位精度产生严重影响。通过引入监控反馈和校正机制，结合历史数据分析，自适应调整定位算法，保障定位系统实时处于可用、可靠的状态。

## 3.2 便捷规划

室内定位系统性能与采用的定位技术和系统设计方案密切相关，规划时需要根据建筑物的结构、定位精度、建设成本等多方面因素，选择合适的定位技术，设计合理的网络结构。此外，对室内结构频繁调整或定位需求变化的场景，如商超、会展中心等，还面临对已建系统进行维护和升级改造的问题。

在实际建设中，仅凭借设计施工人员经验进行定位系统规划设计，定位精度和可靠性均无法得到保障。采用自动规划思路，根据定位精度要求、场景信息、成本和系统复杂度的要求等信息建立数据库，自主设计定位方案，叠加利用理论计算、大数据分析、仿真分析等多种技术，进行自动规划、自动调整。并形成定位监测和反馈机制，优化自动规划模型，提升输出方案的准确性。

## 3.3 智能管理

智能管理应包括硬件设备管理和定位算法管理两方面，保障定位系统位置信息精确、安全可靠，易于维护。

硬件设备和基础信息管理。硬件设备是定位系统提供服务的基础，硬件设备数量多，环境复杂，和室内结构变化密切相关，定位可靠性易受影响。这就需要对定位系统的硬件设备进行实时管控，对可能出现的故障进行排查，对室内环境发生的变化及时更新处理，确保位置信息的准确性。

定位算法管理。定位算法管理包括对各定位算法校正和多种定位融合算法优化两部分，以提升定位精度。算法优化通过设立监督机制，根据定位结果对定位算法参数进行自适应校正。融合定位算法结合大数据、人工智能理论设计，周期性检测定位误差并根据误差对融合算法中不同定位技术的权值进行修正，提高定位能力。

### 3.4 开放交互

对于应用提供商，为客户提供精准化、个性化的服务是进一步提升服务能力的关键。如大型商场、医院、行政中心等自建的信息系统，以线上信息发布为主，与线下用户行为结合的能力不足。而用户实时位置信息正是沟通线上线下的桥梁，利用位置信息，可以实现精准营销，路径规划，人员监控引导等服务，提升效益和运营效率。

对于室内定位系统，其本身开发集成的应用功能有限，需要引入更多的服务内容，为如 MEC 平台、网络切片、第三方应用平台等提供接入和便捷的数据交互，满足室内用户的多元化业务需求，也丰富室内定位功能，实现运营商网络增值。开放交互还有助于吸引到更多的第三方开发者进入室内定位生态圈中，丰富系统应用形态，形成良性循环，促进产业更快更好发展。

## 4 智能定位实现方案

建立智能定位平台，对室内定位系统进行统一规划，统一管理，实现高精度、智能化、开放化的智能室内数字化定位系统构想。智能定位平台需要包括四个主要功能模块：数据采集层负责终端传回的位置信息数据的采集和从其他数据源收集建筑结构、定位需求等基础信息；智能定位处理中心负责分析定位需求，制定定位解决方案，对定位系统进行管理，处理监控、告警、安全等信息；系统应用层主要包含定位系统本身开发和集成的应用的呈现和管理；对外接口层用于处理与外部第三方应用交互的需求。平台结构图如下：

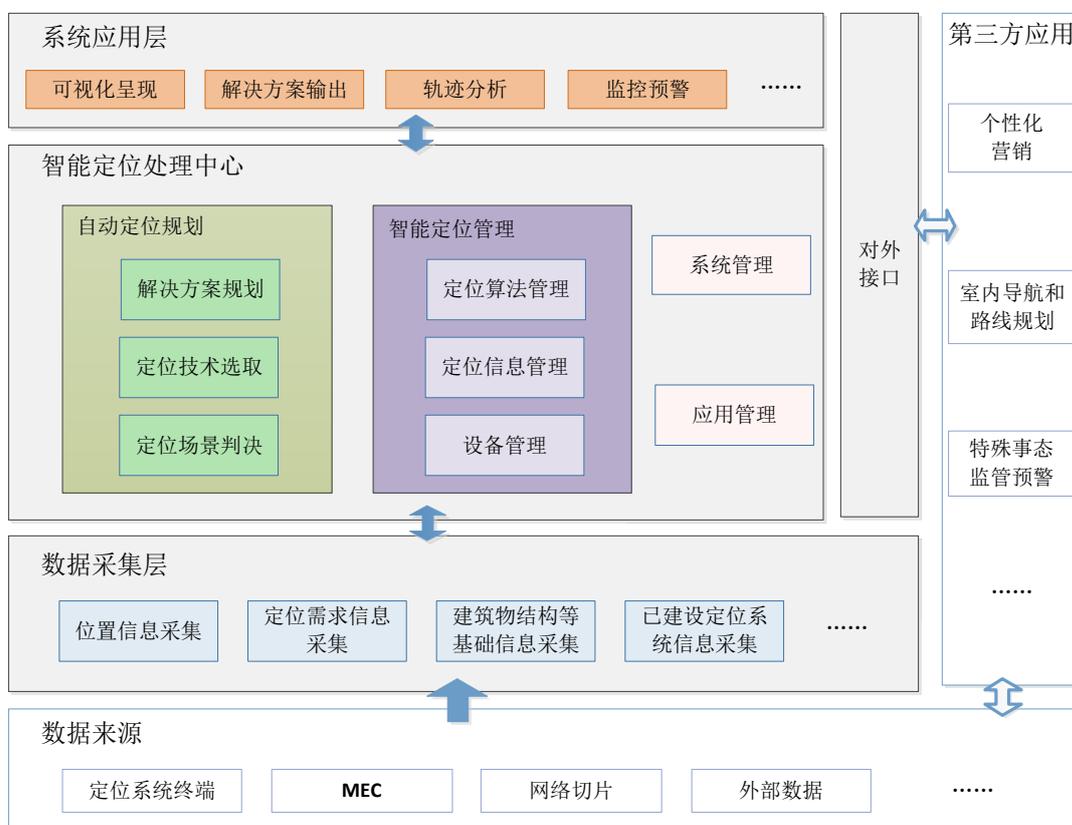


图8 智能定位平台结构

### 4.1 定位平台架构

#### 1) 数据采集层

数据采集层负责从多个数据源处采集数据信息。对已建成的定位系统，可从终端设备获得用于精确定位的信息，如果采用了多种定位技术，系统应读取全部

通用和专用定位网络数据。此外，还需收集网络结构、建筑物结构等信息，用于改扩建及与第三方应用的结合。对于新建定位系统需求，从网络切片、MEC、直接输入或其他需求方采集定位需求，定位场景的建筑物结构等基础信息，用于定位系统规划设计。

## 2) 智能定位处理中心

智能定位处理中心包括：自动定位规划、智能定位管理、系统管理、应用管理等模块。

自动定位规划为新建或改建定位系统制定解决方案。主要功能有：1、根据数据采集层获得的定位需求和基础信息，对需要建设的场景进行判决。这里的场景是指定位场景，由定位需求和室内结构映射成，用于选择合适的定位技术，制定方案。定位场景区分改造和新建两类。2、根据场景和精度要求决定采用的定位技术。定位技术可能是某一种也可能是多种技术相结合，如蓝牙、Wi-Fi 和室内分布系统定位，可以在同一套硬件系统中同时部署。3、综合考虑精度、覆盖、网元的数量和位置、成本、建设复杂度等因素，自主制定解决方案。

自动定位规划既可以“从无到有”生成一套室内定位系统方案，也可以对现有方案进行优化调整。对于已建成定位系统，但不满足定位需求或需求变化的情况，在场景判决阶段标识出优化需求，在定位技术选取阶段对其采用的定位技术进行评估，确定是否沿用原有的定位方式或采用其他更合适的定位方式。在规划阶段根据上述判决制定优化方案，可能包括采用原定位技术增加定位锚点，添加其他定位技术终端进行融合定位，新建能力更强的定位系统等。

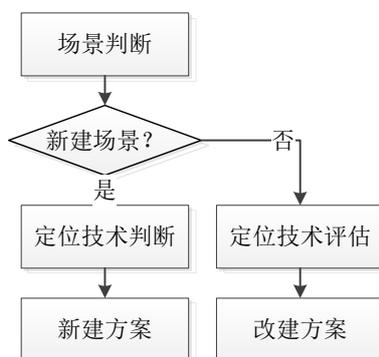


图9 自动定位规划流程示意

智能定位管理则面向已建成的定位系统，对其进行精细化管理。包括设备管理、位置信息管理、算法优化管理。定位系统中终端设备、标识数量多，有源无

源混杂容易发生故障或因建筑物结构的变化导致终端设备标识不可用。因此，需要对定位系统进行监管控制，对终端可能发生的位置形态变化进行预警和更新。

定位信息管理是定位信息处理的核心，从数据采集层获取的信息在这一模块进行处理，获得位置信息。由于定位系统可能采用了不止一项定位技术，位置信息管理包含了融合算法以处理联合定位问题。融合定位架构如图所示，采用不同定位技术分别测量，并进行位置估计，再进行融合估计，最终获得对于位置估计结果。

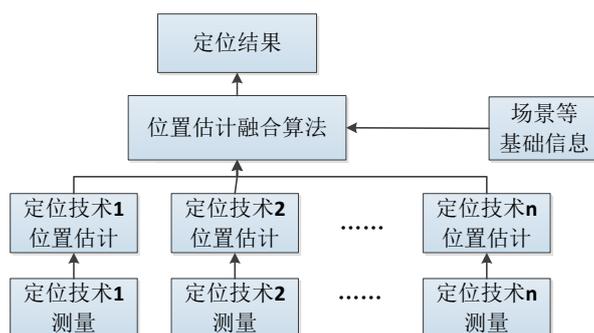


图10 融合定位架构

定位技术有一定的误差和局限性，因此需建立监测反馈机制，用于对定位算法进行管理和优化。优化包含对定位算法参数的优化和对于融合定位算法的优化，利用大数据等先进分析方法，不断提升定位的精确度和可靠性。

此外，智能定位处理中心还包含系统管理、应用管理等模块，保障系统稳定运行和信息安全。

### 3) 系统应用层

系统应用层主要是开发或集成基于位置信息的应用，包括但不限于解决方案输出、位置信息的可视化呈现，结合电子围栏等技术进行位置监控告警处理，对用户行为轨迹进行跟踪、分析、预测等功能。

### 4) 开放接口

定位平台提供开放接口，提供多种数据源接入和位置信息的输出，以实现与第三方应用的交互功能。开放接口需要负责管理第三方应用的接入请求，身份校验，权限检查，流量控制，行为监控，服务转发，返回结果等行为，保障系统安全和用户体验。

## 4.2 定位平台特性

### 1) 融合的高精度定位

智能定位平台从三个方面保证了定位精度和可靠性。首先，选合适的定位方法，定位平台根据精度要求和场景特点选择采用的定位技术。其次，采用融合多种定位技术的算法，提高定位精度。从规划建设层面即考虑多种定位技术融合，合理安排硬件布局，并配合融合算法，取长补短，提高定位精度。再次，设立位置信息优化机制，对已建成的定位系统性能进行监测，根据测试结果对定位算法的参数进行优化，确保算法合理有效。

### 2) 智能化规划和管理

室内定位系统面临两个问题：一个是如何建，一个是如何用。智能定位平台通过集成自动规划和智能管理两个模块解决这两个问题。自动规划模块，解决在只有定位需求和基础信息的情况下，如何从无到有，设计建设出合理、可靠的定位系统的问题；以及已建成系统需求变化或结构改变时的改建问题。智能管理模块则解决对于已建成的定位系统，如何用，如何管，如何进行优化，如何扩展和提供增值服务的问题。

### 3) 开放的平台

智能定位平台除从终端设备获取位置信息外，还提供数据接口，从网络切片、MEC 和其他外部数据源收集基础信息，与运营商网络和各类应用平台结合更紧密，也为更多智能化应用提供了条件。同时，平台开放外部接口，提供位置信息和规划方案的输出，可以为用户提供更加丰富和便捷的应用，形成良性循环，促进室内定位系统生态圈的发展。

## 5 总结与展望

随着技术发展，工商业信息化、智能化程度不断提高。室内位置信息，尤其是米级、亚米级的精确定位信息将为运营商移动网络增值，与物联网、工业 4.0 等领域企业的合作提供广阔的前景。但从室内定位的现状来看，在定位精度、覆盖、成本、可延展性等各方面仍然面临着巨大的问题和挑战。国际标准化组织也在加紧制定相关标准，3GPP 在 5G 定位相关标准化中引入了多种定位技术和安全机制，2016 年蓝牙联盟也推出蓝牙 5.0 技术规范，帮助室内定位性能进一步提升。

未来，融合化、智能化、开放化将成为室内定位的发展方向。中国联通在室内系统规划、建设、管理上拥有丰富的经验，结合大数据、人工智能、AR/VR 等先进技术，可以为个人用户带来更丰富便捷的应用体验，并与合作伙伴和行业用户一道深入挖掘业务增长潜力，实现互利共赢。