

5G 通信概述

报告主要内容:

● 报告简要介绍了 5G 通信技术的概况, 并将 5G 通信技术指标与 4G 通信技术指标进行对比, 5G 具有跨越式的发展, 有更大的吞吐量、更低的延迟、超高的可靠性、更高的连接密度和更广的移动性范围。

● 报告简要介绍了 5G 通信的关键技术, 如大规模 MIMO 技术、基于滤波器组的多载波技术、全双工技术以及新型网络构架。

● 报告简要梳理了 5G 通信行业的上中下游产业链, 并对产业链各个环节发展状况做了概括性的说明。

专题研究员



汪颢

☎: (8610)

✉: @chinastock.com.cn

报告完成日期: 2018 年 11 月 15 日

一、5G 的概念及其特点

5G (fifth-generation) 是第五代移动技术的简称,是面向 2020 年以后移动通信需求而发展的新一代移动通信系统。

我国移动通信经历“2G 跟踪, 3G 突破, 4G 同步”各阶段,于 2016 年 1 月成立互联网会议 (IEMeeting, IMT) 2020 (5G) 推进组,从 5G 业务、频率、无线传输与组网技术、评估测试验证技术、标准化及知识产权等方面,全面发力 5G。工信部为 5G 技术研发试验规划 4 个频段: 3.3~3.6GHz, 4.8~5.0GHz, 24.75~27.5GHz, 37~42.5GHz。国际电信联盟 (International Telecommunication Union, ITU) 勾勒出 5G 将会面向的 3 大场景: 增强移动宽带场景、低时延高可靠场景和大连接低功耗场景¹。

根据移动通信的发展规律,5G 具有超高的频谱利用率和能效,在传输速率和资源利用率等方面较 4G 移动通信提高一个量级或更高。其无线覆盖性能、传输时延、系统安全和用户体验也将得到显著的提高。5G 移动通信将与其他无线应用通信技术密切结合,构成新一代无所不在的移动通信网络,满足未来十年移动互联网流量增加 1000 倍的发展需求。5G 移动通信系统的应用领域也将进一步扩展,对海量传感设备及机器与机器 (M2M) 通信的支撑能力将成为系统设计的重要指标之一。未来 5G 系统还须具备充分的灵活性,具有网络自感知、自调整等智能化能力,以应对未来移动信息社会难以预计的快速变化。

第五代移动技术 (5G) 定位于应对 2020 年及以后的需求和业务环境。人们寄希望于 5G 能实现一个充分流动和相互联系的社会,并以无数今天无法想象的方式促进社会经济转型,其中许多方式包括生产力、可持续性和福利。完全移动和连接的社会的需求特点是连接和密度/流量的巨大增长,为实现这一目标需要构建多层次的密集组网方式,以及广泛使用的案例及商业模式。

因此,在 5G 中,需要推动性能的极限,以便在需要时提供更大的吞吐量、更低的延迟、超高的可靠性、更高的连接密度和更广的移动性范围。这些较强的性能被期望用来控制高度异构环境能力,以及确保安全和信任、身份和隐私等方面的能力。

¹ CMCC, Huawei, ZTE 等, 大规模天线技术白皮书 V0.1[EB/OL]. (2017-02-06) [2018-03-01].<http://gtigroup.org/>.

在扩展移动网络性能范围的同时，5G 应该通过设计嵌入灵活性来优化网络使用，同时适应广泛的用例、业务和伙伴关系模型。5G 体系结构应该包括模块化的网络功能，可以根据需要进行部署和扩展，以一种灵活的、低成本的方式适应各种用例。

与目前商用的 4G 技术相比，5G 技术在以下几点上有较大的改善和突破：

表 1 5G 通信技术与 4G 技术的主要指标对比

主要技术指标	国际电信联盟的 5G 标称值	与 4G 相比的改善提高
业务量密度	10 Tbps/km ²	1000 倍
连接密度	1 million/km ²	1000 倍
时延	1 ms	1/10 倍
峰值数据速率	10/20 Gbps	100 倍
用户体验数据速率	0.1-1Gbps 或 0.1 Gbps+描述值	10 倍
机动性	500 Km/h	<5 倍
频谱效率	[2/3/5]x	<5 倍
能量效率	100x(network)	100 倍

二、5G 通信的关键技术

1、大规模 MIMO 技术

多天线技术作为提高系统频谱效率和传输可靠性的有效手段，已经应用于多种无线通信系统，如 3G 系统、LTE、LTE-A、WLAN 等。根据信息论，天线数量越多，频谱效率和可靠性提升越明显。尤其是，当发射天线和接收天线数量很大时，MIMO 信道容量将随收发天线数中的最小值近似线性增长。因此，采用大数量的天线，为大幅度提高系统的容量提供了一个有效的途径。由于多天线所占空间、实现复杂度等技术条件的限制，目前的无线通信系统中，收发端配置的天线数量都不多，比如在 LTE 系统中最多采用了 4 根天线，LTE-A 系统中最多采用了 8 根天线。但由于其巨大的容量和可靠性增益，针对大天线数的 MIMO 系统相关技术的研究吸引了研究人员的关注，如单个小区情况下，基站配有大大超过移动台天线数量的天线的多用户 MIMO 系统的研究等。进而，2010 年，贝尔实验室的 Marzetta 研究了多小区、TDD (time division duplexing) 情况下，各基站配

置无限数量天线的极端情况的多用户 MIMO 技术,提出了大规模 MIMO (large scale MIMO, 或者称 Massive MIMO) 的概念,发现了一些与单小区、有限数量天线时的不同特征。之后,众多的研究人员在此基础上研究了基站配置有限天线数量的情况。在大规模 MIMO 中,基站配置数量非常大(通常几十到几百根,是现有系统天线数量的1~2个数量级以上)的天线,在同一个时频资源上同时服务若干个用户。在天线的配置方式上,这些天线可以是集中地配置在一个基站上,形成集中式的大规模 MIMO,也可以是分布式地配置在多个节点上,形成分布式的大规模 MIMO。值得一提的是,我国学者在分布式 MIMO 的研究一直走在国际的前列。

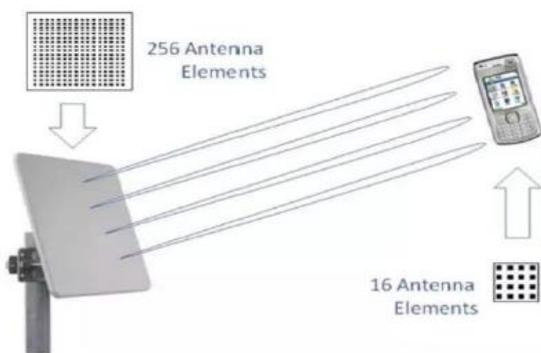


图 1 MIMO 技术示意图

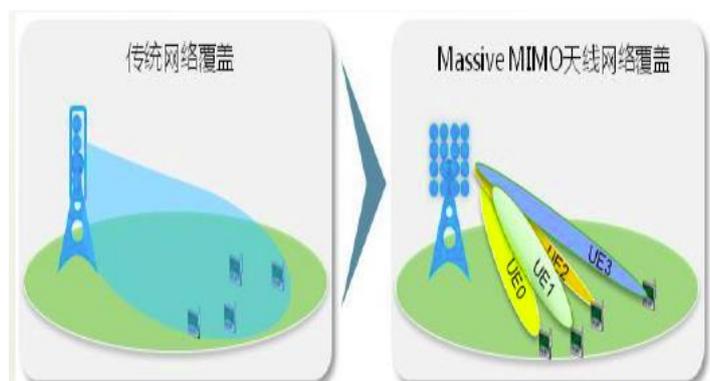


图 2 传统天线覆盖和 massive MIMO 天线覆盖对比

大规模 MIMO 带来的好处主要体现在以下几个方面：第一，大规模 MIMO 的空间分辨率与现有 MIMO 相比显著增强，能深度挖掘空间维度资源，使得网络中的多个用户可以在同一时频资源上利用大规模 MIMO 提供的空间自由度与基站同时进行通信，从而在不增加基站密度和带宽的条件下大幅度提高频谱效率。第二，大规模 MIMO 可将波束集中在很窄的范围内，从而大幅度降低干扰。第三，可大幅降低发射功率，从而提高功率效率。第四，当天线数量足够大时，最简单的线性预编码和线性检测器趋于最优，并且噪声和不相关干扰都可忽略不计。

近两年针对大规模 MIMO 技术的研究工作主要集中在信道模型、容量和传输技术性能分析、预编码技术、信道估计与信号检测技术等方面，但还存在一些问题：由于理论建模和实测模型工作较少，还没有被广泛认可的信道模型；由于需要利用信道互易性减少信道状态信息获取的开销，目前的传输方案大都假设采用 TDD 系统，用户都是单天线的，并且其数量远小于基站天线数量。导频数量随用户数量线性增加，开销较大，信号检测和预编码都需要高维矩阵运算，复杂度高，并且由于需要利用上下行信道的互易性，难以适应高速移动场景和 FDD (frequency division duplexing)

系统；在析信道容量及传输方案的性能时，大都假设独立同分布信道，从而认为导频污染是大规模 MIMO 的瓶颈问题，使得分析结果存在明显的局限性，等等。因此，为了充分挖掘大规模 MIMO 的潜在技术优势，需要深入研究符合实际应用场景的信道模型，分析其对信道容量的影响，并在实际信道模型、适度的导频开销、可接受的实现复杂度下，分析其可达的频谱效率、功率效率，并研究最优的无线传输方法、信道信息获取方法、多用户共享空间无线资源的联合资源调配方法。

针对以上问题的研究，存在诸多的挑战，但随着研究的深入，大规模 MIMO 在 5G 中的应用被寄予了厚望，可以预计，大规模 MIMO 技术将成为 5G 区别于现有系统的核心技术之一。

2、基于滤波器组的多载波技术

由于在频谱效率、对抗多径衰落、低实现复杂度等方面的优势，OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 技术被广泛应用于各类无线通信系统，如 WiMaX、LTE 和 LTE-A 系统的下行链路，但 OFDM 技术也存在很多不足之处。比如，需要插入循环前缀以对抗多径衰落，从而导致无线资源的浪费；对载波频偏的敏感性高，具有较高的峰均比；另外，各子载波必须具有相同的带宽，各子载波之间必须保持同步，各子载波之间必须保持正交等，限制了频谱使用的灵活性。此外，由于 OFDM 技术采用了方波作为基带波形，载波旁瓣较大，从而在各载波同步不能严格保证的情况下使得相邻载波之间的干扰比较严重。在 5G 系统中，由于支撑高数据速率的需要，将可能需要高达 1 GHz 的带宽。但在某些较低的频段，难以获得连续的宽带频谱资源，而在这些频段，某些无线传输系统，如电视系统中，存在一些未被使用的频谱资源(空白频谱)。但是，这些空白频谱的位置可能是不连续的，并且可用的带宽也不一定相同，采用 OFDM 技术难以实现对这些可用频谱的使用。灵活有效地利用这些空白的频谱，是 5G 系统设计的一个重要问题。

为了解决这些问题，寻求其他多载波实现方案引起了研究人员的关注。其中，基于滤波器组的多载波(FBMC, Filter-bank based multicarrier) 实现方案是被认为是解决以上问题的有效手段，被我国学者最早应用于国家 863 计划后 3G 试验系统中。滤波器组技术起源于 20 世纪 70 年代，并在 20 世纪 80 年代开始受到关注，现已广泛应用于图像处理、雷达信号处理、通信信号处理等诸多领域。在基于滤波器组的多载波技术中，发送端通过合成滤波器组来实现多载波调制，接收端通过分析滤波器组来实现多载波解调。合成滤波器组和分析滤波器组由一组并行的成员滤波器构成，其中各个成员滤波器都是由原型滤波器经载波调制而得到的调制滤波器。与 OFDM 技术不同，FBMC 中，由于原型滤波器的冲击响应和频率响应可以根据需要进行设计，各载波之间不再必须是正交的，不需

要插入循环前缀；能实现各子载波带宽设置、各子载波之间的交叠程度的灵活控制，从而可灵活控制相邻

子载波之间的干扰，并且便于使用一些零散的频谱资源；各子载波之间不需要同步，同步、信道估计、检测等可在各自载波上单独进行处理，因此尤其适合于难以实现各用户之间严格同步的上行链路。但另一方面，由于各载波之间相互不正交，子载波之间存在干扰；采用非矩形波形，导致符号之间存在时域干扰，需要通过采用一些技术来进行干扰的消除。

FBMC 技术作为 5G 系统多载波方案的重要选择，吸引了越来越多人的研究兴趣。由于在 FBMC 技术中，多载波性能取决于原型滤波器的设计和调制滤波器的设计，而为了满足特定的频率响应特性的要求，要求原型滤波器的长度远远大于子信道的数量，实现复杂度高，不利于硬件实现。因此，发展符合 5G 要求的滤波器组的快速实现算法是 FBMC 技术重要的研究内容。

3、全双工技术

全双工通信技术指同时、同频进行双向通信的技术。由于在无线通信系统中，网络侧和终端侧存在固有的发射信号对接收信号的自干扰，现有的无线通信系统中，由于技术条件的限制，不能实现同时同频的双向通信，双向链路都是通过时间或频率进行区分的，对应于 TDD 和 FDD 方式。由于不能进行同时、同频双向通信，理论上浪费了一半的无线资源(频率和时间)。由于全双工技术理论上可提高频谱利用率一倍的巨大潜力，可实现更加灵活的频谱使用，同时由于器件技术和信号处理技术的发展，同频同时的全双工技术逐渐成为研究热点，是 5G 系统充分挖掘无线频谱资源的一个重要方向。

但全双工技术同时也面临一些具有挑战性的难题。由于接收和发送信号之间的功率差异非常大，导致严重的自干扰(典型值为 70 dB)，因此实现全双工技术应用的首要问题是自干扰的抵消。近年来，研究人员发展了各类干扰抵消技术，包括模拟端干扰抵消、对已知的干扰信号的数字端干扰抵消及它们的混合方式、利用附加的放置在特定位置的天线进行干扰抵消的技术等，以及后来的一些改进技术。通过这些技术的联合应用，在特定的场景下，能消除大部分的自干扰。研究人员也开发了实验系统，通过实验来验证全双工技术的可行性，在部分条件下达到了全双工系统理论容量的 90%左右。虽然这些实验证明了全双工技术是可行的，但这些实验系统都基本是单基站、小终端数量的，没有对大量基站和大量终端的情况进行实验验证，并且现有结果显示，全双工技术并不能在所有条件下都获得理想的性能增益。比如，天线抵消技术中需要多个发射天线，对大带宽情况下的

消除效果还不理想，并且大都只能支持单数据流工作，不能充分发挥 MIMO 的能力，因此，还不能适用于 MIMO 系统；MIMO 条件下的全双工技术与半双工技术的性能分析还多是一些简单的、面向小天线数的仿真结果的比较，特别是对大规模 MIMO 条件下的性能差异还缺乏深入的理论分析，需要在建立更合理的干扰模型的基础上对之进行深入系统的分析；目前，对全双工系统的容量分析大多是面向单小区、用户数比较少，并且是发射功率和传输距离比较小的情况，缺乏对多小区、大用户数等条件下的研究结果，因此在多小区大动态范围下的全双工技术中的干扰除技术、资源分配技术、组网技术、容量分析、与 MIMO 技术的结合，以及大规模组网条件下的实验验证，是需要深入研究的重要问题。

4、新型无线网络架构

相对于 4G 无线接入网（RAN）的基带处理单元（BBU）、射频拉远单元（RRU）两级结构，5G 新型无线网络架构重新划分了 BBU 和 RRU 功能，实现基带资源的集中化处理，并设计新前传借口实现网络架构的灵活部署，从而进一步提高资源利用率、降低基站能耗以及网络建设和运营成本。支持 5G 新空口的 gNB 可采用集中单元（CU）、分布单元（DU）和有源天线单元（AAU）三级结构。原 BBU 的非实时部分将分割出来，重新定义为 CU，负责处理非实时协议和服务，主要包含分组数据汇聚协议（PDCP）和无线资源控制（RRC）；BBU 的部分物理层处理功能和原 RRU 合并为 AAU，主要包含底层物理层（PHY-L）和射频（RF）；BBU 的剩余功能重新定义为 DU，负责处理物理层协议和实时服务，包含无线链路控制（RLC）、介质访问控制（MAC）和高层物理层（PHY-H）等。

5G 新型无线网络架构由分布单元（distributed unit, DU）、集中单元（central unit, CU）以及连接两者的新一代前传接口组成。DU 包含了原本 RRU 的射频部分和原本 BBU 一部分基带处理功能；CU 则包含了其余的基带处理功能，实现基带资源的部分集中或全部集中处理，实现基带资源的部分集中或全部集中处理。5G RAN 的 CU 和 DU 存在多种部署方式。当 CU、DU 合设时，5G RAN 与 4G RAN 结构类似，相应承载也是前传和回传两级结构，但 5G 基站（gNB）的接口速率发生了明显变化，当 CU、DU 分设时，相应承载将演进为前传、中传和回传三级结构。

在 5G 新型无线网络架构中，前传接口除了需要由更高带宽和更低时延，以满足大规模 MIMO 等 5G 星技术带来的高带宽及低时延需求外，还需支持数据分组化以实现针对不同业务场景的 CU/DU 灵活部署。这种新型架构一方面降低了原有架构对前传接口的带宽和时延要求；另一方面

利用基带资源的集中化，实现资源共享和多小区的灵活协作调度，便于平台虚拟化，提高资源利用率，降低网络建设及运营成本。通过 CU 部分的虚拟化并配合高性能和开放性的前传接口，5G 无线网络可以支持更为灵活的部署。

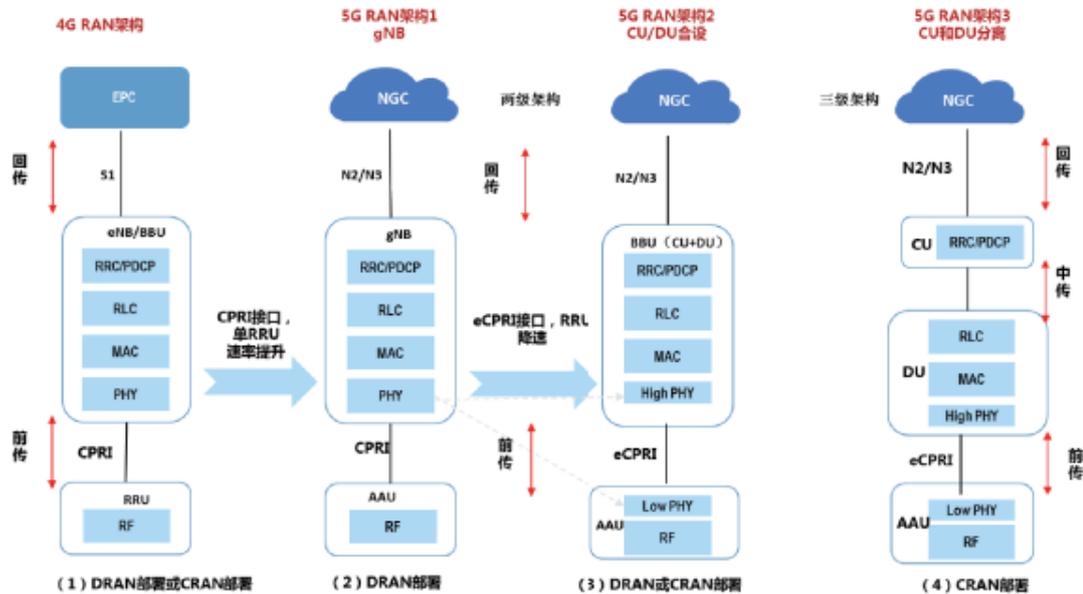


图 3 5G RAN 分级架构

三、5G 通信技术的应用场景

产业融合变革加速化。在 5G 技术大范围应用的背景下，各行业的发展速度必然加快，行业与行业之间的交流更加频繁与高效，产业融合变革也随之加强，特别适合新型信息化产业以及新型产业融合变革也随之加强，特别是新型信息化产业以及新型工业化产业之间的融合将实现加速化变革。5G 移动通信网络技术将制造、零售、服务等各行各业进一步紧密的联系起来，缩短了各行业之间的距离，降低了行业间交流的成本，使智能化、合作化、信息化成为生产、营销、消费等各个环节的发展趋势，更新了产业发展的生产周期，为产业融合注入利润智能化管理思维，将大大加速产业融合变革。

5G 的到来将开启万物互联、产业智联、跨产业融合创新的新时代。作为下一个改变世界的技术，5G 在“云、管、端”三个方面都得到了全方面的提升，尤其是超高清的视频能力将成为新的网络基础能力，辅以人工智能、虚拟现实等技术的相互交叉融合以及百花齐放的终端，将会让 5G 更开放、更安全、更加丰富多彩。

根据 ITU（国际电信联盟）的愿景，5G 的应用场景应划分为增强型移动宽带（eMBB）、大连接物联网（mMTC）和低时延高可靠通信（uRLLC）三类。

eMBB 场景下主要的应用的产品是 AR、VR 以及 4K 视频。AR 和 VR 目前都面临技术瓶颈的限制导致产品体验欠佳，而且这些产品的标准目前也处于混乱不统一的阶段，导致各种产品之间难以相互兼容，同时它们也面临着下游内容匮乏的局面，这些问题导致 VR 和 AR 在四五年内才可以突破市场。eMBB 网络容量要求较 4G 有很大的提高，Massive MIMO（大规模天线）是现实 5G 网络容量要求的关键技术之一。根据移动通信的常识，要在物理层提高网络容量（以达到 5G 的目标速率），只能通过扩大带宽、提升频谱利用效率和增加小区三种方式来实现。Massive MIMO 成为提高频谱利用效率的必选项。

uRLLC，最主要的应用领域就是车联网无人驾驶是车联网应用最大的风口。但是目前车联网所使用的激光雷达成本仍然高达 8000 美元一台，而且效果欠佳，核心部件成本过高仍然阻碍着车联网的乏力。此外国内对于无人驾驶的政策迟迟没有放开，目前在道路上进行无人车实验在法律上仍属违法。

低功耗广覆盖场景主要的应用领域是智慧城市、智能家居和工业互联网，属于 5G 技术可以最早进行商用的领域。但是这一场景主要针对的是 B 或 G 段场景，而这一场景的主要特性是场景破碎化特征显著，每一个情境都有自己特定的需求，这就导致物联网的终端需求难以迅速拉动，这一需求会呈现出逐步释放的状态。

5G 通信技术将主要用于以下四个新的应用场景：

1、车联网：物联网与智能汽车的深度融合，通过整合人、车、路、周围环境等相关信息，为人们提供一体化服务。依靠 5G 的低时延、高可靠、高效率、安全性等优势，将有效提升对车联网信息及时准确采集、处理、传播、利用、安全能力，有助于车与车、车与人、车与路的信息互通与高效协同，有助于消除车联网安全风险。推动车联网产业快速发展。预计到 2030 年，我国车联网行业中 5G 相关投入（通信设备和通信服务）大约 120 亿元左右。无人驾驶的汽车穿梭在城市的大街小巷，在无人值守的工厂智能化生产线流水作业，优质的医疗资源将摆脱地域限制服务于千家万户。依托 5G 的超高速率、超低时延和超大连接以及网络切片、边缘计算等新能力、新特性，这些畅想将成为现实，深刻改变我们的社会。

2、工业领域：5G 将广泛深入应用于工业领域，工厂车间中将出现更多的无线连接，将促使工厂车间网络架构不断优化，有效提升网络化协同制造与管理水平，促进工厂车间提质增效。预计到 2030 年，我国工业领域中，5G 相关投入（通信设备和通信服务）约达 2000 亿元。

3、医疗行业：能有效满足如远程医疗过程中低时延、高清画质和高可靠高稳定等要求，推动远程医疗应用快速普及，实现对患者（特别是边远地区患者）进行远距离诊断、治疗和咨询。预计到 2030 年，我国远程医疗行业中 5G 相关投入（通信设备和通信服务）将达 640 亿元。

4、能源领域：能源互联网是一种互联网与能源生产、传输、储存、消费以及市场深度融合的能源产业发展新形态，具有设备智能、多能协同、信息对称、供需分散、系统扁平、交易开放等主要特征。依托 5G 具备高速、实时和海量接入等特点。将进一步促进能源互联网扁平化、协同化、高效化和绿色化。预计到 2030 年，我国能源互联网行业中 5G 相关投入（通信设备和通信服务）将超 100 亿元。

四、5G 产业链梳理

我国的 5G 产业链梳理如下：

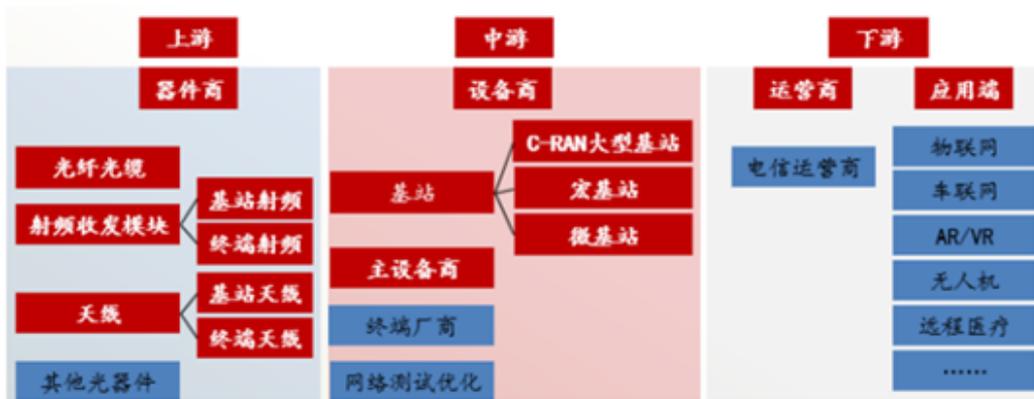


图 4 5G 通信产业链

传统通信是通信领域最大的组成部分，主要指提供通信服务的通信网络产业链。传统通信产业链主要为客户提供运营服务，包括有线和无线网络两个部分，其中上游主要为光器件、光纤光缆、无线射频厂商；中游设备商及运维网优厂商；下游主要是运营商。

通信行业为科技拉动型产业，每一次的技术革新，将会带来技术及器件、设备上颠覆性的发展变化，需要大量的资金投入。上游运营商资本支出起着水龙头的角色，整个传统通信产业链随着运

营商资本支出的变化呈现周期性波动,运营商资本支出又随着每一代无线网络升级换代呈周期性波动。波动周期大致五年,第一阶段(第1-3年)主要是基站等无线侧的建设,第二阶段(第3-5年)首先是随着新一代无线网络用户渗透率提升,加强固网建设,然后随着渗透率的饱和,加大数据中心建设。

4G时期,2014年-2016年主要是无线网络建设,主设备厂商和光器件厂商为获利龙头;2015年-2017年加大固网建设,光纤光缆为获利龙头;2017年-2019年为对应的数据中心建设,数通市场光器件厂商为获利龙头。

与4G建设周期类似,5G时期,2019年-2021年时无线网络建设高峰期,无线侧的基站天线、主设备、光器件厂商为获利龙头,随后光纤光缆厂商随之发展。

五、产业上中下游发展情况概述

下游电信运营商呈寡头竞争市场,三家电信运营商分庭抗礼,三家公司保持高速的年增长量,行业竞争激烈。随着通信技术的发展,全球运营商在市场上不断整合集中,中国电信运营商的话语权将越来越强。但是随着人口红利的逐步消失,新用户的增长将放缓,同时行业的竞争及政策的因素,传统业务的利润将进一步收窄。因此,我国电信运营商应着手推进新的应用场景的开发,大力拓展物联网、车联网等场景的商用规模,找到新的利润增长点。

中游主设备商,华为、中兴、爱立信和新诺基亚四足鼎立,中兴、华为事件凸显国内光通信产业上游核心芯片和关键器件的缺失,以及我国通信设备产业大而不强,底子不厚的真实现状。以基站为例,虽然华为、中兴已位居全球通信主设备市场前四,但是除了几颗数字基带芯片是自产,通信链路上的RF、PLL、ADC/DAC乃至外围测量电源电压的西片都是来自国外。虽然整机厂,通过自产基带芯片掌握核心算法,但是无法解决被国外芯片和器件商“卡脖子”的问题。

上游行业光纤光缆产业国产化程度高,我国主要光纤生产企业,如长飞、烽火、亨通、中天等,加大了光棒的研究,目前,我国光前企业已基本是此案光纤预制棒的自给自足。光器件产业处于光通信产业链的上游,为下游系统设备商提供器件、模块、子系统等产品,其性能的好坏直接影响到光纤通信系统的质量。尽管国内已经有光迅科技、新易盛、苏州旭创、昂纳科技这些光模块厂商具备一定的供货能力,但是必须面对的现实是,受制于光芯片研发制备能力,目前我国光模块器件竞争力较弱,占全球总体市场不足10%,且多集中在低端2.5G以下产品,10G产品刚刚量产,100G

高端产品尚为空白。这与中下游的光纤光缆及光设备在全球的地位严重不匹配，成为我国光通信行业发展的瓶颈。

但是高端光芯片及器件的缺失，说明我国光器件、模组厂商进口替代的空间巨大。根据 OVUM 数据，2015 年，我国三大主设备商在光网络设备、光接入设备的市占率分别达到 45%、67%、23%，数通设备相对短板，占比约 23%。光器件、光模组作为其共同的上游，在全球的市占率尚不足 10%，并且，主要集中在中低端器件领域，而在高端器件和核心芯片领域严重缺失，使得华为、中兴等主设备商必须通过外购满足需求。在数据通信领域，我国设备商正处于快速增长阶段，同样具备国产化率逐渐提升的逻辑。若我国光器件、模组厂商能够通过技术提升和产业升级，不断满足下游设备商的需求，将存在 4-5 倍的份额提升空间；另一方面，中兴、华为及烽火三大巨头在全球的份额还在不断提升，进一步为上游器件市场的提升拓展空间。

六、5G 产业对经济增长的作用路径

5G 投资对经济增长的作用路径体现在两个方面：

一是投资需求路径。作为总需求的重要组成部分，投资的增加将直接拉动总需求扩张，带动总产出增长，推动经济发展。5G 技术的大规模产业化、市场化应用，必须以运营商网络设备的先期投入作为先决条件，运营商对 5G 网络及相关配套设施的投资，将直接增加国内对网络设备的需求，间接带动元器件、原材料等相关行业的发展。

Massive MIMO 技术应用多波束技术，支持更大阵列天线，天线数量提升到 64、128 甚至 256 个。一般宏基站有 3 面天线，少数可能有 6 面天线，5G 单站振子数量大幅增加，同时，宏基站自身的数量达到 4G 的 1.5 倍，天线振子的市场规模将大幅增长。此外，5G 基站结构变化，4G 时代，一个标准的宏基站主要由基带处理单元 BBU、射频处理单元 RRU 和天线三个部分组成。5G 无线接入网重构方案，将 BBU 拆分为 CU-DU 两级架构，同时 Massive MIMO 技术将天线变成一体化有源天线 AAU。5G 市场对器件的需求将成倍增长，带动相关产业发展、技术进步。

从终端设备上来看，5G 频谱增量将导致 5G 及手机线数增加，为手机天线市场带来增量。同时，对滤波器、功率放大器以及低噪声放大器的需求量也相应扩大，为射频前端市场带来市场增量。

此外，MIMO 技术使得宏基站天线振子需求量倍数增长，带动了 PCB 材料使用面积的增加，除宏基站天线 AAU 射频板外，基站设备中还有馈电、校准等处用到 PCB 板，总量大致与 AAU 处相当，预计 5G 宏基站市场规模约 200 亿元。

二是投资供给路径。投资以技术、产品、人力等各种形式成新的资本，促进技术进步和生产效率提升，增强经济社会长期发展的动力。5G 的低时延、高速率、低成本特性，将吸引国民经济各行业扩大 5G 相关投资，加大 ICT 资本投入比重，提升各行业数字化水平，提高投入产出效率，进而促进经济结构优化，推动经济增长。

免责声明

本报告由中国银河证券股份有限公司博士后科研工作站向社会公开发布，无意针对或打算违反任何国家或地区的法律法规。

本报告基于本公司博士后科研工作站研究人员认为可信的公开资料或实地调研获取的资料进行撰写,但本公司及其研究人员对这些信息的真实性、准确性以及完整性不做任何保证。

本报告反映研究人员个人的不同设想、见解、论证及判断。本报告所载观点并不代表中国银河证券股份有限公司博士后科研工作站、不代表中国银河证券股份有限公司的立场,如果本报告出现政治或学术、技术性错误或失实情况由作者本人承担责任,与中国银河证券股份有限公司无关。

报告中的观点和陈述仅反映研究员个人撰写及出具本报告期间当时的分析和判断,本公司可能发表其他与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告可能因时间或其他因素的变化而变化,从而导致与事实不完全一致的结论,敬请关注本公司就同一主题所出具的相关后续研究报告及评论文章。本公司、本报告研究人员及其附属机构不对任何因使用本报告或本报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

本报告中的观点和陈述不构成投资、法律、会计或税务的建议,本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。

本报告所载的全部内容只提供给阅读者做参考之用,并不构成对阅读者的投资建议,并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接,对于可能涉及的银河证券网站以外的地址或超级链接,银河证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了阅读者使用方便,链接网站的内容不构成本报告的任何部分,阅读者需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记,除非另有说明,均为银河证券的商标、服务标识及标记。



中国银河证券股份有限公司博士后科研工作站

简介

中国银河证券股份有限公司博士后科研工作站（以下简称“工作站”），是经国家人力资源和社会保障部及全国博士后管委会批准设立的科研机构。

工作站以中国经济运行与发展中的重大理论问题、资本市场改革发展中的重大理论与实践问题和证券公司发展创新过程中的现实性、前瞻性、战略性问题为研究对象，以吸引、培养和储备高层次研究人才为己任，以提高中国银河证券综合竞争力、促进公司可持续发展、推进中国资本市场的理论建设为目标，力求通过宽视角、深层次、高质量的研究，为把中国银河证券打造成国内一流券商服务，为资本市场的改革发展服务，为发展繁荣中国的经济和金融科学服务。

为吸引高素质的博士毕业生进站从事研究工作，工作站为博士后研究人员提供在业内具有竞争力的、较高水平的工资和福利待遇，以及较为优越的科研条件和工作环境。