

# 5G移动网络的发展：

什么是5G、为何以及如何发展5G

5G

白皮书

EXFO

# 5G移动网络的发展：

## 什么是5G、为何以及如何发展5G

EXFO

白皮书



Nigel Brownlow  
EXFO高级产品专员

### 什么是5G

5G是3GPP组织规定的第五代移动网络。它有望在移动无线网络中提供多种功能，人们过去认为只有通过使用固定基础设施的局域网（LAN）才能实现这些功能。从功能角度来看，与4G网络相比，5G网络可提供更高的吞吐量（25倍）、更低的延迟（1/25）和更高的容量（500倍）。这就使得我们能够开发新的应用，如高清的3D视频、实时的虚拟现实环境、自动驾驶汽车、远程手术以及连接数以十亿计的设备以支持物联网（IoT）。

5G还有望实现更高的可靠性、更高的能效，并能够更容易地重新配置网络以提供其它服务。



5G还有望实现更高的可靠性、更高的能效，并能够更容易地重新配置网络以提供其它服务。

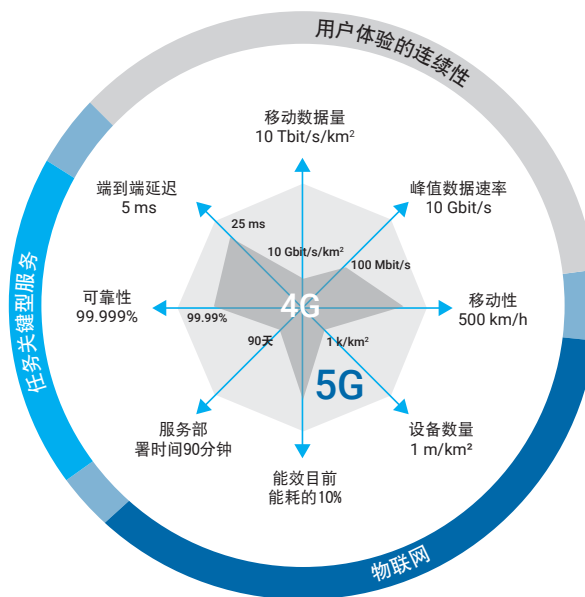


图1: 4G功能和5G功能的对比

为了提供这些功能，5G引入了一些新技术，包括：

- 使用更高的射频（RF）频段来支持更多的带宽（毫米波）
- 利用更快、更高效的前传连接（eCPRI）
- 通过网络提供更可靠、更经济高效的计时（IEEE 1588/PTP）
- 实现更细致的网络功能分布（CU、DU、RU）
- 通过网络功能虚拟化（NFV）动态地配置网络基础设施
- 在“白盒”硬件上运行虚拟网络功能（VNF）以节省成本
- 在单个物理网络（网络切片）上针对特定应用实施不同的服务质量保障

这些新技术需要经过测试，以确保网络能够满足最终用户的需求——必须在支持现有的4G和传统的网络基础设施的同时做到这些要求。

在本白皮书中，我们将概述这些技术及其在实施5G网络中的作用。

## 从4G到5G的发展演变

2017年12月底，3GPP标准机构批准了一套用于5G网络的临时规范，重点关注如何实施增强型移动宽带（eMBB）功能。这套规范定义了5G New Radio（5G NR）以及利用现有4G的网络来增加带宽和大幅改进延迟的方法。在这种5G非独立组网（NSA）架构中，5G NR可以使用5G技术进行射频拉远头和手机之间的通信（下行），并使用现有的4G技术进行手机和射频拉远头之间的通信（上行）。首批通过5G网络提供的功能是eMBB功能。在5G NSA架构之后将出现5G独立组网架构（SA），该架构可支持超可靠低延迟通信（uRLLC）和大规模机器类通信（mMTC）应用。如图2所示，这个版本的规范将支持完整的核心网络——在上行和下行方向上都支持5G传输，并提供更好的延迟和设备连接性能。



在这种5G非独立组网（NSA）架构中，5G NR可以使用5G技术进行射频拉远头和手机之间的通信（下行），并使用现有的4G技术进行手机和射频拉远头之间的通信（上行）。

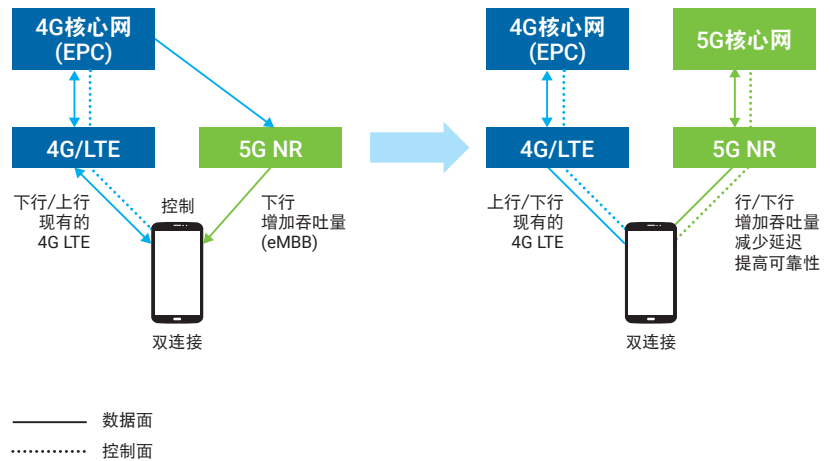


图2：从5G NSA到5G SA的发展

在部署4G网络的过程中，我们看到网络架构从无线接入网（RAN）发展到分布式无线接入网（D-RAN），光纤取代了同轴电缆，这被称为光纤到天线（FTTA）。在这种变化中，射频部分（通常称为射频拉远头，RRH）和基带功能（通常称为基带单元，BBU）被分开。在两个相互竞争的数字射频通信协议中，选择一个将它们连接起来：通用无线接口（CPR1）和开放式基站架构（OBSA1）。它们通常被称为前传技术（见图3）。通过这种方式将RRH和BBU功能分开，还可以将多个基站的多个BBU集中到一个地方以节省基础设施成本，从而实现集中式RAN（C-RAN）架构。

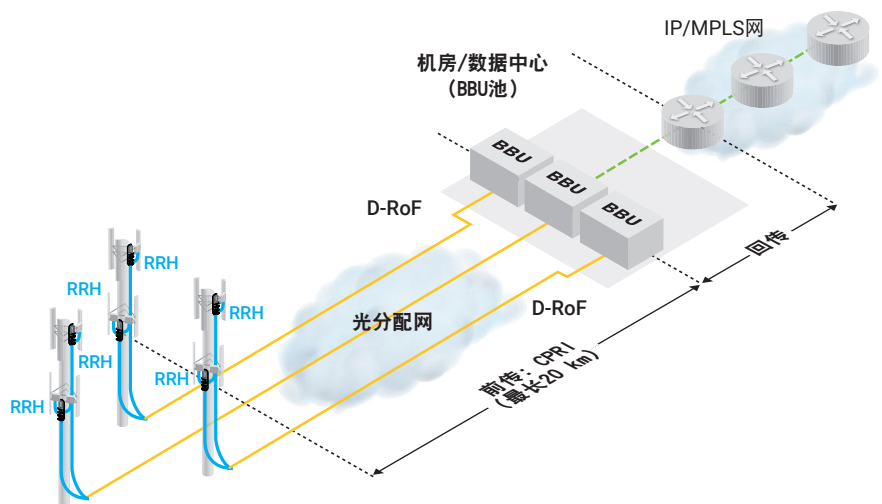


图3：4G前传网络架构示例



5G将无线接入网架构进一步分为三个部分，而不是两个部分：集中单元、分布单元和无线单元。

5G将无线接入网架构进一步分为三个部分，而不是两个部分。这三个部分称为集中单元（CU）、分布单元（DU）和无线单元（RU）。网络设计人员可以决定将网络功能部署在这几个部分的哪个位置，以满足特定的网络需求，例如延迟和吞吐量（如图4所示）。

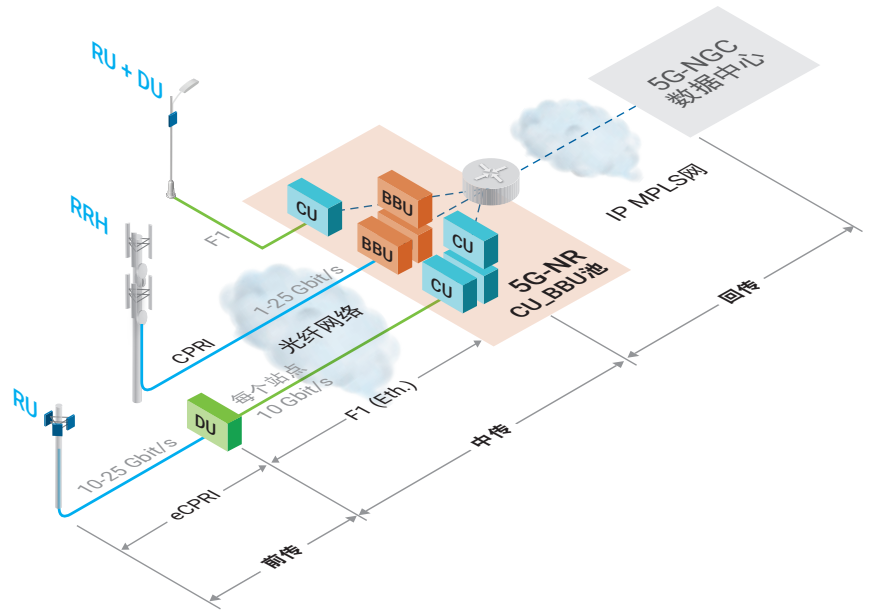


图4: 5G前传网络架构示例

DU的出现导致在DU和CU之间出现了一个新网元，称为中传。回传（Backhaul）、中传（Midhaul）和前传（Fronthaul）网络被合称为Xhaul。

### 5G接口

为了提高前传连接的吞吐量，5G引入了eCPRI，这是一种用来连接DU和RU的新协议。eCPRI使用以太网作为其物理层，并通过FTTA传输数据。这可以提供更快的链路速率——10 Gbit/s和25 Gbit/s，并更有效地利用前传带宽。

CU和DU之间的通信使用另一个基于以太网的协议栈，该协议栈被称为F1接口。由于能够在—个设备中将RU、DU甚至CU功能组合起来，因此可以通过这些接口中的任何一个将基站与网络基础设施的其它部分连接起来，这取决于运营商选择的网络架构。

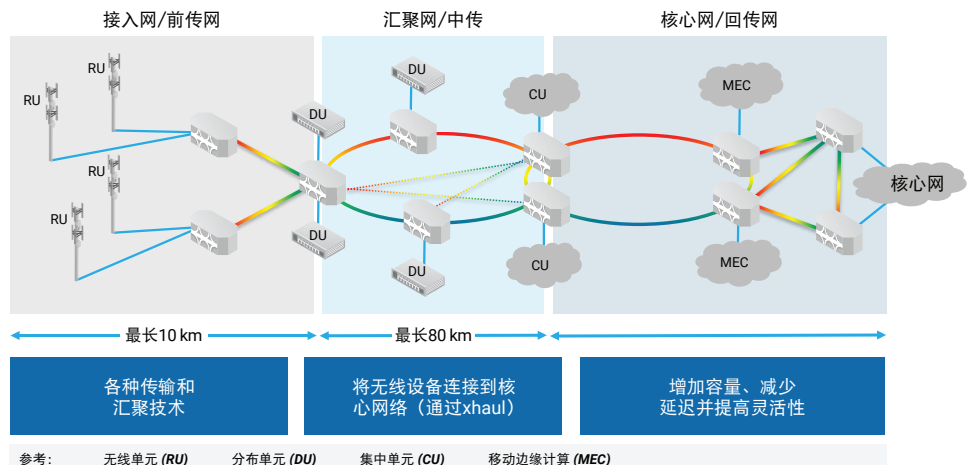


图5: Xhaul网络组成部分





移动边缘计算  
(MEC) 允许运营商  
将计算资源移  
动到更靠近网络  
边缘的位置。

架构出现的另一个改进被称为移动边缘计算（MEC）。MEC使运营商能够将计算资源移动到更靠近网络边缘的位置。这样做有两个好处。首先，减少了延迟，为应用提供更快的响应时间。其次，由于这样做减少了通过核心网的数据包，因此也减少了核心网的拥塞。

## 4G和5G基站的对比

### 4G基站

4G射频拉远头（RRH）通常安装在信号发射塔的顶端或楼顶上。由于能够使用低于3 GHz的频率覆盖一大片区域，因此4G射频拉远头是此类应用的理想选择。每个扇区包括一个RRH，RRH通过小型可插拔（SFP）设备与一个CPRI链路连接起来，在该RRH和BBU中的另一个SFP之间使用光缆进行连接。通过一根短同轴跳线电缆将RRH上的射频输出端口连接到天线。每个基站可覆盖10 km的范围。

由于RRH和BBU的功能被划分开来，因此不再需要使用高损耗同轴电缆连接到发射塔，从而降低了放大器的功率要求，进而降低对暖通空调（HVAC）和备用电源的要求。

然而，4G频段附近缺少连续频谱，限制了可提供给最终用户的带宽数量。

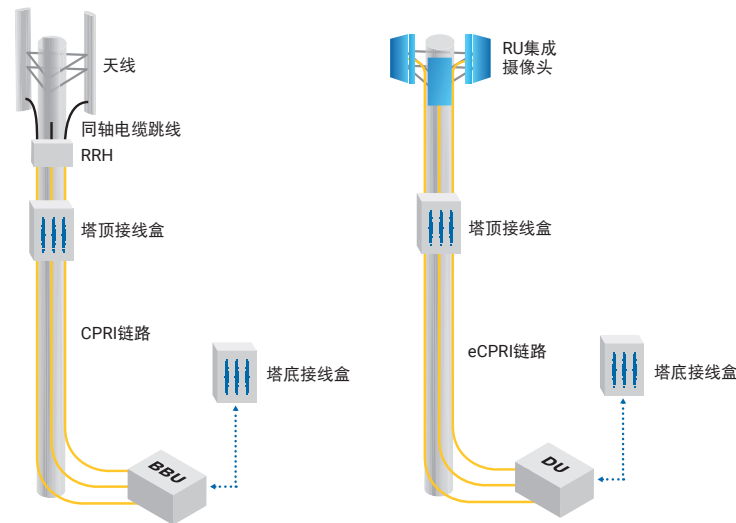


图6: 典型的4G RRH

图7: 典型的5G RU

### 5G基站

5G提供两个频率范围：FR1（450–7125 MHz）和FR2（24250–52600 MHz）。FR1频段提供高达100 MHz的通道带宽，这取决于运营商的频谱保持情况，而FR2频段（称为毫米波，mmWave）处于频谱不太拥挤的区域，提供高达400 MHz的通道带宽。通道带宽越高，基站的潜在吞吐量就越大。

然而，频率越高，射频信号传播的距离就越短。因此，要覆盖相同的地理区域，就需要更密集地部署使用毫米波的5G基站。此外，要提供更高的容量以支持5G连接的大量设备，也同样需要更密集地部署5G基站。

使用毫米波的RU通常安装在路灯和电线杆上或建筑物的侧面。这是因为毫米波能够支持的传输距离较短。一个基站覆盖的范围可能只有几百英尺。

在许多5G RU中，天线会集成到RU中（见图7）。这是因为5G包括大量的MIMO和毫米波频率。

## 计时和同步



每个网络的具体计时限制将取决于网络架构和所支持的应用程序类型。

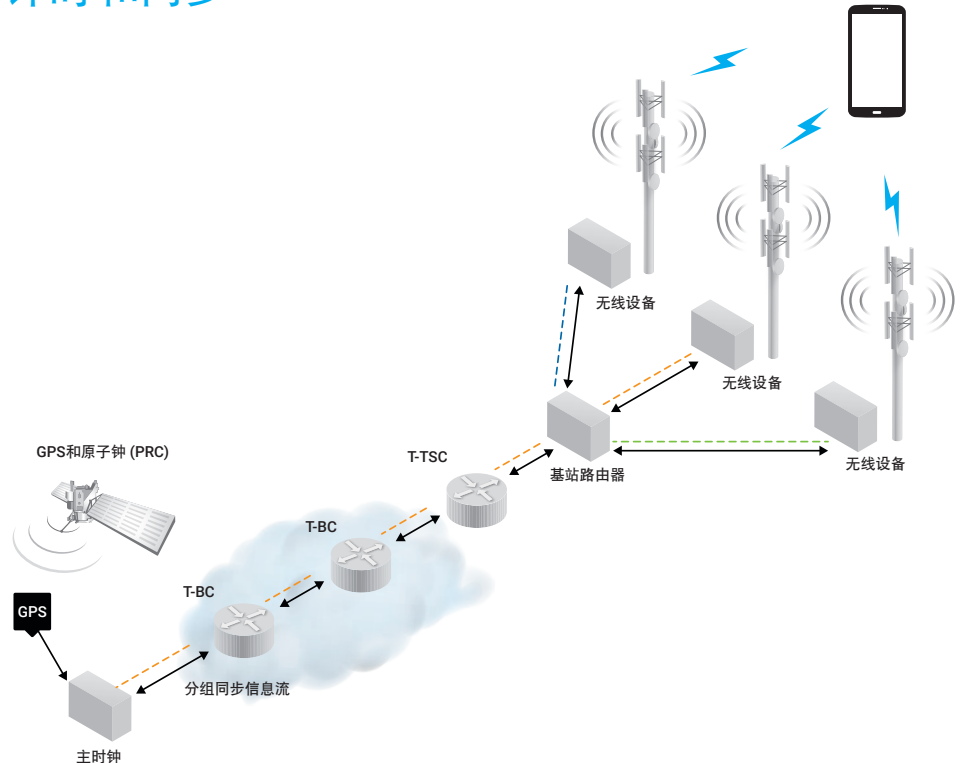


图8: 5G计时和同步

5G网络的密集部署和5G基站在市区的位置也给网络计时和同步带来了新的挑战。LTE-Advanced和5G对前传网络提出了更严格的计时要求，采用的技术包括协作多点传输（CoMP）、紧急定位服务（如E911）和在射频传输和接收中使用时分双工（TDD）。

在TDD中，使用相同的频率来传输和接收数据。相邻的基站必须在约定的时间窗口内发送或接收数据。如果某个基站在接收窗口期间发送数据，则会出现干扰。为了避免这种情况，从网络核心到RU需要的绝对定时精度约为1.5  $\mu$ s。

CoMP的原理是由一个UE同时与多个分开的基站进行通信，以提高系统性能和服务质量。要在协调的基站修正接收到的信号，计时非常关键。CoMP要求这种基站之间的相对计时精度约为260 ns-350 ns。

紧急定位服务依赖观测到达时间差（OTDOA）技术，由UE测量定位参考信号（PRS）到达参考基站和几个相邻基站的时差。时间测量越精确，得到的位置信息就越准确。要满足基于OTDOA的应用要求，就需要计时精度达到100 ns。

在任何情况下，稳定、准确、可靠的计时都是网络正确运行需要满足的基本条件。

在每个基站都使用全球网络卫星系统（GNSS）接收器提供计时的成本会非常高，而且在基站不能和足够数量的卫星实现直线对传（line of site）时会不太实用，例如基站位于市中心（例如旧金山或纽约市）的情况下。

5G网络将使用IEEE 1588/精准时间协议（PTP）和Synche，使基站能够通过以太网来同步频率和相位，从而将这些信息分发到每个基站，并确保所有设备彼此同步（见图8）。

每个网络的具体计时限制将取决于网络架构和所支持的应用程序类型。



多输入多输出 (MIMO) 技术可用来提高射频拉远头的容量和无线传输的可靠性。

## 大规模MIMO

多输入多输出 (MIMO) 技术可用来提高射频拉远头的容量和无线传输的可靠性。最常用的技术是空间分集, 使无线电波能够沿着多条路径传输到多个天线上, 增加了当其中的一条路径出现故障时, 另一条路径可以提供足够的信号来维持连接的可能性, 从而提高了传输的可靠性。

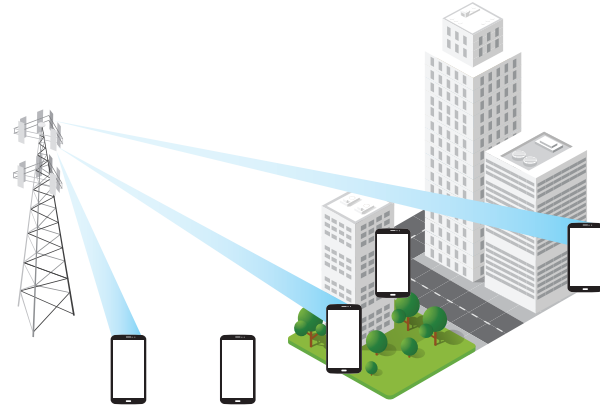


图9: 波束赋形

在4G中, 两个发射和两个接收 (2x2) 以及四个发射和四个接收 (4x4) 配置最为普遍。为了提高容量, 可以使用MIMO的能力, 即使用空间多路复用在多条路径上以相同的频率、无干扰地传输不同的信息。在5G大规模MIMO (mMIMO) 技术中, 正在实现超过64x64的天线阵列尺寸。5G RU的支持mMIMO具有集成的天线阵列, 这是因为在连接单独的天线时, 如果不采用这种天线阵列可能会出现布线和连接器问题, 以及在FR2频率中可能会出现信号损耗。但如果采用这种天线阵列, 就不需要在较小的MIMO配置中使用同轴电缆。

mMIMO还促进了波束赋形技术的使用, 让RU能够将MIMO阵列的射频能量集中朝向特定的UE。

## 5G网络架构

5G基站的架构取决于移动网络运营商 (MNO) 选择的架构划分方案。3GPP和eCPRI标准基于图10所示的网络组成部分, 提供了多个功能划分方案。取决于选择的方案, 各种功能可以由CU、DU或RU执行。下面列举了一些最常见的划分方案。

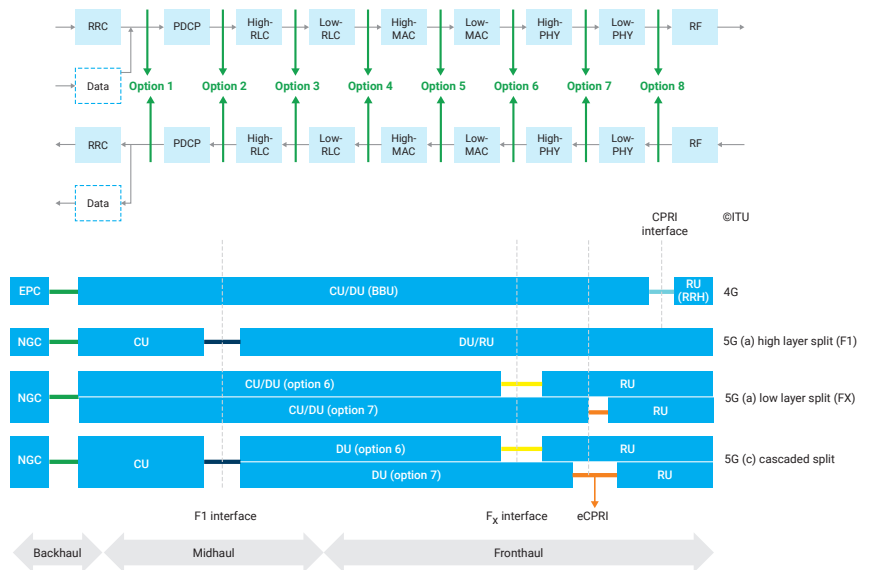


图10: 3GPP和eCPRI功能划分映射到CU/DU/RU上

选择使用哪个方案取决于整个网络的目标吞吐量和延迟要求。图11给出了一些预期的性能示例。

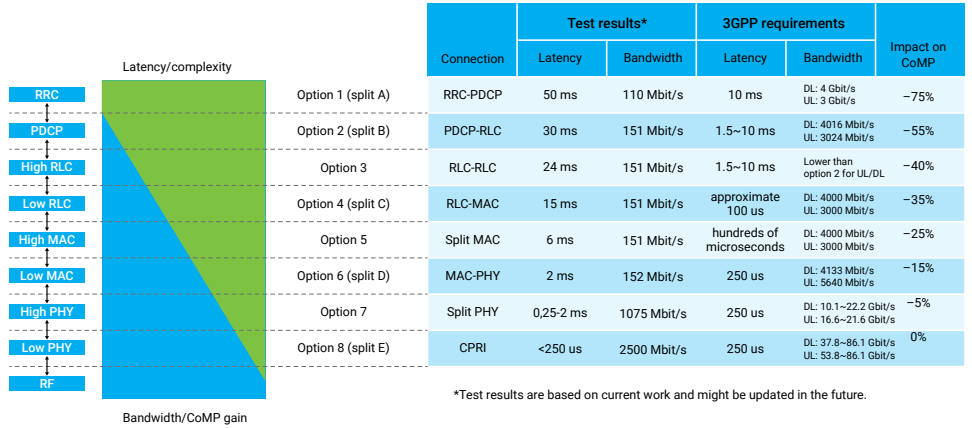


图11: 不同网络划分方案的吞吐量和延迟特性



在迈向5G的过程中，我们将看到更多标准，允许在多供应商设备之间实现互通。

将网络功能划分为CU、DU和RU需要定义另一个用于将这些设备互连起来的标准。和划分RRH和BBU功能引入了CPRI协议一样，新的功能划分引入了eCPRI和F1，它们两者都基于以太网技术。传统上，用于实现网络功能的设备由一家制造商提供。在迈向5G的过程中，我们将看到更多标准，允许在多供应商设备之间实现互通。开放式无线接入网（O-RAN）和电信基础设施项目（TIP）等计划正积极朝着这一目标努力，计划在2020底开始初步部署。EXFO积极参与这些组织的活动，并随着市场的发展，提供符合要求的测试设备。

### 5G的未来

未来部署的5G网络不仅会支持不同的网络划分方案，而且还可以让移动网络运营商从多个供应商中选择最好的设备来实施划分。

5G引入了网络切片的概念，避免需要采用不同架构来构建独立的网络以满足各种应用的延迟和吞吐量需求。这样，就可以将物理网络上的带宽分成许多切片，每个切片专门用于提供特定的功能。

### 5G网络切片

通过5G网络切片，运营商可以针对应用要求，量身打造虚拟的端到端网络。

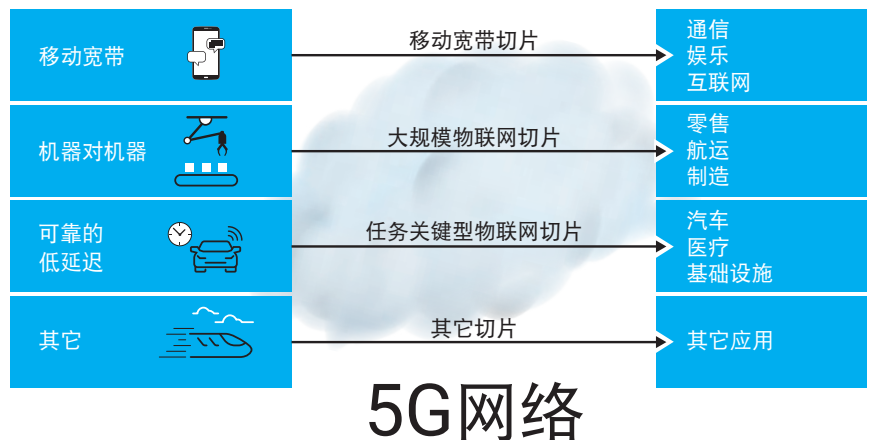


图12: 网络切片



## 其它资料

了解我们的产品

[FTB\\_5GPro——5G移动网络测试解决方案](#)

[Nova\\_SkyRAN——前传远程接入和监测](#)

阅读我们的博客

[走向5G：升级传输网](#)

[5G技术挑战和其它（5G调查的）重点](#)

[5G测试挑战：用于应对5G网络前五大挑战的EXFO解决方案](#)

## 网络虚拟化

5G采用的另一个概念是网络功能虚拟化（NFV）。设想5G网络中的每一个功能都可以在软件中建模，成为虚拟的网络功能（VNF），并且可以使用上述的标准化通信协议将这些模型结合在一起，以便为整个或部分网络创建一个完整的模型。如果我们还将计算机硬件虚拟化（即无论底层硬件如何，都提供一个通用接口），就可以在现成的计算机硬件上（即所谓的“白盒”）运行网络，从而降低总体网络成本。

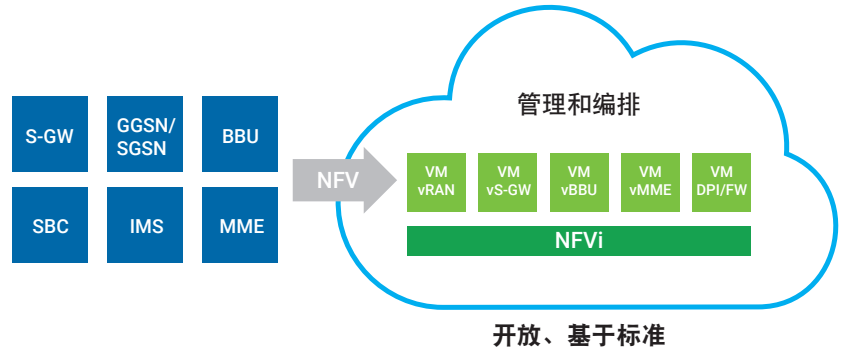


图13：网络功能虚拟化和编排

NFV的另一个概念是编排流程。为了建立可靠性和可扩展性都很高的服务，NFV要求网络能够创建新的VNF实例，并对所提供的服务进行监测、维修和计费。这些功能被分配到编排层，以确保高可用性和安全性，同时降低运营和维护成本。重要的是，无论采用哪种底层技术，编排层都必须能够管理来自不同厂商的VNF，从而使最终用户能够选择所需的VNF来构建其网络。

另一种补充技术是软件定义网络（SDN）。在SDN中，网络设备的控制面和数据面是分开的，使我们能够通过SDN控制器配置网络设备，而SDN控制器本身将成为编排功能的组成部分。这样，移动网络运营商能够在定义新的虚拟定义服务时通过编排来更改网络配置。

最终，当移动网络被虚拟化时，移动网络运营商就能够通过软件工具动态地创建新的网络切片和服务，从而节省部署专有硬件所需的时间和资源。

## 结束语

5G不仅可以提高网络速度，而且会给实施和使用移动网络的方式带来许多变化。它同时也给这些网络的建设、运营和维护带来了新的挑战。

5G不是所有运营商都能实现的单一解决方案，而是提供了一系列运营商可以选择的功能。运营商将选择不同的解决方案来支持成本、覆盖范围、延迟、吞吐量和其它参数，最终满足客户要求和自己的运营目标。例如，在北美，实施了一些5G网络以提供最大的覆盖范围，但其吞吐量较低，也实施了一些网络，其覆盖范围比较有限，但吞吐量非常高。随着移动运营商扩大其5G网络的覆盖范围，这种情况也会发展变化。

在5G功能持续扩展以提供更高吞吐量、更低延迟和更大容量的过程中，新的用户应用会不断涌现，特别是在通过移动网络连接智能车辆和智能设备等领域。

EXFO将继续积极参与5G标准化工作，并提供工具和创新，帮助您应对未来的挑战。如果您有任何疑问或想了解更多信息，请与我们联系。

## 术语表

<b>3D</b>	三维立体	<b>mMIMO</b>	大规模MIMO
<b>3GPP</b>	第三代合作伙伴计划	<b>mMTC</b>	大规模机器类通信
<b>5G NR</b>	5G New Radio	<b>mmWave</b>	毫米波
<b>BBU</b>	基带单元	<b>MNO</b>	移动网络运营商
<b>CoMP</b>	协作多点传输	<b>NFV</b>	网络功能虚拟化
<b>CPRI</b>	通用公共无线接口	<b>NSA</b>	非独立组网
<b>C-RAN</b>	集中型RAN	<b>OBSAI</b>	开放式基站架构
<b>CU</b>	集中单元	<b>O-RAN</b>	开放式无线接入网
<b>DL</b>	下行链路	<b>OTDOA</b>	观测到达时间差
<b>D-RAN</b>	分布式无线接入网	<b>PRS</b>	定位参考信号
<b>DU</b>	分布单元	<b>PTP</b>	精准时间协议
<b>eCPRI</b>	增强型CPRI	<b>RAN</b>	无线接入网
<b>eMBB</b>	增强型移动宽带	<b>RF</b>	射频
<b>EPC</b>	演进的分组核心网	<b>RRH</b>	射频拉远头
<b>FTTA</b>	光纤到天线	<b>RU</b>	远程单元
<b>GNSS</b>	全球导航卫星系统	<b>SA</b>	独立组网
<b>HD</b>	高清晰度	<b>SDN</b>	软件定义网络
<b>HVAC</b>	暖通空调	<b>SFP</b>	小型可插拔光模块
<b>IEEE</b>	电气与电子工程师协会	<b>SyncE</b>	同步以太网
<b>IoT</b>	物联网	<b>TDD</b>	时分双工
<b>LAN</b>	局域网	<b>TIP</b>	电信基础设施项目
<b>LTE</b>	长期演进	<b>UL</b>	上行链路
<b>MEC</b>	移动边缘计算	<b>uRLLC</b>	超可靠低延迟通信
<b>MIMO</b>	多输入多输出	<b>VNF</b>	虚拟网络功能

EXFO为100多个国家的2000多家客户提供服务。  
如欲了解当地分支机构联系详情，敬请访问[www.EXFO.com/contact](http://www.EXFO.com/contact)。