**瞭望2025全球6G技术发展趋势**

来源：微波射频网 作者：是德科技-Roger Nichols

6G目前还处在以研究为主的阶段，但在未来两年，6G将从技术研究走向实质性开发。业界已经达成共识，在2029年3月完成第一个版本的技术规范，因此6G的发展还有很长的一段路要走。几年前备受关注的使能技术经过了一定程度的培育和发展。进一步的技术研究、早期开发和一些初步的实验结果证明，甚至在某些情况下反证了某项技术的可行性，2025年最热门的技术无疑也会随之发生变化。瞭望2025年6G关键使能技术的发展趋势，是德科技6G项目经理Roger Nichols做了如下探讨。

首先，在 6G 关键使能技术中，大概率不会被踢出局的几项技术有：

**7-16GHz 地面移动无线通信系统**

无线技术的发展首先取决于可以使用的频谱资源。数据使用量的增加和无线连接的增长已经并将继续对频谱带宽提出越来越高的要求。对于移动运营商来说，最理想（某些时候甚至是唯一可接受的）的情况是在其运营的区域内独占频谱资源。并且，在这些频段上，他们可以支持足够高的无线电发射功率，以确保网络的高容量和高可靠性。对网络容量需求的增长促使人们不断探索如何重新利用7-24 GHz的无线电频谱资源，尤其是7-16 GHz的频段。该频段在无线电导航、无线电定位和卫星应用中具有重要用途。世界各地的政府机构大多使用这一频段，甚至将其作为专用频段，这使问题变得更加复杂。

若要确保移动无线网络在7-16 GHz 频段正常工作，就必须认真考虑如何共享部分频谱资源的问题。而频谱共享机制涉及复杂的政策和技术，因此两者都备受关注。即使是将这一频率范围中的部分频段专门留给商用无线网络使用，更高的传播损耗也会需要各方投入更多精力来应对繁重的技术工作任务。若要解决接收机信噪比较低的问题，最显著的方法就是缩小信号的覆盖范围。不过，由于无线电台站的购置成本高以及在更多蜂窝网络之间增加高密度回程连接所带来的挑战，这在经济适用性上对于移动运营商而言并不可行。因此，研究如何利用先进的集成无线电和天线系统来克服上述挑战至关重要（请参考下文中的新一代MIMO部分）。

**人工智能**

伴随着多种通用的、功能强大的大型语言模型（LLM）的出现，机器学习（ML）作为实现人工智能的关键技术之一变得非常流行。但是，电信网络工程师正在探索各种不同类型的大模型。LLM 基于网络上的大量文本数据来进行训练，提升理解和生成人类语言的能力。而移动无线网络行业正在开发人工智能技术来优化网络性能、解决无线电波束管理的复杂性、优化电路设计、提高数据传输效率以及降低整体功耗。

在这些领域并没有使用LLM, 而是采用基于网络和电路的技术数据，甚至是模拟和仿真工具生成的数据，训练出来的ML模型。关键的技术难题在于需要构建一个可靠的模型，并且要确保该模型能够持续取得比传统方法更加出色的效果。这些难题可以归纳为：如何开发、完善和训练模型（这意味着开发人员需要获取大量可信赖的数据）；2）如何验证模型在绝大多数情况下都能正常工作。

**新一代MIMO**

多路输入/多路输出（MIMO）技术是利用电磁波在发射端和接收端之间可以有多条传输路径（如直接路径、一条或多条反射路径）这一事实而开发的。  在 MIMO 出现之前，多路径传播一直是无线通信领域需要解决的痛点问题，它会造成 "多路径干扰"（有些人可能还记得电视机的花屏 “鬼影”，当时唯一的信号接入方式是通过天线的广播系统）。蜂窝网络中使用的 MIMO 现已发展到第四代。

为了解决用于5G网络的 3.5 GHz 频段下的高损耗问题，有必要采用最新的实现方式。基本方法包括：使用许多天线元件和复杂的数字信号处理（DSP），让天线元件之间能够协同工作，提高接收端的有效信噪比；不断测量发射端和接收端之间的信道状态（移动无线信道处于不断变化的状态），使得DSP 能够持续执行任务，利用多个天线元件来克服信道状态的不断变化。 在保持信号覆盖范围不变的情况下（例如，保持与 3.5 GHz频段相同的最大收发距离），向 7-16 GHz 频段演进意味着 MIMO 系统的技术复杂性进一步提高：将搭载更多的天线元件甚至是分布式天线元件，并配备更强的 DSP。  鉴于整个系统所需克服的复杂性，这是利用 ML 的绝佳机会。

**Open RAN**

无线接入网（RAN）指的是无线通信系统中连接移动终端设备（如智能手机）与基站之间的传输网络。在5G网络出现之前，RAN是一个封闭的架构，少数几家大型网络设备制造商都使用自己的专有网络设备。然而，将 RAN 的数字部分虚拟化（在高性能通用服务器上运行的软件实体）的想法促使业界共同努力将由此带来的RAN系统功能拆分（无线电单元、数字单元、集中单元）标准化，同时在这些架构组件之间也实现接口的标准化。这种O-RAN （开放式无线接入网络）架构带来了新的概念，包括 RAN 功能的智能控制（RAN 智能控制器或 RIC），这其中 ML 已经在一定程度上得到了应用。许多人认为，O-RAN（和其他开放标准）是实现 6G 的必由之路。因此在该领域，业界正在开展进一步的工作，以便推动这些概念的迭代升级。

其次，在2025年，6G 领域中下面这几项技术将备受关注，但商业化风险较高。

**毫米波技术（用于5G网络的24-71 GHz频段）**

3GPP 协议规定的频率范围 2（FR2）已在 5G 网络中投入使用，不过业界一直在努力推动其商业化进程，希望该服务能够盈利。但是这项技术依然价格昂贵，没有明确的 "杀手级应用 "来推动应用的普及和量产（从而通过规模经济效应来降低成本）。此外，还需要在标准的制定和实际部署方面下功夫，以提高无线链路的可靠性，尤其是智能波束管理，它与多输入多输出（MIMO）类似，依赖于准确的实时信道状态信息，也可受益于 ML。然而，这对更高网络容量和频谱接入的需求是巨大的，7-17 GHz频率范围释放出来的容量是远远不够的。因此，FR2频段（大部分已分配但尚未充分利用）可以成为其中必要的一部分。

**地面和非地面网络的融合**

最近有很多关于地面和非地面无线网络（NTN）融合的新闻，也就是利用卫星和高空平台基站（HAPS--气球、亚轨道平流层飞艇等）。这关系到是否能够实现更好的信号覆盖和更高的可靠性，特别是在发生自然灾害或海难时。 然后，要实现这些技术也颇具挑战性：

•  从发射端到接收端的距离高达数百公里（而不是数百米）

•  需要管理多个不同网络之间的数据传输

•  需要进行干扰管理，因为传输方向增加了一个维度（几乎没有手机信号塔会将信号直接向上或者向下发射，而且所有标准化的无线电信道模型都只有二个维度）

这是一个令人振奋的领域，虽然卫星公司的商业模式似乎显而易见（相同的基础设施，更多的用户），但对于管理地面网络的移动运营商来说，却不那么清晰。

**集成传感与通信（ISAC）**

利用通信信号感知周围的环境是另一个备受关注的领域。交通管理、无人机管理、人群管理以及无数其他应用都在考虑使用这样技术。所面临的挑战主要与以下两个方面有关：电磁波的频率、波长和信号带宽；网络容量管理。信号的频率、波长和带宽与传感技术能否达到超高的物理和时间精度有直接关系。网络容量也很重要，将无线网络资源仅用于传感意味着这些资源不能被用于通信，而网络容量需求已在上文讨论过。

然而，适合用于数据通信的信号并不一定适合用于传感。此外，如果传感和通信可以使用完全相同的信号，也不能保证实现传感所需的信号理想方向与系统传输所需的电磁波信号的方向一致。因此，在技术层面执行的工作意味着除了要应对来自多个基站和移动设备的复杂传感干扰之外，还要应对多重挑战。这方面的商业模式并不明显，因此这项技术的最终效用还有待观察。

第三，下面这些课题仍然会受到科研界的关注，但其商用的可能性会更加不明朗。

**智能超表面**

在许多无线通信系统中，信号在室内传播和室外到室内的传播都存在着问题。 例如，停车场、大型商业楼宇、购物中心和室内体育馆都采用分布式天线系统和无线电中继器，有时甚至采用额外的独立基站。理论上，使用安装在墙壁上的大型 "表面 "来实施智能反射表面这项技术，是一种成本较低的方法，可以使室内的信号接收效果大为改观。它们也将变得足够智能，能够适应不断变化的环境条件（人员、家具变化、室内机器搬迁等）。  目前面临的挑战是如何在降低成本的同时，提高可靠性和灵活性，并提高性能。还需要开展大量的工作来解决诸多挑战，特别是在降低成本方面这种需求更加迫切。

**亚太赫兹技术（频率超过100 GHz）**

由于在上文提到的FR2 频段上缺乏商业成功，工作频率在100 GHz 以上超宽频带范围吸引力减弱。再加上亚太赫兹频段比 24-71 GHz 频段更昂贵、更难管理的事实，这种情况进一步加剧。业界和学术界仍在进行大量研究，但太赫兹频段已不再被考虑纳入6G 无线接入技术的主流用途。尽管如此，使用 D 波段技术（110-170 GHz）的点对点 “微波”通信链路已经取得了巨大成功。对高容量回程数据传输解决方案的巨大需求可能会推动在该领域和其他利基应用中对更高频率技术的进一步投资。不出所料，正在研究的技术包括半导体、天线、波束管理、高速数字信号处理器，甚至带内全双工技术（同时发送和接收数据，使数据传输速率提高一倍）。