

5G 通信调研报告

1.1 研究背景

我国信息化建设及两化深度融合工作正在日益推进。2015 年，国务院出台《“互联网+”行动指导意见》以及《中国制造 2025》两个重要文件，以高速宽带网络建设为抓手、提升信息基础设施支撑水平成为了科技部、发改委、工信部等政府部门的重点推进工作。而认真贯彻“宽带中国”战略，加大 5G 研发力度，加快 5G 标准推进的步伐，是其中重要的工作内容。我国在近两年来投资上亿科研经费，用于 5G 研发工作。中国共产党十八届五中全会通过了《关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》，明确提出要“加快 构建高速、移动、安全、泛在的新一代信息基础设施”，要实施网络强国战略和国家大数据战略，这对中国宽带发展提出了新的、更高的要求。5G 是新一代宽带移动通信发展的主要方向，随着 4G/LTE 进入规模商用，以及移动互联网和物联网的快速发展，全球产业界已将研发重点转向 5G。

从国际发展态势来看，2015 年，5G 技术全球发展亦进入到技术研发和标准化准备的关键时期，ITU（国际电联）已完成第五代移动通信定名、愿景及时间表等关键内容，并于今年启动 5G 标准前研究。

在此背景下，如何推动中国的 5G 技术研究？如何制定相关发展策略？如何开展广泛的国际合作？如何培育 5G 时代全球竞合能力？已成为目前政府和产业界正在探索解决的问题。

1.2 国内外研究现状

国内 5G 的发展方向是：进一步加强国际合作，推动形成全球统一标准；进一步加大研发力度，突破技术及产业薄弱环节；进一步推动融合创新，积极探索新技术、新产业、新业态、新模式。

1.2.1 中国移动在 5G 研发方面取得又一重大进展

2015 年 11 月 10 日，在国际电信联盟无线电通信局 IMT-2020 5G（第五代移动通信）焦点组会议上，中国移动主导的《ITU 5G 网络标准技术指导建议书》编制完成，成为 ITU 5G 标准制定的重要依据和指导。

该建议书基于对 5G 网络架构、网络软化等关键技术的研究，对国际组织的 5G 标准情况进行了对比分析。中国移动作为 5G 焦点组副主席，主导该建议书制定，并推动 ITU 与 3GPP、GSMA、OPNFV 等国际组织合作。同时，中国移动提出的 5G 网络切片管理与编排、5G 网络能力开放等技术成功写入建议书，在 3GPP、

ITU-T 等国际组织的 5G 标准布局具有重要意义。

1.2.2 我国与全球同步推进 5G 研发

(1) 率先成立 5G 推进组，全面推进 5G 研发

2013 年 2 月，中国工业和信息化部联合国家发展和改革委员会和科学技术部先于其它国家成立了 IMT-2020 (5G) 推进组（以下简称推进组），其组织架构基于原 IMT-Advanced 推进组。作为 5G 推进工作的平台，推进组旨在推动国内自主研发的 5G 技术成为国际标准，并首次提出了我国要在 5G 标准制定中起到引领作用的宏伟目标。

当前，推进组集中国内主要力量，推动 5G 策略、需求、技术、频谱、标准、知识产权研究及国际合作，成员包括中国主要的运营商、制造商、高校和研究机构等国内产学研用单位 50 多家。目前，推进组各项研究工作均已全面深入展开，并在 5G 需求、技术和频谱等方面取得了重要研究进展。

(2) 布局 5G 重大项目，支撑国内技术创新

在国家高技术研究发展计划（863 计划）、国家科技重大专项以及国家自然科学基金等重大项目上，我国在近两年来投资上亿科研经费，用于 5G 研发工作。

1.2.3 国内 5G 主要研究进展

目前，推进组已基本完成 5G 愿景与需求研究并发布了白皮书，初步完成 5G 潜在关键技术研究分析，提出 5G 概念和技术路线，并完成 2020 年我国移动通信频谱需求预测和 6GHz 以下候选频段研究。

二、5G 特点

5G 是一个真正意义上的融合网络，它的最大特点就是上网快，传输速率可达 10Gbps（折合成下载速度为 1280MB/s），是 4G 峰值的 100 倍，眨个眼一部高清电影就下到手机上了，而且在传输中呈现出低时延、信号稳定、低功耗的特点。

事实上，如果只打个电话、发个短信，2G 就够用了（即使喜欢看视频，也都是 WiFi 下载下来看），那么 5G 的优势到底在哪里呢？答案是，5G 最大的优势体现在“物联网”上，物联网就是物物相连的互联网，即通过互联网，任何物品与物品之间，都可以进行信息交换和通信。而物联网则离不开速度快、低时延、信号稳定、低功耗的无线通信，也就是 5G 了。5G 的到来将形成全球统一的网络标准，不仅能解决全球漫游问题，还将大幅度降低设备、终端成本（也就是说手机等硬件更便宜了，甚至趋于免费）。同时，也会促成无人驾驶、虚拟现实、智能家居等概念商用，从而进入全面数字化时代。

三、5G 发展的关键技术

从理论上来说，5G 的网速能达到 4G 的 40 倍，从而实时传输 8K 分辨率的 3D 视频，或是在 6 秒内下载一部 3D 电影。简直快到逆天！作为对比，通过 4G 网络的下载需要 6 分钟。然而，在以往通信技术的发展中，实验室情况与真实环境总会有很大差距。理论峰值速率在用户实际使用中只是梦想，用户可用速率要远低于理论值。

3.1 关键技术一：毫米波

什么叫毫米波？频率 30GHz 到 300GHz，波长范围 10 到 1 毫米。由于足够量的可用带宽，较高的天线增益，毫米波技术可以支持超高速的传输率，且波束窄，灵活可控，可以连接大量设备。当手机处于 4G 小区覆盖边缘，信号较差，且有建筑物（房子）阻挡，此时，就可以通过毫米波传输，绕过建筑物阻挡，实现高速传输。

高频段（毫米波）在 5G 时代的多种无线接入技术叠加型移动通信网络中可以有两种应用场景：一是毫米波小基站，可增强告诉环境下移动通信的使用体验，在传统的多种无线接入技术叠加型网络中，宏基站与小基站均工作于低频段，这就带来了频繁切换的问题，用户体验差，为解决这一关键问题，在未来的叠加型网络中，宏基站工作于低频段并作为移动通信的控制平面、毫米波小基站工作于高频段并作为移动通信的用户数据平面。二是基于毫米波的移动通信回程，在采用毫米波信道作为移动通信的回程后，叠加型网络的组网就将具有很大的灵活性（注：相对于有线方式的移动通信回程。因为在未来的 5G 时代，小/微基站的数目将非常庞大，而且部署方式也将非常复杂），可以随时随地根据数据流量增长需求部署新的小基站，并可以在空闲时段或轻流量时段灵活、实时关闭某些小基站，从而可以收到节能降耗之效。到了 5G 时代，更多的物-物连接接入网络，HetNet 的密度将会大大增加。

3.2 关键技术二：ultra-dense Hetnets 超密度异构网络

立体分层网络（HetNet）是指，在宏蜂窝网络层中布放大量微蜂窝（Microcell）、微微蜂窝（Picocell）、毫微微蜂窝（Femtocell）等接入点，来满足数据容量增长要求。

为应对未来持续增长的数据业务需求，采用更加密集的小区部署将成为 5G 提升网络总体性能的一种方法。通过在网络中引入更多的低功率节点可以实现热

点增强、消除盲点、改善网络覆盖、提高系统容量的目的。但是，随着校区密度的增加，整个网络的拓扑也会变得更为复杂，会带来更加严重的干扰问题。因此，密集网络技术的一个主要难点就是要进行有效的干扰管理，提高网络干扰性能，特别是提高小区边缘用户的性能。

密集小区技术也增强了网络的灵活性，可以针对用户的临时性需求和季节性需求快速部署新的小区。在这一技术背景下，未来网络架构将形成“宏蜂窝+长期微蜂窝+临时微蜂窝”的网络架构。这一结构将大大降低网络性能对于网络前期规划的依赖，为 5G 时代实现更加灵活自适应的网络提供保障。与此同时，小区密度的增加也会带来网络容量和无线资源利用率的大幅度提升。

3.3 关键技术三：同时同频全双工（CCDF）

最近几年，同时同频全双工技术吸引了业界的注意力。同时同频全双工技术是指设备的发射机和接收机占用相同的频率资源同时进行工作，使得通信双方在上、下行可以在相同时间使用相同的频率，突破了现有的频分双工（FDD）和时分双工（TDD）模式，是通信节点实现双向通信的关键之一。利用该技术，在相同的频谱上，通信的收发双方同时发射和接收信号，与传统的 TDD 和 FDD 双工方式相比，从理论上可使空口频谱效率提高 1 倍。

全双工技术能够突破 FDD 和 TDD 方式的频谱资源使用限制，使得频谱资源的使用更加灵活。然而，全双工技术需要具备极高的干扰消除能力，这对干扰消除技术提出了极大的挑战，同时还存在相邻小区同频干扰问题。在多天线及组网场景下，全双工技术的应用难度更大。

3.4 关键技术四：滤波组多载波技术（FBMC）

OFDM 是将载波分为正交子载波，但信号的拖尾较长，因此会带来一些问题，另外在 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。

FBMC 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，较大的提高了频率效率。

3.5 关键技术五：大规模 MIMO 技术（3D/Massive MIMO）

多输入多输出技术（Multiple-Input Multiple-Output, MIMO）是指在发射端和接收端分别使用多个发射天线和接收天线，使信号通过发射端与接收端的多个天线传送和接收，从而改善通信质量。它能充分利用空间资源，通过多个天线实现多发多收，在不增加频谱资源和天线发射功率的情况下，可以成倍的提高系统信道容量，显示出明显的优势、被视为下一代移动通信的核心技术。

MIMO 技术已经广泛应用于 WIFI、LTE 等。理论上，天线越多，频谱效率和传输可靠性就越高。具体而言，当前 LTE 基站的多天线只在水平方向排列，只能形成水平方向的波束，并且当天线数目较多时，水平排列会使得天线总尺寸过大从而导致安装困难。

而 5G 的天线设计参考了军用相控阵雷达的思路，目标是更大地提升系统的空间自由度。基于这一思想的 LSAS 技术，通过在水平和垂直方向同时放置天线，增加了垂直方向的波束维度，并提高了不同用户间的隔离，如下图所示。同时，有源天线技术的引入还将更好地提升天线性能，降低天线耦合造成能耗损失，使 LSAS 技术的商用化成为可能。

大规模 MIMO 技术可以由一些并不昂贵的低功耗的天线组件来实现，为实现在高频段上进行移动通信提供了广阔的前景，它可以成倍提升无线频谱效率，增强网络覆盖和系统容量，帮助运营商最大限度利用已有站址和频谱资源。

我们以一个 20 平方厘米的天线物理平面为例，如果这些天线以半波长的间距排列在一个个方格中，则：如果工作频段为 3.5GHz，就可部署 16 副天线；如工作频段为 10GHz，就可部署 169 根天线了。

3D-MIMO 技术在原有的 MIMO 基础上增加了垂直维度，使得波束在空间上三维赋型，可避免了相互之间的干扰。配合大规模 MIMO，可实现多方向波束赋型。

3.6 关键技术六：多技术载波聚合（multi-technology carrier aggregation）

3GPP R12 已经提到这一技术标准。未来的网络是一个融合的网络，载波聚合技术不但要实现 LTE 内载波间的聚合，还要扩展到与 3G、WIFI 等网络的融合。多技术载波聚合技术与 HetNet 一起，终将实现万物之间的无缝连接。

四、未来的 5G 愿景与需求

4.1 面向 2020 年及未来的 5G 愿景与需求

4.1.1 移动互联网和物联网是 5G 发展的主要驱动力

面向 2020 年及未来，移动互联网将推动人类信息交互方式的再次升级，将为用户提供增强现实、虚拟现实、超高清（3D）视频、移动云等更加身临其境的极致业务体验，将带来移动数据流量超千倍增长，推动 5G 技术和产业的新一轮变革。物联网将极大扩展 5G 的业务领域。移动医疗、车联网、智能家居、工业控制、环境监测等将会推动物联网应用爆发式增长，数以千亿的设备将接入网络，实现真正的“万物互联”，这将是引发新一轮科技革命和产业变革的核心基础，在对传统产业带来巨大变革的同时，将创造出规模空前的新兴产业。

4.1.2 5G 将满足未来超千倍流量增长和超千亿设备联网需求

预计 2010~2020 年全球移动数据流量增长将超过 200 倍，2010~2030 年将增长近 2 万倍；中国的移动数据流量增速高于全球平均水平，预计 2010~2020 年将增长 300 倍以上，2010-2030 年将增长超过 4 万倍。在联网设备数量方面，预计到 2020 年，全球移动终端（不含物联网设备）数量将超过 100 亿，中国将超过 20 亿。2020 年全球物联网设备连接数将接近全球人口规模，达到 70 亿（中国将接近 15 亿）。到 2030 年，全球物联网设备连接数将接近 1 千亿（中国将超过 200 亿），全球各类联网设备总量将超过 1 千亿。

4.1.3 5G 关键能力比 4G 约有 10-100 倍提升，用户体验速率可达 1Gbps

为了满足 2020 年及未来业务需求，5G 性能将会大幅提升，用户体验速率将达 100Mbps~1Gbps，峰值传输速率可达数十 Gbps，支持的连接数密度可达数 1 百万连接/平方公里，端到端时延低至毫秒级，流量密度可达数十 Tbps/平方公里，支持 500 公里/小时以上高速移动下的用户体验。为了实现可持续发展，5G 还需要大幅提高网络部署和运营效率。其中，频谱效率将比 4G 提高 5-15 倍，能源效率和成本效率也将提升百倍以上。

目前，推进组提出的上述的 5G 关键能力，绝大部分被 ITU 采纳作为 5G 备选能力。

4.2 5G 概念与技术路线

传统的移动通信技术主要指蜂窝移动通信技术，而且主要强调无线技术，而 5G 应包含蜂窝移动通信技术、新一代无线局域网技术和网络技术。

4.2.1 5G 技术创新将会出现在无线和网络两个层面

传统的移动通信升级换代都是以多址接入技术为主线，提升速率和频谱效率。例如，1G 采用频分多址（FDMA）、2G 时分多址（TDMA）、3G 码分多址（CDMA），4G 正交频分多址（OFDMA）。

与传统方式不同的是，5G 将不再以单一多址接入技术作为主要特征，内涵将更加宽泛，将会采用一组关键技术，如引入大规模天线阵列、超密集组网、新型多址和高频段通信等新型无线技术，以及基于软件定义网络（SDN）和/或网络功能虚拟化（NFV）技术的新型网络架构，从而推动 5G 在无线和网络两个层面出现重大技术创新。

4.2.2 5G 无线技术将沿着三条技术路线向前发展

5G 无线技术存在新型空中接口技术、4G 演进技术和下一代无线局域网三条技术路线。新型空中接口技术重点适应 5G 新场景及新频段需求进行全新设计，不考虑与 4G 的兼容性。4G 演进技术主要面向宏覆盖和热点覆盖等传统蜂窝移动通信场景，将基于 4G 技术框架和传统蜂窝频段。

下一代无线局域网是 5G 的重要补充，主要面向热点分流场景，将向更高传输速率、更高组网性能和可运营维护方向发展。

4.2.3 5G 网络技术将向着虚拟化、软件化、扁平化

面对未来超千倍流量增长、毫秒极端到端时延和超千亿设备连接的挑战，5G 将通过引入 NFV 和 SDN 等虚拟化技术、推动网络软硬件解耦，控制与转发分离，使得基于软连接和软架构的新型网络成为可能，网络结构将更加扁平，业务内容将向用户进一步下沉，网络智能化、灵活度和可扩展性将大幅提升，各种接入技术之间将更紧密融合，并能够以用户为中心提供灵活可定制的差异化服务。

五、总结

综合 5G 需求与技术趋势，推进组提出 5G 概念可由“标志性能力指标”和“一组关键技术”来定义。其中，标志性能力指标为 Gbps 用户体验速率，关键技术为大规模天线阵列、超密集组网、新型多址、高频段通信和新型网络架构等。为满足 2020 年移动通信需求，我国存在 663-1178MHz 频谱缺口。推进组已完成 2020 年我国移动通信频谱需求预测，结果显示：到 2020 年，我国移动通信频谱需求总量为 1350~1810MHz，目前我国已规划了 687MHz 移动通信频谱，因此还需要新增 663~1178MHz 频谱。

需要注意的是，2020 年只是 5G 起始时间，随着 2020 年之后业务量的不断

提升，移动通信的频谱需求量还将继续增加。因此，到 2030 年我国移动通信频谱需求预测及候选频段研究已成为工作重点。

6GHz 以下低频段是 5G 首选频段，高频段可作为后续补充。5G 需要大量的新频谱资源，可通过两种方式获得：一是在 2015 年世界无线电通信大会（WRC）推动 6GHz 以下低频段划分；二是在 2019 年 WRC 大会及以后推动 6GHz 以上高频段划分。

低频段传播特性好且资源稀缺，需要优先获取，我国已提出 3300-3400MHz、4400-4500MHz 和 4800-4990MHz 等候选频段；

高频段传播特性差、资源丰富、可选余地大，可作为支撑 5G 发展的后续补充频段。特别是由于我国高频芯片和元器件产业能力薄弱，需加紧研发，尚不宜过早推动高频段划分。

微信扫描以下二维码，免费加入【5G 俱乐部】，还赠送整套：5G 前沿、NB-IoT、4G+（VoLTE）资料。

