



5G 室内分布：数字化转型之道

5G Indoor Distribution System: the Way of Digitalized Transformation

徐法禄 /XU Falu

(中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202006010

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20201125.1725.004.html>

网络出版日期: 2020-11-26

收稿日期: 2020-08-16

摘要: 室内分布向数字化转型已经成为中国运营商的共识。针对运营商在 5G 室内建设过程中的痛点, 详细分析了两种主流 5G 室内分布方案: 5G 分布式天线系统 (DAS) 和 5G 数字室内分布。通过深入探讨每种方案的适用场景, 认为数字室分在 5G 室内分布领域拥有巨大的应用前景。最后展望了 5G 室内分布系统的演进。

关键词: 5G; 室内覆盖; 数字室分; DAS; 2.1 GHz 重耕

Abstract: The digitalized transformation for indoor coverage has become the general consensus of operators in China. According to the pain points of operators in the process of 5G indoor construction, two main solutions are analyzed in detail: 5G distributed antenna system (DAS) and 5G indoor digital system. Based on the discussion on the scenarios of each solution, it is considered that indoor digital system has a great application prospect in 5G indoor distribution field. Moreover, the evolution of 5G indoor distribution system is pointed out in the end.

Keywords: 5G; indoor coverage; indoor distribution system; DAS; 2.1 GHz refarming

1 5G 室内覆盖的需求和挑战

随着 5G 新基建的到来, 5G 建设进入了高峰期^[1-2]。其中, 室内覆盖是 5G 建设的重点: 据业界预测, 在 5G 时代约 85% 的应用将发生在室内场景。作为 5G 业务的主战场, 室内覆盖不仅是运营商的核心竞争力之一, 还是运营商管道增值的极佳切入点。室内覆盖有着自身独特的特点及需求, 具体包括:

(1) 业务类型多样化。

5G 室内业务包括移动互联网和移动物联网两大类。这两类业务可以进一步细分, 具体如表 1 所示^[3]。相应地, 多样化的 5G 室内业务具有差异化的指标需求, 这对网络能力提出了不同的要求。通常, 部署一套室内网络需要满足多样化的业务指标。

(2) 部署场景多样化。

室内部署场景具有多样化的特征: 既有交通枢纽、体育场馆、大型商场等空间开阔的高热场景, 又有高端酒店、写字楼、学校宿舍等多隔断的场景; 既有居民楼等普通场景, 又有地铁、隧道等特殊场景。因此, 室内覆盖的设备需要满足各种场景的需求, 并且具备易安装、方便部署的特点。

(3) 频谱带宽多样化。

截至目前, 通信技术已经发展到

第 5 代, 同时主流运营商存在“四世同堂”的情况: 拥有多个频段, 开通多种制式。以中国市场为例, 3 大电信运营商的频谱资源分布在各个频段。当前 5G 频谱资源分配如下:

- 中国电信和中国联通 (简称“电联”) 频谱分配: 3 300~3 600 MHz 共 300 MHz 的带宽。3 300~3 400 MHz 为电联与中国广电共享, 3 400~3 500 MHz 分配给电信, 3 500~3 600 MHz 分配给联通。对于电联而言, 5G 室分至少需

▼表 1 5G 室内典型业务分类

业务类型	业务细分	说明
移动互联网	消息类	5G 消息
	交互类	增强现实 (AR)、云桌面、在线游戏
	会话类	高清视频会议、虚拟现实 (VR)、全景直播
	传输类	云存储
移动物联网	流媒体类	4 K、8 K、8 K (3D)
	控制类	智能制造、远程医疗、智慧仓储等
	采集类	视频监控、智能家居、远程抄表等

要支持 200 MHz 的带宽（优选支持 300 MHz 的带宽）。

- 中国移动的频谱分配：包括在 2 515~2 675 MHz D 频段范围内共 160 MHz 的带宽，以及在 4.9 GHz 频段 4 800~4 960 MHz 共 160 MHz 的带宽。因此，中国移动的设备需要在 2.6 GHz 频段与 4.9 GHz 频段分别支持 160 MHz 的带宽。

具体到室内部署时，运营商需要考虑两种类型的设备：对于已经部署了 3G/4G 室分的建筑，只需要增加 5G 频段的室分部署，可采用 5G 单模的设备；对于新盖的建筑，以前没有部署过 3G/4G 室分，室内需要同时部署多个频段，可采用 3G/4G/5G 多模的设备。其中，后一种场景对设备与工程有更高的要求，即要求一套设备一次部署就可以满足需求。

（4）运营维护智能化。

信息通信技术（ICT）的融合已经成为潮流。5G 时代人工智能（AI）对网络赋能。运营技术（OT）与 ICT 的融合成为新的趋势。具体到室内覆盖时，需要具备可视化运维的能力：

- 端到端可监控：室内覆盖设备各级节点可监控，发生异常时会及时报警；

- 按建筑物管理：室内网络拓扑连接可视化，性能指标精细化；

- 能力开放：可提供各种应用程序接口（API）接口，开放给第三方定制各种运维功能。

（5）综合成本最优化。

5G 基建适度超前，新的业务模式还在不断探索中。在每用户平均收入（ARPU）值没有明显提升的背景下，先行建设的网络需要在满足市场需求的前提下做到成本最优：总体成本中的资本支出（CAPEX）包括设备成本、设计成本和施工成本，而运营成本（OPEX）包括运维人力成本和电费。

对于各种场景，运营商需要综合考虑场景价值和总拥有成本（TCO）选择最优的解决方案。

4G 时代的电费支出在运营商网络 OPEX 中占比较大。5G 带宽增加，使设备对应的功耗也有一定幅度的提升，因此需要引入智能化的节能手段使节能效果达到最优。

2 5G 室分方案

目前成熟的 5G 室分方案包括 5G 分布式天线系统（DAS）与 5G 数字室分。经过通信行业几十年的发展，运营商积累了庞大的存量 DAS 系统。利旧 DAS 完成室内 5G 覆盖是最经济的方案。而对于新建场景，数字室分则逐渐成为主流。下面我们将分别介绍这两种方案。

2.1 5G DAS

从 2G 时代开始，DAS 室分是室内覆盖建设的主流方案。DAS 具有产业链成熟、价格适中的特点，在 2G/3G 时代深受运营商的青睐。2G/3G 时代用户的业务以语音为主，同时有少量的数据业务。由于数据业务话务量不高，单路 DAS 就可以匹配用户的

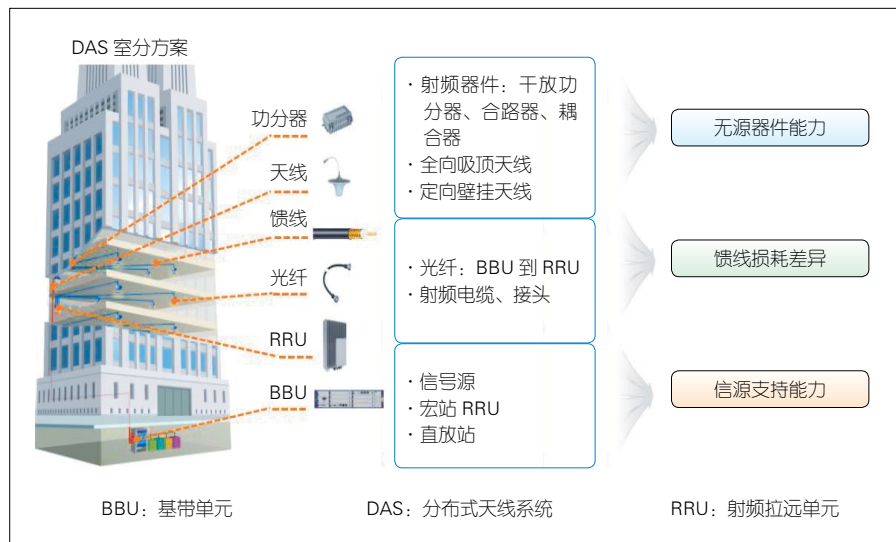
需求。

到了 4G 时代，用户业务演变为以数据业务为主。由于中国市场竞争激烈，运营商提前结束了“流量收入红利”。相继推出的不限流量套餐，使布置在话务量偏高的建筑内的单路 DAS 显得很吃力，急需扩容改造。然而，将单路 DAS 改造为双路 DAS 的工程非常复杂，同时链路不平衡会导致多输入多输出（MIMO）性能难以保证。在话务量偏高的区域（机场、火车站、学校、医院等），运营商倾向进行数字化改造，部署 4G 数字室分。

2.1.1 5G DAS 的挑战^[4-7]

5G 用户设备（UE）支持 2T4R（指 2 发射通道、4 接收通道），下行最大支持四流接收。在高话务场景下，室内覆盖需要给 UE 提供四流数据，但是四路 DAS 在工程施工上非常复杂，4 收发通道（TR）MIMO 难以保证。实际落地时，DAS 以单路或双路为主，多用于中低流量的场景。

在建设 5G DAS 室分时，需要考虑 3 个方面的能力：信源支持能力、馈线损耗差异和无源器件能力，如图 1 所示。



▲图 1 建设 5G DAS 时的能力评估维度

存量 DAS 网络的无源器件（功分器、耦合器、合路器、室分天线等）支持的频段范围是 800 MHz~2.7 GHz。3 大运营商的 5G DAS 分析如表 2 所示。

对于电联场景，3.5 GHz 频段无法利用存量的 DAS 无源设备。如果采用 DAS 部署 5G，就需要新建一套 DAS 系统，并且要采用新的无源器件支持 3.5 GHz 频段。由于新建双路 DAS 工程复杂，3.5 GHz 馈线损耗高，所需室分天线点位较多，以及建设成本偏高，因此不建议电联采用 DAS 来建设 5G 室分。

由于主流 5G 的频段是 2.6 GHz，因此中国移动可以利用已有室分无源器件，在中低容量场景中可采用增加 2.6 GHz 信源的方法部署室内 5G。已有室分大部分是单独 DAS，不能体现 5G 大容量多通道的优势。中兴通讯独创的多通道联合收发技术，可在不改变传统 DAS 系统网络架构的前提下，通过信源改造的方式快速实现单路 DAS 双流、双路 DAS 四流的效果，大大提升了传统 DAS 网络的性能。2.6 GHz 多通道联合收发技术对于有存量 DAS 的低价值场景来说是一个优选方案。

2.1.2 DAS 多通道联合收发提升网络容量

根据现有 DAS 的部署情况，如图 2 所示，多通道联合收发技术可以应用于以下 3 类典型场景：

（1）跨楼层 - 双流实现四流：

现有 DAS 已经部署双路，并且具备支持 2×2 MIMO 的能力。此场景可以实现在上下楼层重叠覆盖区域组成支持 4×4 MIMO 的网络；

（2）跨楼层 - 单流实现双流：

现有 DAS 仅部署单路。此场景可以实现在上下楼层重叠覆盖区域组成支持 2×2 MIMO 的网络；

（3）同楼层 - 双流实现四流：

现有 DAS 有多个运营商分别部署双路，

并且可被用于共享。此场景可以在同楼层重叠覆盖区域组成支持 4×4 MIMO 的网络。

多通道收发技术的容量增益与楼层间隔度密切相关。实测结果显示，如表 3 所示，对于跨楼层 - 双流实现四流的场景，随着隔离度的增加，速率、RANK（指矩阵的秩）增益逐渐下降。因此，我们建议，DAS 多通道联合技术可应用于楼层隔离度小于 30 dB 的部署环境。

2.2 数字室分

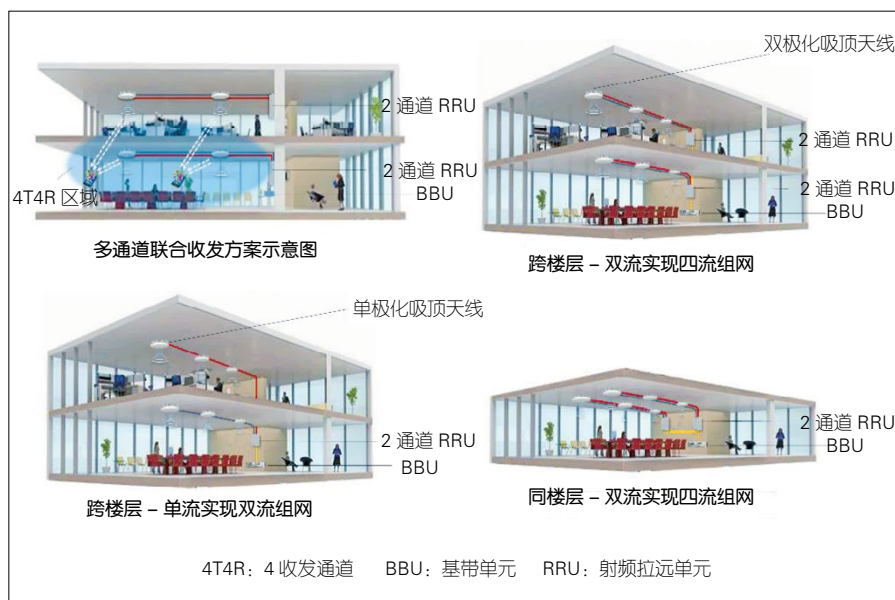
数字室分在 4G 时代崭露头角并实现了规模部署。目前，主流设备商都支持数字室分，如中兴通讯的 QCell、华为的 LampSite 和爱立信的 Dot 等^[8]。

数字室分采用三级架构。如图 3 所示，以中兴通讯 QCell 为例，QCell 由基带单元（BBU）、汇聚单元 pBridge（PB）和远端射频单元（pRRU）组成。其中，BBU 实现多模基带及多

▼表 2 中国 5G DAS 器件能力评估

运营商	频段 / GHz	信源支持	无源器件	馈线损耗	采用 DAS 建设 5G
中国移动	2.6	支持	可利用	低	适用
	4.9	支持	不可利用	很高	不适用
中国电信和 中国联通	3.5	支持	不可利用 有可用器件 价格偏高	高	不建议

DAS：分布式天线系统

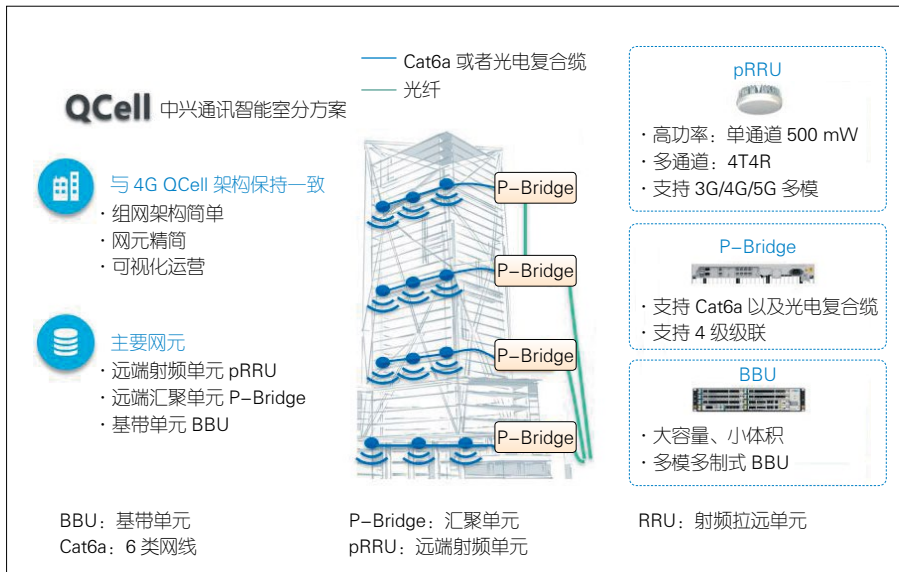


▲图 2 多通道联合接收的典型场景

▼表 3 不同隔离度下跨楼层 - 双流实现四流的性能提升效果

隔离度 / dB	对应场景	下行路测速率提升 / %	下行定点速率提升 / %	RANK 提升 / %
0	同楼层	40	56	97
10	楼层隔断低穿损	23	36	59
20	楼层隔断中穿损	15	22	52
30	楼层隔断高穿损		无明显增益	

RANK：指矩阵的秩



▲图 3 中兴通讯 QCell 智能室分方案典型架构

模协议栈功能；PB 对 pRRU 供电，同时通过对多路 pRRUIQ（IQ 指通信调制的 I 路数据和 Q 路数据）数据求和来实现小区合并功能；pRRU 实现 RRU 功能，且发射功率为毫瓦级。

数字室分具备 DAS 无法比拟的优势，具体包括：

（1）部署快捷。与 DAS 系统采用的信源、合路器、耦合器、馈线、小天线的多级架构相比，数字室分只有 BBU-PB-pRRU 三级架构。此外，用光纤和网线替代笨重的馈线，极大地降低了部署的工程量，同时缩短了施工的时间。

（2）弹性容量。DAS 信源容量固定，并且一个信源通常配置一个或两个逻辑小区。数字室分则采用独特的小区合并技术，其一个光链路下最大 4 级 PB 相连的若干个 pRRU 合并成一个逻辑小区，并可根据话务情况弹性改变小区数：当用户少、话务量低时，最大可将 32 个 pRRU 合并成一个小小区；当话务量高时，可将少数几个（最少一个）pRRU 合并成一个逻辑小区。

（3）全链路可监控。DAS 采用无源器件部署室分网络，器件损坏时

无法被及时监控到，比较影响用户体验。数字室分的各级网元 BBU-PB-pRRU 是有源设备，可通过告警、诊断等功能实时监控设备状态。

（4）多频多模。pRRU 实现 RRU 的功能。由于功率是毫瓦级，pRRU 可以在 2.5 L 的体积内支持运营商的多个频段，并且每个频段可开通不同制式。

（5）多通道 MIMO。对于 DAS 系统，如果要支持 4TR MIMO，那么每个点位均需要部署四路馈线。这意味着工程将会极其复杂，同时四流的效果也很难保证。pRRU 集成 4TR 通道，同时采用一根光纤与 PB 相连，可轻松实现 4TR MIMO 功能。

数字室分在 4G 时代已经成为规模部署的室分方案。目前，传统的 DAS 厂商正在逐步向数字化转型，并且推出了数字室分产品。可以预见，数字室分在 5G 时代将逐渐成为主流的室分方案。这里，我们以中兴通讯的 QCell 为例，探讨数字室分涉及的关键技术。

2.2.1 多运营商共享

多运营商共享在 5G 时代成为一个

强需求。这要求一个 pRRU 能支持多个运营商的频段。以中国电联共享为例，pRRU 需要支持 3 400~3 600 MHz 的 200 MHz 带宽。如果要支持 3 300~3 400 MHz，那么 pRRU 的能力需要进一步提升到 300 MHz 带宽。具体来说，共享场景需要以下几种规格：

- 5G 单模 200 MHz：用于电联各 100 MHz 独立载波方式共享场景；
- 5G 单模 300 MHz：用于电联各 100 MHz 独立载波共享，同时有支持 3 300~3 400 MHz 带宽的潜在需求；
- 多模 200 MHz：用于新建场景支持多模，电联各 100 MHz 独立载波共享；
- 多模 300 MHz：用于新建场景支持多模，电联各 100 MHz 独立载波共享，同时有支持 3 300~3 400 MHz 带宽的潜在需求。

2.2.2 精准匹配行业应用

5G 行业应用逐步升温，行业应用中室内场景占据了半壁江山。中国移动针对 5G 行业定义了“优享”“专享”与“尊享”3 种模式，每种模式对应了不同的基础网络能力与增值能力，具体如图 4 所示。

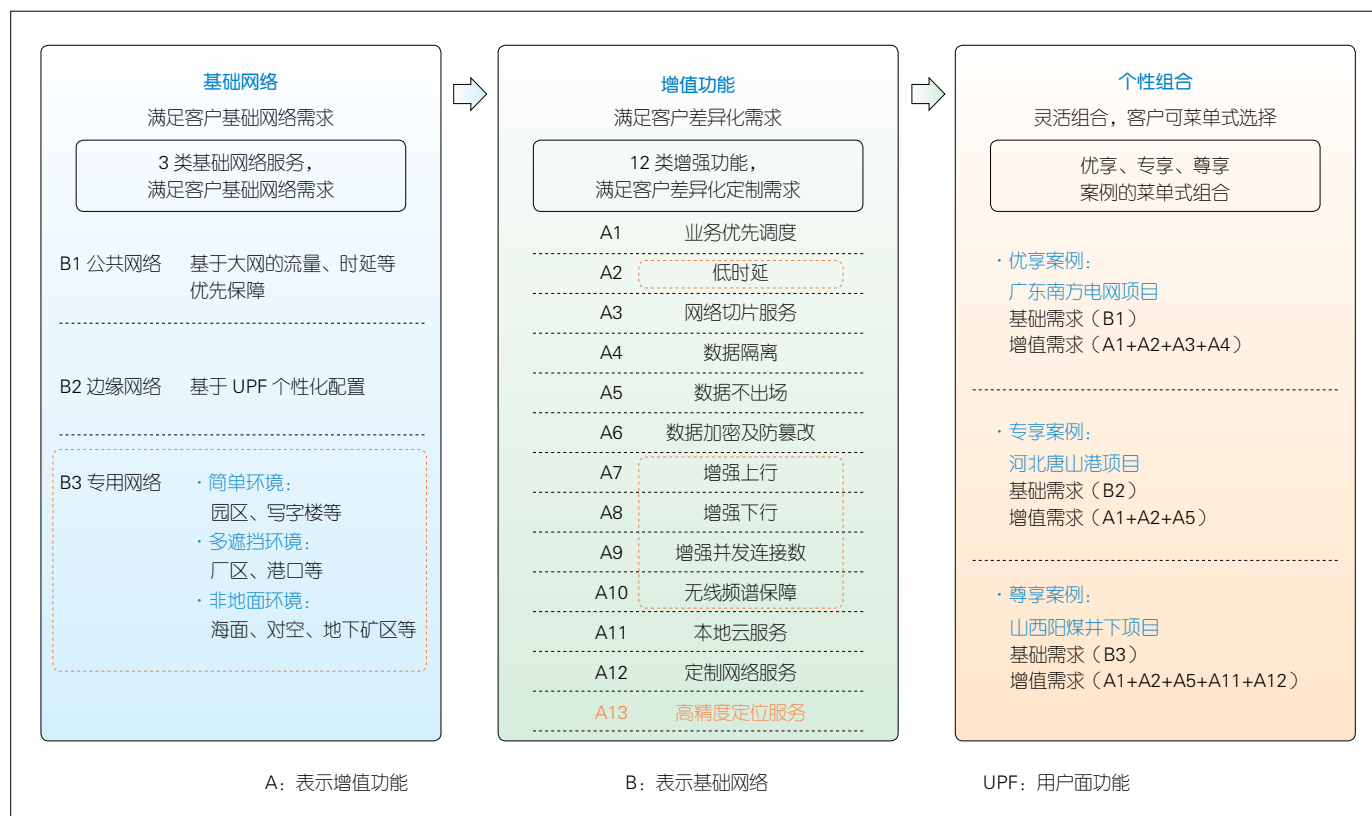
在具体到 5G 室内分布时，行业应用要求的功能主要有容量增强、高精度定位等。由于 DAS 已经不能满足这些需求，目前只能采用数字室分。

2.2.2.1 容量增强

行业应用场景对带宽有更高的需求。此时可采用以下方式全面提升上下行容量。

（1）上行带宽增强。

1D3U 帧格式能够给上行分配更多的时隙资源。5G 公网主要有 2.5 ms 双周期和 5 ms 单周期两种帧结构。这两种帧结构给下行分配了更多的时域资源，因此小区下行容量高于上行。



▲图4 5G行业应用的基础网络-增值功能-个性组合架构

而行业应用可能需要上行有更多的时域资源。这类场景可采用2.5 ms单周期的DSUUU（1D3U）帧格式。

（2）下行带宽增强。

虚拟8TR可增强下行带宽。射频单元在硬件上最大只支持4TR。部分5G终端，如客户前置设备（CPE），支持8根接收天线。两个射频单元的覆盖重叠区可以支持8通道的下行数据发送。

（3）上下行带宽增强。

载波聚合（CA）可同时提高上行与下行带宽。主流运营商通常有多个新空口（NR）频段，并且在同一个频段可能会存在超过100 MHz的连续带宽。可开通同频内多个NR载波CA以及不同频段间载波CA，以提高上行与下行带宽。

（4）区域面积容量增强^[9]。

当采用CA和虚拟8TR都无法满

足场景的容量需求时，可以考虑采取小区分裂（极限情况下是一个pRRU组成一个逻辑小区）的方式在该区域部署更多的小区，提供更多容量。

随着分裂的小区数增加，小区之间同频干扰的程度也会增加。由于干扰会降低网络容量，因此可以考虑采用基带合并（超级小区）的方式将多个小区合并成一个逻辑小区，以消除多个小区之间的同频干扰。与此同时，在合并后的逻辑小区中开启空分复用功能，可保证整个区域的容量不会因为基带合并而降低。

2.2.2.2 室内定位

位置信息是未来建设智慧城市的重要组成部分。对于室内场景定位，目前有两种定位方法^[10]：

（1）QCell设备自身定位。这种方式可基于探测参考信号（SRS）测量

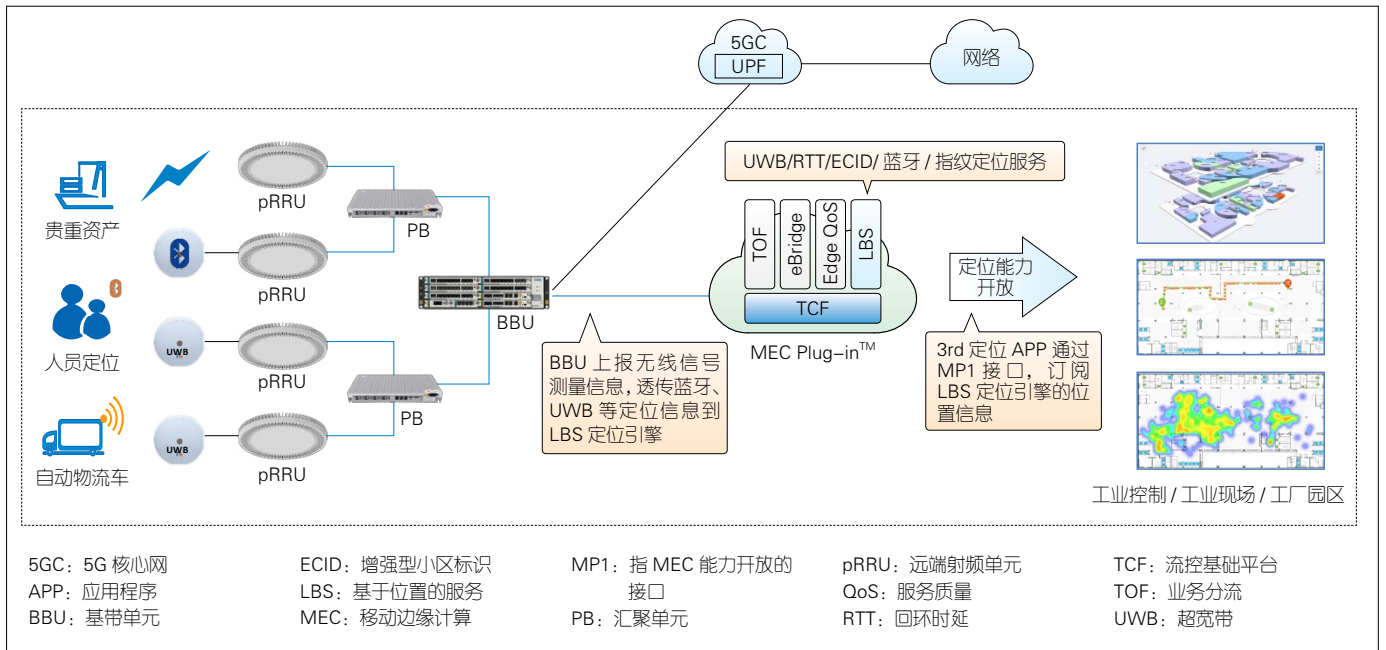
来计算UE的位置坐标，不需要借助其他辅助定位设备。该方式的定位精度可达5 m。

（2）借助蓝牙/超宽带（UWB）方式定位。这种方式首先通过pRRU的网口连接蓝牙/UWB设备，然后借助蓝牙/UWB测量对终端进行测量。测量的数据借用pRRU-PB-BBU物理链路透传到定位服务器MEC，最后由MEC计算终端位置，如图5所示。这种方式的定位精度可达亚米级。

2.2.2.3 能力开放

5G核心网是基于服务化架构（SBA）构建的。能力开放是核心网的一个基本功能。在行业应用中，5G工业园区需要在无线侧提供能力开放业务。目前，借助MEC可以实现能力开放功能^[11-12]。

MEC能力开发是基于X86的虚拟



▲图 5 pRRU 外接蓝牙/UWB 定位架构

化特性设计的。4G BBU 并不支持虚拟化，需要采用独立的硬件来实现 MEC 的功能，这大大提高了 MEC 部署的难度。由于 5G BBU 本身支持网络功能虚拟化（NFV），MEC 可以以软件应用的方式部署在 5G BBU 上。与 4G 时代独立硬件的方式相比，这极大地降低了部署难度，间接推动了 5G 行业应用的发展。

2.2.3 AI 节能

传统节能方式通常是根据话务需求进行分层分级、关断相应设备的，具体包括：

（1）符号级关断。在没有数据发送的符号时隙，及时关闭射频单元的功放。

（2）通道级关断。在小区话务低时，关闭射频单元的部分通道。比如，4TR 射频单元关闭 2 通道，只用 2 通道收发数据。

（3）小区级关断。通过定义网络覆盖层和容量层，在低话务期间关闭容量层小区，只保留覆盖层。

（4）设备级关断。在无话务的时间段，将射频单元下电或进行深度休眠。

传统的节能方式因为无法精准定制差异化策略影响了节能效果。如图 6 所示，AI 节能方案借助 AI 和大数据技术，可以在保证网络关键绩效指标（KPI）不受影响的基础上，使节能效果达到最优，实现能耗与性能的最佳平衡。

（1）场景特征自学习。根据网络拓扑和历史性能数据归纳小区场景特征，并基于场景特征来预测未来各时段的话务量。

（2）节能参数自配置。基于场景特征与话务预测自动编排各种节能策略，同时自动配置各种策略的节能参数。

（3）节能效果自优化。节能策略实施后，根据策略报告（MR）、KPI、用户感知等数据综合评价节能实施后的效果，并且自动对节能参数进行优化调整。节能效果自优化可使网络性能和节能效果达到最优。

2.2.4 可视化运维

与室外 RRU 的形态不同，数字室分的射频头端是在室内密集部署的，这对网络运维提出了更精细化的要求。

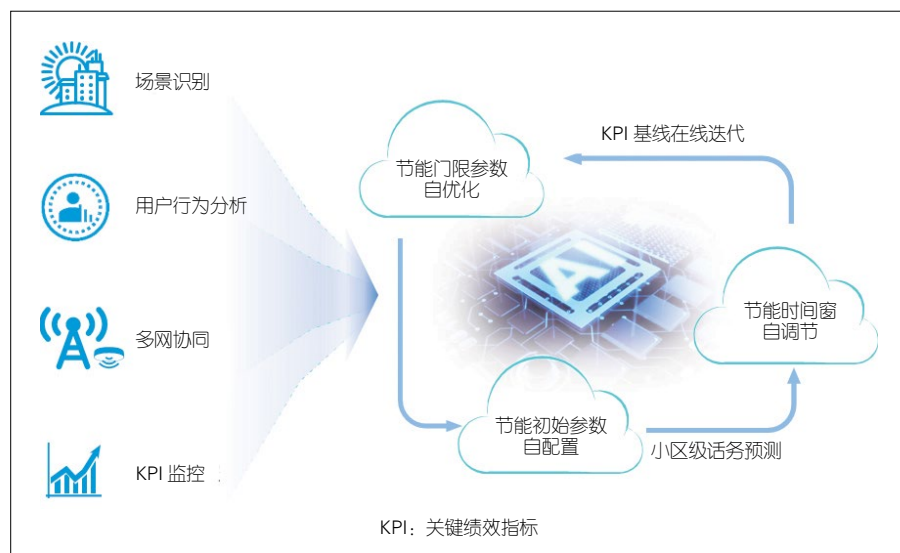
（1）拓扑管理。基于设计院计算机辅助设计（CAD）施工图能够直接生成 2D/3D 建筑物模型，并可按建筑和楼层展示汇聚单元与射频单元的部署位置及连接关系，同时展示小区配置等拓扑信息。

（2）资产管理。按建筑分楼层统计数字室分资产信息。

（3）无线运维。按建筑分楼层生成性能报表、楼层覆盖栅格图并，给出针对性的网络优化建议。

3 频谱重耕

在话务量不低的区域，利旧 DAS 是最经济的 5G 室内部署方案。在中国的电联市场，存量 DAS 系统不支持 3.5 GHz 频段，不能通过更换信源的方式来支持 5G。对于庞大的存量 DAS 系统，在短期内全部改造成数字室分并不现实，只能逐步向数字室分过渡。



▲图 6 人工智能节能策略

▼表 4 n1/n3 支持 NR 各种带宽的路标

NR 频段	SCS/kHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz
n1 (2.1 GHz)	15	R15	R15	R15	R15	R16	R16	R16	R16
	30	/	R15	R15	R15	R16	R16	R16	R16
	60	/	R15	R15	R15	R16	R16	R16	R16
n3 (1.8 GHz)	15	R15	R15	R15	R15	R15	R15	R16	/
	30	/	R15	R15	R15	R15	R15	R16	/
	60	/	R15	R15	R15	R15	R15	R16	/

n1: n1 频段

NR: 新空口

R16: R16 标准

n3: n3 频段

R15: R15 标准

SCS: 子载波间隔

采用 4G 频谱重耕的方式把现有 DAS 用起来也是一种可行的方案。目前主要采用的方式是将 2.1 GHz 频段重耕到 NR。

R15 的终端只支持 2.1 GHz 频段 20 MHz 带宽 NR，因此可以在话务量要求不高的区域部署 2.1 GHz 20 MHz NR DAS（如居民楼、经济型酒店、地下停车场等场景），如表 4 所示。R16 的终端则可以利旧 DAS 开通 2.1 GHz 40 MHz/50 MHz 大带宽的 NR。由于 2.1 GHz 属于频分双工（FDD）频段，40 MHz/50 MHz NR 小区容量和 3.5 GHz 频段 100 MHz NR 小区容量基本相当，可以满足大部分中低容量场景业务需求。因此，2.1 GHz DAS 频段重耕支持 40 MHz/50 MHz NR 可以作为一种主流

的 5G 室内部署方式。

4 结束语

5G 网络赋能各行各业，并推动全社会数字化转型。室内覆盖是 5G 时代的关键战场。在选择 5G 室内室分方案时，应综合考虑目标、需求、成本等多因素，采用多种解决方案来建设高效、经济的室内覆盖网络。

主流 5G 室分部署有 DAS 利旧和数字室分两种。现有 DAS 系统支持的频段为 800 MHz~2.7 GHz。如果 5G 的频谱在这个频段内，那么可以考虑采用更换信源的方式来利旧 DAS。中国移动在现有 DAS 系统上支持 2.6 GHz 频段 160 MHz 带宽。电联的 3.5 GHz 频段无法在现有 DAS 上使用。此时可

考虑采用 2.1 GHz 频谱重耕的方式来利旧 DAS。对于新建和话务量较高的场景，我们建议可直接部署 5G 数字室分。数字室分具有高容量、全链路可监控、成本适中等特点，不仅能够全面满足国际电信联盟（ITU）定义的各种 5G 指标，同时还可以结合 MEC 支撑各种行业应用。随着 5G 的发展，数字室分将会在 5G 室内分布领域扮演越来越重要的角色。

参考文献

- [1] 李珊, 张春明, 汪卫国. 5G 商用起步, 融合应用蓬勃兴起 [J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(6): 2-7. DOI: 10.12142/ZTETJ.201906001
- [2] 严斌峰, 袁晓静, 胡博. 5G 技术发展与行业应用探讨 [J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(6): 34-41. DOI: 10.12142/ZTETJ.201906006
- [3] 中兴通讯. 5G 室内覆盖白皮书 [EB/OL]. (2020-07)[2020-10-25]. <http://www.199it.com/archives/1088041.html>
- [4] 周玮, 王凤明. 5G 时代室内分布系统发展趋势分析 [J]. 中国新通信, 2018, 20(23): 171. DOI: CNKI:SUN:TXWL.0.2018-23-127
- [5] 于建辉. 5G 网络室内覆盖解决方案的分析 [J]. 中国新通信, 2019, 21(1): 37. DOI: CNKI:SUN:TX-WL.0.2019-01-028
- [6] 舒文琼. 新型数字化室分系统已成中国移动 5G 时代主流 [J]. 通信世界, 2018, (19): 47. DOI: 10.13571/j.cnki.cww.2018.19.027
- [7] 孙胜齐. 5G 网络室分建设思路 [J]. 电子技术与软件工程, 2018, 141(19): 37
- [8] GTI-22ND-W5-5G-MN-07-5G. Small cell solutions utilizing GPP and virtualization aicells_ [Z]. 2018
- [9] 达尔曼, 巴克浮, 舍尔德. 5G NR 标准: 下一代无线通信技术 [M]. 朱怀松, 王剑, 刘阳, 译. 北京: 机械工业出版社, 2019
- [10] 中国移动. 室内定位白皮书 (2020) [EB/OL]. (2020-06-19)[2020-10-25]. <http://www.199it.com/archives/1077558.html>
- [11] 中兴通讯. Common Edge 边缘计算白皮书 [R]. 2019
- [12] 陆平, 李建华, 赵维锋. 5G 在垂直行业中的应用 [J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(1): 67-74. DOI: 10.12142/ZTETJ.201901011

作者简介



徐法祿, 中兴通讯股份有限公司系统产品 MKT 总监, 曾任中兴通讯通信室分 QCell 总监; 拥有 17 年的通信研发和市场经验; 曾获 2019 年深圳市科技进步一等奖、2020 年国家科学技术奖二等奖。