

E频段无线射频链路 为5G网络提供高容量回程 解决方案 — 第一部分

Andy Boyce, 微波系统架构师
Donal McCarthy, 市场营销总监

简介

本文介绍可供5G网络使用的各种回程技术，重点讨论E频段无线射频链路及其如何支持全球5G网络的持续部署。我们将对E频段技术必需的系统要求进行技术分析。然后，我们将结果映射到物理无线电设计中，同时深入了解毫米波(mmW)信号链。

5G网络拓扑

随着4G长期演进(LTE)技术的成功推进，全球开始大规模部署5G网络。图1展示了5G网络的拓扑结构，以帮助我们清晰地理解从接入到回程的无线网络。该拓扑结构描绘了四种场景，每种场景都通过单独的连接回到核心网络。

手机和5G无线互联网等用户设备(UE)将通过连接到下一代无线接入网络(NG-RAN)中的基站(gNodeB)来访问网络。在图1中，我们将gNodeB表示为宏蜂窝、小蜂窝、5G mmW接入点和中继器。宏蜂窝和小型蜂窝覆盖410 MHz至7.125 GHz (FR1)的频率范围(FR)。5G mmW解决方案覆盖24.25 GHz至52.6 GHz (FR2)的频率范围。宏蜂窝的覆盖半径较大，而小蜂窝在数量上比宏蜂窝多，更容易部署，但覆盖半径较小。小蜂窝用于处理用户密集区域的流量，以及在不增加宏蜂窝的情况下，更高效地扩大网络容量或覆盖范围。5G mmW是最新一代技术，能够满足更高网络容量需求，支持新的用户体验，例如在体育赛事直播中，球迷可以在移动设备上观看回放。NG-RAN设备还有一些实例，可以在FR1和FR2频段工作，例如大规模MIMO无线电、微蜂窝、毫微微蜂窝、微微蜂窝等。

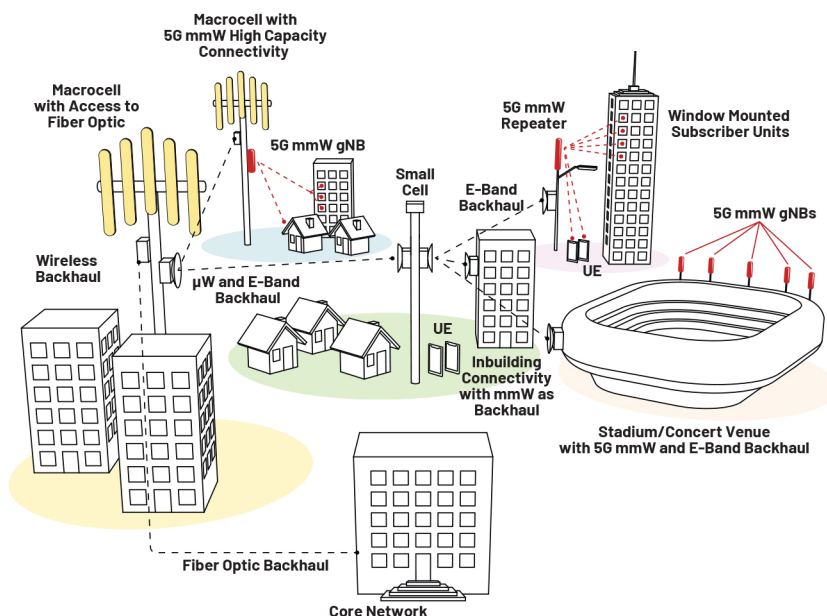


图1. 5G网络拓扑，包括回程

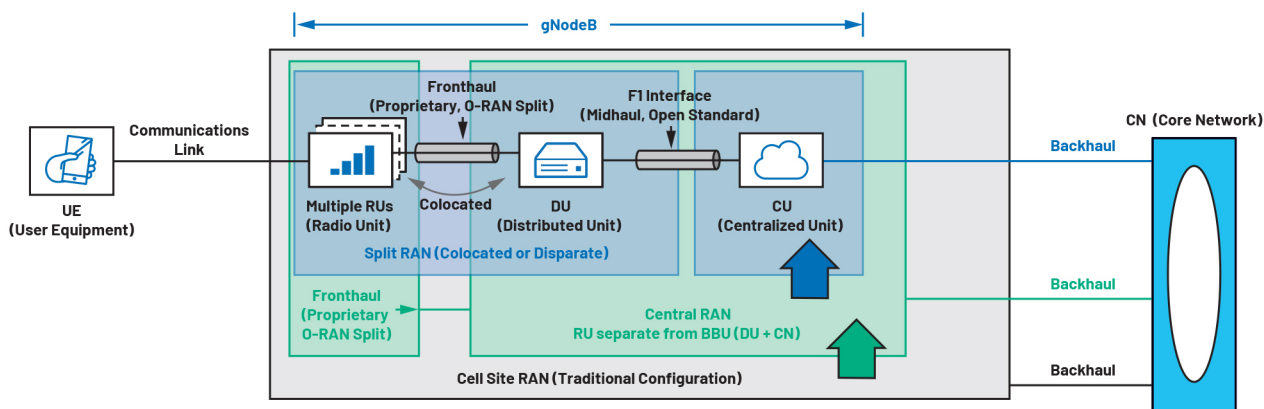


图2. RAN的演变

回程（也称回传）或移动回程是指连接核心网络(CN)和无线接入网络（5G中的gNodeB）的传输网络。随着蜂窝站点密度的增加，由于需要高容量链路来连接核心网络，因此移动和固定无线回程显得愈加重要。《2022年爱立信微波展望》报告显示，到2025年，城市蜂窝站点将需要每站点5 Gbps至20 Gbps的回程容量。在图1中，我们将无线回程显示为微波(μ W)和E频段(mmW)无线电两种。E频段无线电可以与 μ W无线电共置，或者作为更高数据带宽方案替代 μ W无线电。虽然5G带来了新的商机，但移动运营商由于需要在城市或农村地区快速提供（上市时间）高容量、低延迟、可靠、可扩展、成本优化的回程链路，而承受着越来越大的压力。

回传、中传和前传有何区别？

在5G RAN中，基带单元(BBU)功能分为分布式单元(DU)和集中式单元(CU)。运营商选择如何放置这些设备，取决于可用的前传接口和链路传输技术，与采用更集中的处理方式相比，在边缘以低延迟完成多少处理量比较合适。图2展示了无线接入网络的架构演进。回传是每种解决方案的核心部分。

- ▶ 蜂窝站点RAN：传统配置，射频单元(RU)和BBU功能位于蜂窝站点。单独的回传链路连接到核心网络。
- ▶ 集中式RAN（低级拆分）：此模式允许将部分网络集中到边缘站点，这样做可以提供虚拟化优势(vBBU)。处理能力将下放到边缘站点，蜂窝站点中只有物理层，因此会降低其复杂性。然而，现在需要前传链路在RU和集中式BBU之间传输大量数据。这有时称之为低级拆分。
- ▶ 分离式RAN（高级拆分）：RU和DU可以共置于蜂窝站点，也可以分开放置。此模式不仅提供虚拟化优势(vBBU)，还能提升成本效益。CN单独位于边缘站点。这称为高级拆分：
 - RU和DU共置于蜂窝站点，而CN位于边缘站点。这意味着需要中传链路将远程CN（边缘站点）连接到RU+DU（蜂窝站点）。
 - RU、DU和CN分开放置。

集中式和分离式RAN模型都支持多家供应商的硬件和软件实施方案，这应当能为网络部署带来成本效益。设备必须支持互操作（RU、DU、CU），允许将不同供应商的解决方案混搭使用，进而提高效率。这是开放式RAN (O-RAN)联盟的核心精神。以前，设备提供商的接口解决方案是专有的，无法与其他供应商的设备实现互操作。

此外，随着运营商在集中式和分离式RAN配置中部署前传和中传链路，这些链路也在不断发展。如果没有光纤可用和/或安装光纤的成本过高，或者光纤并非短期内完成部署的可行方案，那么可以通过E频段提供出色的解决方案。

值得注意的是，4G和5G之间有一个根本区别：在5G NR中，传统的EPC（演进分组核心网）在专用硬件上运行，通常位于基站或蜂窝塔附近，造成被拆分。这样各项功能可以在商用成品(COTS)硬件上运行。因此，随着功能转移到边缘，5G的核心网络实际上更加分散。参见图3。核心网络功能现在可以共置于边缘，使得通信速度更快，用户延迟更低。它还支持网络切片，即为特定应用需求创建虚拟网络。例如，一个切片可以提供高速宽带，而另一个切片可以为物联网提供机器对机器连接。此外，这种边缘云架构支持边缘计算。因此，网络可以在靠近边缘的地方设置小型数据中心，以支持相同内容的视频流传输，而不是费劲地从一个中心位置回传数据。一般而言，这种5G架构在配置网络接入、硬件、功能和回程方面更高效、更灵活。

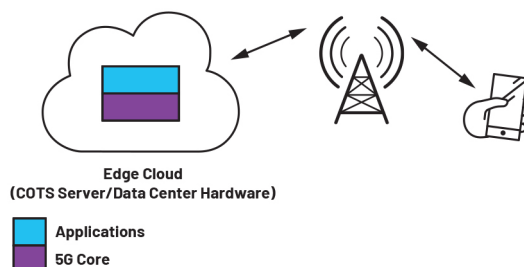


图3. 5G网络切片

目前有哪些回程解决方案可用？

光纤回程是移动网络运营商(MNO)可以使用的最高容量方案。它是目前使用的主流小蜂窝回程技术，因为许多人口稠密的城市/室内区域都有光纤可用，而且这些区域都使用小蜂窝来增加覆盖范围/容量。光纤的容量高达1.6 Tbps (160个信号 × 每个信号10 Gbps)。光纤是MNO的最高容量选择。然而，光纤部署存在成本高、采购难、规划审批复杂和耗时长等问题。根据GMSA的数据，部署光纤的成本约为7万美元/千米。资本支出和部署时间始终是阻碍持续增长的因素。需要注意的是，μW/mmW回程和光纤是互为补充的解决方案，它们在网络中共存。无线和光纤为运营商提供了替代回程技术。理想的回程解决方案需要考虑许多因素，包括部署时间、联邦/州和城市的许可、获得通行权、数据带宽要求、地形和总拥有成本。

μW和mmW回程是目前宏蜂窝的主流回程技术，约占宏蜂窝回程链路的50%。

μW许可频段技术功能强大、易于部署且成本相对较低（无需破坏城市街道或开挖沟槽）。它覆盖6 GHz至42 GHz的频率，这些频段非常适合中长距离链路，覆盖范围可达25千米。

在V频段（57 GHz至66 GHz）和E频段(76 GHz/86 GHz)内使用mmW回程技术已持续多年。然而，V频段会遭受严重的氧吸收，在60 GHz处会发生很大的信号衰减。此外，各国对该频段的使用有不同的规定。有些国家将部分频谱许可用于回程，而有些国家则将其留给免许可使用。欧洲和美国是允许免许可使用的地区，并且正在制定规则以减少不同配置的干扰概率。但是，V频段在提供高质量回程方面仍然不可靠。其用途预计主要是免许可的短距离室内和室外覆盖解决方案(WiGig)。E频段提供带宽更宽、信号衰减更低的解决方案，从而可实现高可用性链路。

那么，为何过去没有在网络中大量使用E频段呢？在4G网络中，考虑到可用带宽容量，mmW回程技术并未得到充分利用，只有某些场景才会用到，因此大多数无线回程是使用许可的μW频段（6 GHz至42 GHz）实现的。随着5G网络的爆炸式部署和密集化，情况发生了变化，现在需要10 Gbps或更高的回程能力。

那么，使用E频段有哪些核心优势，它与光纤和μW相比如何？E频段提供两个5 GHz频谱频段：71 GHz至76 GHz和81 GHz至86 GHz。这些频段被细分为多个250 MHz信道。频谱分配的一个主要优点是它可以用于时分双工或频分双工链路。容量也不是问题，因为在许可的E频段点对点链路中，可以传输的最大数据量大于60 Gbps¹。E频段还有望用于点对多点系统，这将进一步提高可用的回程数据带宽。与传统的μW无线电相比，信道容量显著增加。由于频率可用性问题，传统μW无线电链路的容量只有大约2.4 Gbps。此外，E频段天线将电磁能集中在一个非常窄的能量束

中（例如，只有1度的发散角），因此可以构建高增益(45 dBi)、小外形尺寸（30厘米天线直径）的无线电设备，非常适合隐蔽安置在建筑物或塔上。即使RF发射功率不高，E频段通常也能支持长达3千米的链路长度²。表1比较了常用的几种回程技术。

表1. 回程技术比较

	数据吞吐量	安装成本	部署时间	链路距离
光纤产品	1.6 Tbps	7万美元/千米	数个季度至数年	1000千米
E频段71 GHz至86 GHz	60 Gbps	3000美元/千米	数周至数月	3千米
μW 5 GHz至44 GHz	2.4 Gbps	1000美元/千米	数周至数月	25千米

铜缆是使用T1/E1协议的传统技术。铜缆无法轻松扩展以提供4G所需的带宽，更不用说5G了。对于室内小蜂窝和公共场所来说，它仍然是一种选择，但运营商已开始放弃这项技术。与光纤或μW/mmW相比，卫星的使用并不广泛，原因在于数据速率有限，而且由于地球静止卫星处于非常高的地球轨道，延迟是个问题。低地球轨道(LEO)卫星改善了延迟，可能会发挥越来越大的作用，但具体情况仍不确定。卫星的主要优势是将没有替代方案可用的农村地区连接起来。除极少数新兴市场外，Wi-Fi并不是一种广泛使用的回程技术。这些频段是免许可的，因此不断增多的无线接入点会造成干扰，而且覆盖范围有限也是个问题。

无线E频段链路如何无线传输数据？

E频段使用传统的数字调制编码，例如从BSPK到1024 QAM。但是，限制链接距离的因素有哪些？

- ▶ 恶劣天气：雨、雾、雨夹雪和雪会使信号强度以不可预测的方式衰减，导致接收器收到的信号水平下降，进而降低信噪比(SNR)。值得注意的是，当遇到雨衰时，E频段无线电链路可以使用自适应调制。这意味着，链路可以转而使用不太复杂的调制，以防止数据丢失。通过降低这段时间内的容量，高可用性数据链路的连接得以维持。在降雨量高达100毫米/小时的情况下，ADI公司的系统化封装(SIP)解决方案可确保1千米链路具有99.999%的可用性。
- ▶ 基带能力：在E频段频率工作时，基带单元成为数据吞吐量的瓶颈。典型BBU支持10 Gbps的数据吞吐量，而可用频谱可支持超过60 Gbps的数据吞吐量。ADI E频段SIP将支持高达1024 QAM的调制阶数。
- ▶ LO的相位噪声：相位噪声会限制调制阶数。LO抖动会导致信噪比(SNR)降低，因为噪声会叠加到要上变频/下变频的目标信号上。ADI公司提供出色的宽带外部锁相环/压控振荡器(PLL/VCO)源，以及E频段片内LO路径倍频器和放大器。

表2显示了E频段技术支持的多种调制的预期比特效率和SNR要求。

¹ 10 GHz可用频谱，256 QAM效率为6.3比特/Hz/秒。

² 22 dBm发射功率，60 cm天线，625 MHz带宽，QPSK调制，1 Gbps链路，99.99%可用性。

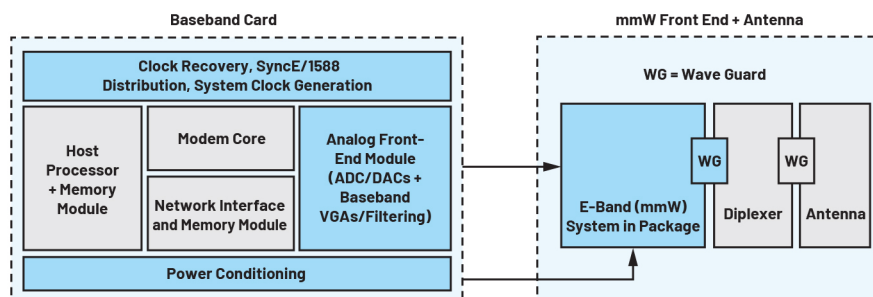


图4. E频段无线电单元系统图（蓝色 = ADI解决方案）

表2. E频段技术支持的数字调制编码与SNR

调制	比特效率 ³ (bit/Hz/s)	SNR (dB) BER < 10 ⁻⁸
BPSK	0.8	12
QPSK	1.6	15
16 QAM	3.2	21.9
64 QAM	4.7	28.1
256 QAM	6.3	34.1
1024 QAM	7.9	40.1

E频段无线电是否比μW无线电更难设计？

令人惊讶的是，E频段无线电可以利用当前μW无线电基带卡设计的很大一部分，包括调制解调器核心、处理器、存储器模块、时钟恢复/生成、同步1588电路和较低频率模拟前端。这使得μW无线电供应商可以更轻松地过渡到E频段领域。请参见图4。E频段前端模块、双工器和天线是将μW无线电转换为E频段无线电所需的新设计模块。

毫无疑问，76 GHz/86 GHz设计似乎令人生畏，因为与较低频率的RF甚至μW相比，mmW设计更复杂。如图4所示，波导转换现已集成到ADI E频段SiP的一部分，以尽可能降低天线的射频(RF)损耗，转换至更高频率的信号。ADI SiP消除了芯片、键合和环氧树脂封装。ADI SiP可以使用标准贴片装配设备进行装配。E频段SiP使无线电装配类似于μW无线电装配。

由于1 km⁴处的自由空间损耗为131 dB，雨衰为17 dB/km和31 dB/km（分别针对99.99%和99.999%的可用性），因此E频段链路预算可能很有挑战性⁵。设计人员必须仔细考虑增益、发射功率、噪声系数和IP3等要求，以满足5G网络运营商的回程要求。

ADI公司在μW和mmW回程技术方面有着深厚的积累。我们开发了E频段器件来化解上述许多设计和装配挑战，帮助更多设计人员轻松开发E频段产品。

E频段——满足5G回程需求的下一个重要选项

本文重点说明了E频段能够为5G网络提供更高的带宽，从而扩展了回程选项。它是光纤的出色补充技术，为运营商规划部署和平衡集中式与分离式RAN解决方案提供了更大的灵活性。

ADI公司开发了具有基带输入或输出以及集成波导输出或输入的表面贴装、高集成度SiP，从而消除了与E频段前端设计相关的大部分繁重工作。设计人员不再需要担心芯片处理，而是可以利用ADI公司的E频段封装技术解决方案。ADI公司致力于为更多RF/μW和mmW设计人员提供更易于使用的技术，以推动这一市场的发展。第二部分将深入探讨E频段链路预算以及ADI E频段SiP系列产品的技术细节。

参考文献

Remmert, Harald. “什么是5G网络架构？” Digi International, Inc., 2021年。

“移动回程：概述。” GSM协会，2019年6月。

“爱立信微波展望报告：2022年10月。” 爱立信，2022年。

作者简介

Andy Boyce是ADI公司的系统架构师，负责开发信号链和系统解决方案。他拥有有线、无线和防务系统设计射频和微波产品已有30多年。Andy拥有马萨诸塞大学洛厄尔分校电气工程学士学位和本特利大学金融学硕士学位。

Donal McCarthy是ADI公司微波通信部（爱尔兰科克）市场营销与业务发展总监。他拥有科克大学的工商管理学士学位、波士顿学院的工商管理硕士学位和都柏林爱尔兰管理学院的市场营销学位。Donal担任过多个职位，包括MACOM设计工程师、Hittite现场销售工程师和营销职位以及ADI公司营销经理和总监职位。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛

与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn

³ 比特效率是指相对于信道带宽的数据吞吐量。它包括对信道保护带、时钟编码和FEC的估计。实际比特效率会根据具体实现情况而不同。

⁴ $FSL = 32.44 + 20 \times \log(\text{频率}[\text{MHz}]) + 20 \times \log(\text{距离}[\text{km}])$ 。

⁵ 雨衰数据来自ITU-R P.838-3“用于预测方法的降雨特定衰减模型”中的K区（欧洲、北美大部分地区和亚洲）。

