

文章编号:1007-5321(2020)02-0001-09

DOI:10.13190/j.jbupt.2020-024

# 从 5G 到 6G 的思考:需求、挑战与技术发展趋势

易芝玲<sup>1</sup>, 王 森<sup>1</sup>, 韩双锋<sup>1</sup>, 崔春风<sup>1</sup>, 王亚峰<sup>2</sup>

(1. 中国移动通信研究院, 北京 100032; 2. 北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876)

**摘要:** 面向第 5 代移动通信系统(5G)到第 6 代移动通信系统(6G)的演进,从 5G 指标增强、混合场景多目标优化、新业务场景的新需求和网络运营 4 个方面,探讨了 6G 网络的需求和挑战. 通过对 5G 性能满足度及条件分析,给出了现有 5G 标准潜在性能可提升之处,并据此提出了 6G 需求指标建议,探讨了相应的技术发展趋势和初步解决思路.

**关键词:** 第 6 代移动通信系统; 愿景与需求; 关键性能指标

**中图分类号:** TN929.5

**文献标志码:** A

## From 5G to 6G: Requirements, Challenges and Technical Trends

YI Zhi-ling<sup>1</sup>, WANG Sen<sup>1</sup>, HAN Shuang-feng<sup>1</sup>, CUI Chun-feng<sup>1</sup>, WANG Ya-feng<sup>2</sup>

(1. China Mobile Research Institute, Beijing 100032, China;

2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** With the accelerating commercialization of the 5th generation of mobile communications system (5G), the next 6th generation of mobile communications system(6G) is attracting extensive research interests from both the industry and academia. Towards the evolution from 5G to 6G, the requirements and challenges of 6G are investigated from the following four aspects: 1) the enhancement of 5G key performance indicators; 2) multi-objective optimization in mixed scenarios; 3) new key performance indicators under emerging scenarios; 4) network operations requirements. Based on the analysis between 5G performance and the required conditions, potential improvements on 5G standard as well as our suggestions on the 6G key performance indicators are presented. Meanwhile, the technology trends and preliminary solutions for 6G are also proposed accordingly.

**Key words:** the 6th generation of mobile communications system; visions and requirements; key performance indicators

为了满足人们不断增长的通信需求,移动通信系统从最初支持简单语音通信的第 1 代模拟通信,发展到现在支持增强移动宽带、低时延高可靠、海量连接等多个应用场景的第 5 代移动通信系统(5G, the 5th generation of mobile communications system). 在这个过程中,中国的移动通信系统也经历了从第

1 代空白,第 2 代跟随,第 3 代同步,第 4 代突破性地发展历程,并经过多年的积累才有了今天我国 5G 技术的引领地位. 中国公司牵头承担了 5G 需求和核心网设计等多个重要的 3GPP 标准化的研究课题,提出了基于服务的核心网架构、集中/分布单元分离两级接入网架构、软件定义空口(灵活空口)等

收稿日期: 2020-05-30

作者简介: 易芝玲(1957—),女,中国移动首席科学家.

通信作者: 王 森(1983—),男,高级工程师, E-mail: wangsenyjy@chinamobile.com.

多项技术方案。

国际电信联盟 (ITU, international telecommunication union) 于 2018 年 7 月成立了 ITU-T 2030 网络技术焦点组 (FG NET-2030), 研究内容包括: 面向 2030 及以后的应用场景和需求、网络服务和技术、架构与基础设施。FG NET-2030 目前共提出了 30 个用例, 划分为新媒体、垂直行业和应用、新增网络能力 3 个类别<sup>[1]</sup>。另外, ITU-R WP5D 计划于 2020 年 2 月开启面向未来技术趋势的研究工作, 2021 年启动第 6 代移动通信系统 (6G, 6th generation of mobile communications) 愿景研究。此外, 各国也已经纷纷启动了后 5G (B5G) 以及 6G 相关技术的研究。在 2018 年 9 月召开的世界移动通信大会上, 美国联邦通信委员会 (FCC, federal communications commission) 专员首次表示未来 6G 将使用更高频段的太赫兹通信, 此外还将利用区块链、动态频谱共享、空间复用技术来实现更智能、更分布的共享接入技术。2018 年, 芬兰奥卢大学牵头承担了芬兰科学院的 6G 项目——6G Flagship, 研究面向 2030 年的 6G 愿景、挑战、应用和技术方案, 在其发布的 6G 白皮书中提出了“泛在无线智能”的愿景<sup>[2]</sup>。2019 年 3 月, 6G Flagship 与 IEEE Future Network Initiative 共同组织召开了 6G 峰会, 邀请了来自工业界和学术界的通信领域专家, 讨论了 6G 面临的挑战和潜在应用, 并起草了技术需求和候选技术方案, 2020 年 3 月采用虚拟方式召开了第 2 次

6G 峰会。欧盟早在 2017 年 9 月就启动了为期 3 年的 6G 基础研究项目, 旨在研究可用于 6G 通信网络的新型编码调制技术。2019 年“地平线欧洲”宣布拟定支持一项截止 2030 年的 B5G 和 6G 技术研发项目, 有望实现太比特 (Tbit) 级别的通信速度, 并将界定 B5G 和 6G 的技术规范。2018 年, 日本 NTT DOCOMO 宣布, 利用轨道角动量复用技术实现了 100 Gbit/s 的传输速率。2019 年 4 月, 韩国组建了 6G 研究小组, 开始 6G 用例及核心技术研究。2019 年 11 月, 中国召开 6G 技术研发启动会, 成立了 6G 推进组和总体专家组, 标志着我国 6G 研究工作的正式启动。

目前, 虽然国内外学者也陆续表达了一些各自关于 6G 愿景的畅想和潜在使能技术的观点<sup>[3-9]</sup>, 但总体来看, 上述研究仍处于百家争鸣的阶段, 还未看到立足于对现有 5G 标准性能满足度方面的分析。笔者从对未来无线业务趋势以及需求指标的预测出发, 探讨了 6G 愿景, 并结合目前 5G 系统的能力, 分析了现有 5G 标准的潜在性能可提升之处, 初步提出了未来 6G 技术的发展趋势和解决思路。

## 1 6G 需求

根据马斯洛的人类需求层次理论, 低级需求满足之后, 高级需求自然产生。李正茂<sup>[10]</sup>对比马斯洛需求模型, 提出了人类对于通信需求的层次化模型, 如图 1 所示。

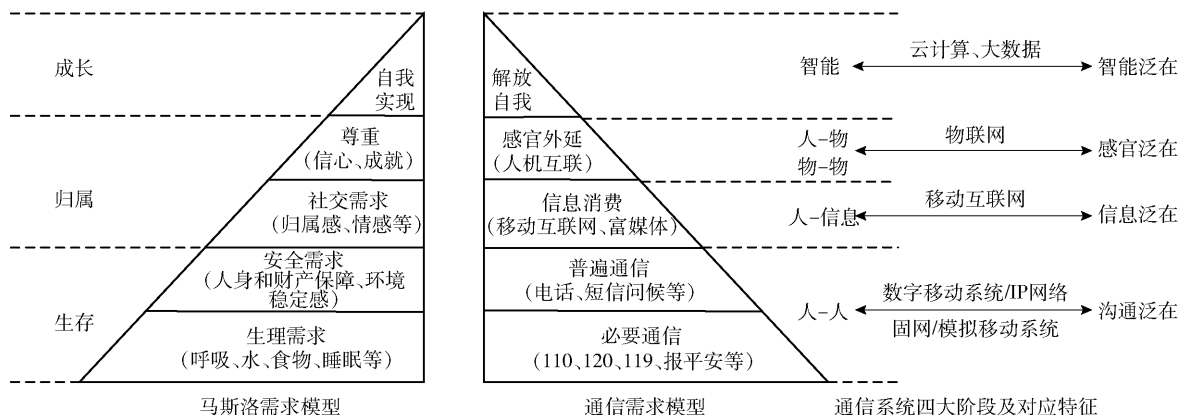


图1 通信需求模型、发展阶段及特征

对比人类生存、归属和成长需求, 通信需求分为必要通信和普遍通信、信息消费和感官外延、解放自我 3 个层次。需求和技术向来都是互相促进, 螺旋上升的关系。对应通信需求模型的各个层次, 人类的通信可以分为沟通泛在、信息泛在、感官泛

在和智能泛在四大阶段<sup>[10]</sup>。目前, 移动通信经历了从必要通信上升到感官外延的层次, 也就是从人与人之间的必要沟通, 到初级的人与物、物与物之间进行通信的阶段。从这个角度看, 未来 6G 面向的是更加泛在的感官外延和解放自我的需求,

即从移动互联网和物联网向泛在智联网的演进需求。6G 总体愿景可以概括为“信息永相随,智慧常相伴”或“万物智联”。

具体而言,从业务、应用场景和网络运维 3 个角度综合考虑,未来 6G 需求表现为如下几个方面。

1) 面向传统需求的进一步增强。6G 将会在 5G 的基础上,进一步提升移动宽带和物联网场景的基础通信能力<sup>[2-3,5]</sup>。

根据 ITU 对全球 2020—2030 年移动业务预测报告<sup>[11]</sup>中的柱状图(见图 2)可以看出:未来移动宽带场景仍然是主要的大数据流量需求场景,但是传统智能终端(智能手机、平板电脑、笔记本电脑等)的数量增长趋势逐步变缓。与此同时,物联网设备的数量呈现明显的增长趋势。这些改变对未来移动宽带场景下视频类业务的传输(上传和下载)、大连接场景下的高速数据采集类业务以及低时延高可靠场景下的时延和可靠性敏感控制类业务等<sup>[7,12]</sup>提出了更高的性能要求。因此,未来 6G 网络将会在 5G 系统的基础上,增强三大应用场景的现有关键性能指标(KPI, key performance indicator),从而进一步提升移动网络的基础通信能力。

2) 面向混合场景的多目标优化。随着网络的泛在化以及终端形式的多样化<sup>[8]</sup>,传统 5G 三大应用场景之间的界限会被进一步打破,6G 时代将会出现更多的混合型场景<sup>[1,7]</sup>。

受限于技术发展水平、产业链成熟度以及行业壁垒等因素,目前 5G 三大应用场景相对还比较明确,针对不同场景定义了各自的 KPI。未来,随着上述束缚逐渐被打破,5G 定义的三大场景之间的界限也将逐步趋于模糊。相对于第 4 代移动通信系统而言,5G 在单一性能指标方面都有了一定的提升,但是未来混合场景下的多目标优化问题给 6G 系统的设计带来了极大的挑战,如针对高铁场景下的大连接(高用户激活率)和高速率场景、针对未来可以按需定制的多模态立体交通服务(超能交通<sup>[12]</sup>场景下的高可靠低时延大连接场景)、智慧城市中的海量视频监控等。

3) 面向新业务的新需求。结合网络泛在化、终端形式多样化的智能化发展趋势,未来将会出现更加多样化的业务类型和场景<sup>[6,8-9]</sup>。

目前,移动宽带场景主要面向的是人与人之间的通信,物联网场景(包括大连接和低时延高可靠)面向的是初级或中级形式的物与物之间以及

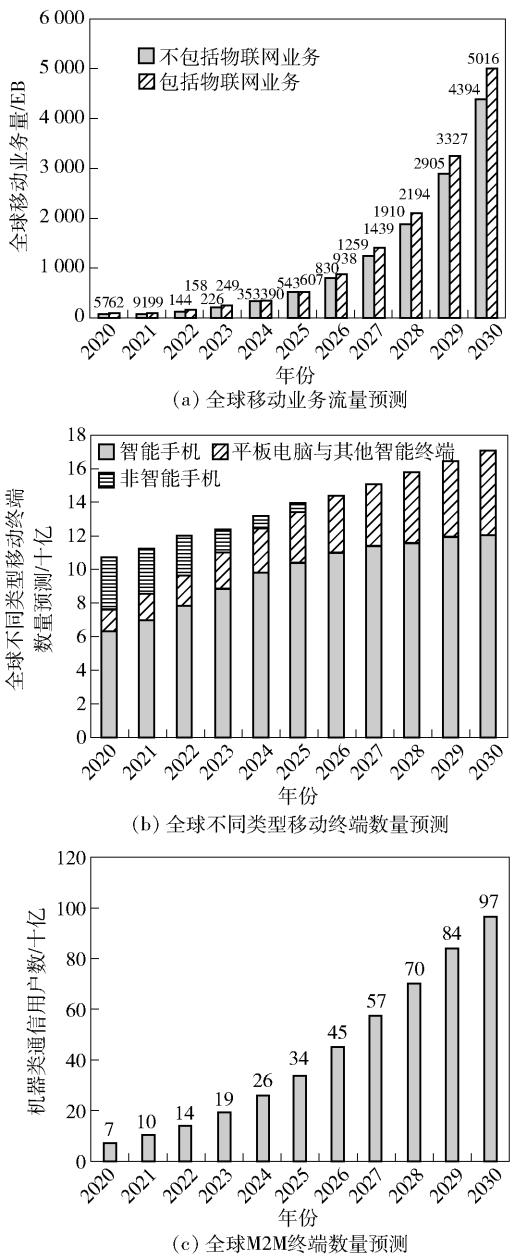


图 2 全球移动业务及终端设备数量预测

人与物之间的通信。从物联网设备的智能化发展水平来看,初级形式智能指的是以快速计算、记忆和存储能力为代表的计算智能;中级形式智能指的是基于深度学习的以语音、图像识别为代表的感知智能,该阶段也是目前智能化发展水平所处的阶段。未来人工智能也将向着以语言理解、知识表示、联想推理、自主学习等为特征的更高形式的智能化水平发展<sup>[4,6-7]</sup>。据预测,未来机器人的数量将超过人类的数量,达到 100 亿。综合上述两方面因素,未来人与物、物与物之间的通信将升级为人 与智能体、智能体与智能体之间通信的形式,如图

3 所示. 上述通信方式中, 不论是人与人、人与智能体, 还是智能体与智能体, 通信的形式仍是不同实体之间的通信. 但是, 如果考虑到未来物理世界中的实体或系统在虚拟世界的数字描述或表达, 即所谓的“数字孪生”时<sup>[1,8,12]</sup>, 物理世界中的实体有可能与其在虚拟世界中的数字镜像之间进行信息交互. 这种实体与其镜像之间“心有灵犀”式的通信形式与增强型的不同实体之间的通信形式, 为未来无线通信业务、场景以及运营模式都提供了无限的想象空间, 真正实现了“信息随心至”的美好愿景. 值得一提的是, 图 3 中所提三大场景是对一些具体用例的抽象和概括, 尽管目前 FG NET-2030 提出了一些面向 2030 年的典型用例, 但其工作范围仅限于非无线电相关的未来网络领域, 重点在于非接入侧, 而 ITU 真正面向 6G 愿景的研究将由 ITU-R WP5D 于 2021 年开展.

4) 面向网络运营的需求. 目前, 5G 的建站数

量、基站能耗和单站价格均约是第 4 代移动通信系统基站的 3 倍. 未来随着流量的持续暴涨和网络密度的逐步增大, 所产生的成本和网络能耗问题对运营商而言将变得更加严峻. 另外, 面对未来丰富的场景和定制化需求, 网络功能日趋复杂, 优化参数众多, 运维难度更大, 这些都对网络的智能化与服务的灵活个性化提出了更高的要求. 考虑到和现有系统的共存和互操作以及多业务相同频带内的灵活复用等问题, 未来网络资源需要被更加高效地利用. 同时, 随着网络的泛在化, 未来网络的设计之初就需要考虑更加安全的协议架构等.

综上所述, 未来 6G 时代, 业务场景的多样化、服务灵活个性化定制化、网络和终端的泛在化、智能化趋势都对 6G 网络设计提出了更高的要求和技术挑战, 因此有必要对现有 5G 系统 KPI 的满足度进行分析, 进而探索未来 6G 网络需求指标和技术发展趋势.



图 3 6G 潜在应用场景

## 2 5G 性能满足度及 6G KPI 建议

### 2.1 5G KPI 满足度分析

早在 2016 年初, ITU-R 就启动了面向 IMT-2020 公共陆地网络的技术征集. 3GPP 在 RAN-1 第 92 次小组会上开始讨论面向 ITU 性能评估的问题. 根据立项研究时间规划, 该项目已于 3GPP RAN-1 第 84 次小组会议完成, 并形成了研究报告 TR 37.910. 研究得出结论: 5G 新空口技术和基于新空口与 LTE 双连接的空口技术均满足 ITU 定义的 IMT-2020 (5G) 需求. 从评估结论上看, 虽然基于 3GPP 的空口技术能够满足 ITU 定义的指标需求, 但在不同场

景、不同指标情况下满足程度如何, 这些结果需要什么条件才能满足等问题尚有待进一步明确. 笔者期望通过对上述问题进行分析, 提出 5G 后续增强方向以及 6G 系统的设计目标.

下面以 5G NR TDD 系统 channel model A 下的仿真结果为例进行说明.

#### 1) 频谱效率

频谱效率是衡量一个通信系统基础通信能力的核心指标, 其他指标都可以通过该指标导出, 例如, 用户体验速率可以通过计算边缘用户频谱效率和有效带宽的乘积得到, 流量密度可以通过计算小区平均频谱效率和有效带宽以及站点密度三者的乘积得



到。在3GPP向ITU提交的IMT-2020空口技术报告<sup>[13]</sup>中,通过系统级仿真的方法,对5G NR eMBB不同部署场景下的小区平均频谱效率和边缘用户频谱效率性能进行了评估。笔者选取了典型系统参数配置下的仿真结果,如图4所示,其对应的仿真假设参见文献<sup>[13]</sup>。

根据图4中的仿真结果不难发现,在当前的系统参数配置下:①单纯依靠高频段对于室外热点高容量场景,如case2-2和case5-2,5G NR无法满足ITU对于IMT-2020的需求。②低频段(6 GHz以下)部署时,虽然5G NR满足了ITU对于IMT-2020的需求,但面向未来追求更高频谱效率的场景,如热点高容量场景下6G在5G的基础上频谱效率再提升2~3倍,6G空口设计将面临前所未有的挑战,其主要原因在于性能和算法复杂度问题,包括预编码计算或选择、信道状态信息获取与反馈等信号处理问题以及多用户配对、资源分配与调度问题等。另外,天线射频通道数的增加将带来更大的系统能耗和成本问题。此外,考虑到高频段固有的传播特性,其比较适合室内场景,而室外热点高容量场景对于低频段部署仍然具有极高需求。但是考虑到施工建设和成本问题,低频段部署时天线规模增长空间有限。所以,设计未来6G系统时,单纯依靠增加天线端口数来换取频谱效率增加的方式不可取。

与频谱效率相关的另一个问题是用户体验速率。目前该指标需要依靠更多的带宽来满足,例如,在case2-1和case5-1的配置下(中心频率为4 GHz),为了达到下行100 Mbit/s,上行50 Mbit/s的用户体验速率,分别需要300 MHz(132.83 Mbit/s)和800 MHz(53.68 Mbit/s)的带宽。如果考虑高低频混合组网(4 GHz+30 GHz),以上行为例,也需要100 MHz+1 200 MHz的带宽。所以,一方面对于室内热点场景6G可以利用高频段大带宽和更多天线数的优势来满足未来的需求;另一方面,6G也需要具有更高频谱效率的空口技术来弥补单纯依靠大带宽和更大规模天线的不足,从而满足室外热点场景用户体验速率的需求。

## 2) 用户面时延

按照ITU-R M.2410报告中的定义,用户面时延是指当信源发出一个数据包到信宿接收到这个数据包时无线网络对于时间的贡献<sup>[14]</sup>。3GPP对不同配置下5G NR的下行链路(DL, downlink)和上行链路(UL, uplink)用户面时延也进行了评估。以TDD

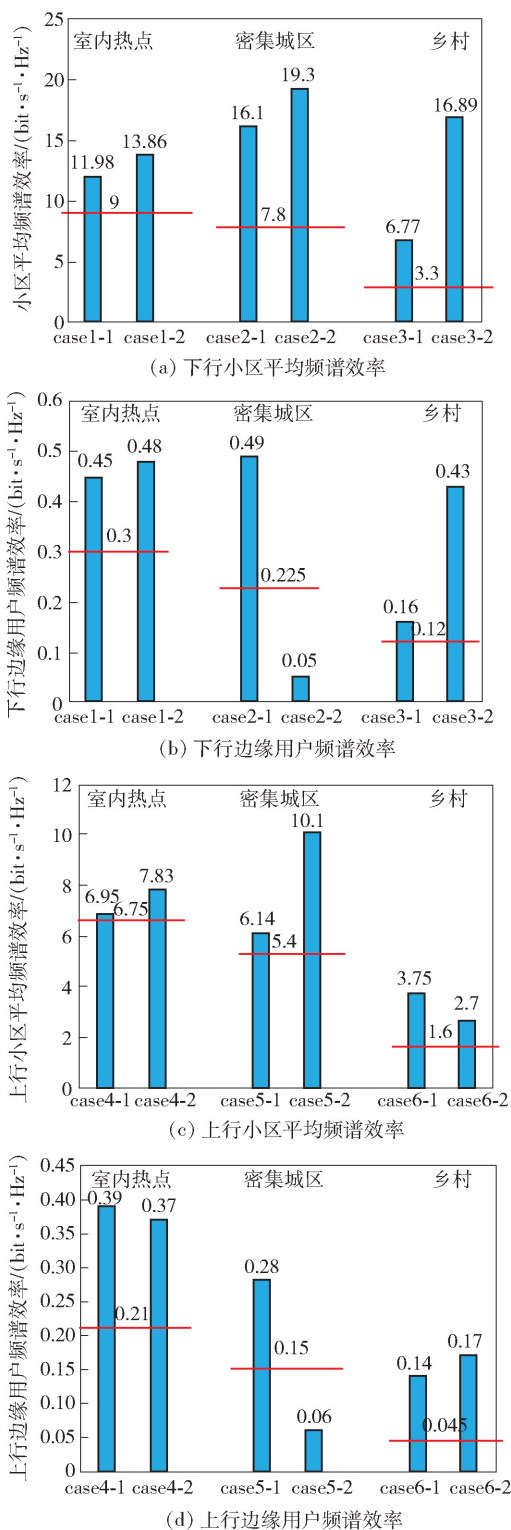


图4 5G NR 频谱效率性能

系统、子帧配置为DDDSU、30 kHz子载波间隔、PD-SCH/PUSCH资源分配类型为type B、2个OFDM的non-slot based调度为例,用户面时延性能如图5所示<sup>[13]</sup>,其中当有补充上行链路(SUL, supplementary

uplink)时,假设 SUL 的子载波间隔也为 30 kHz. 上行时延评估时使用了免调度传输技术.

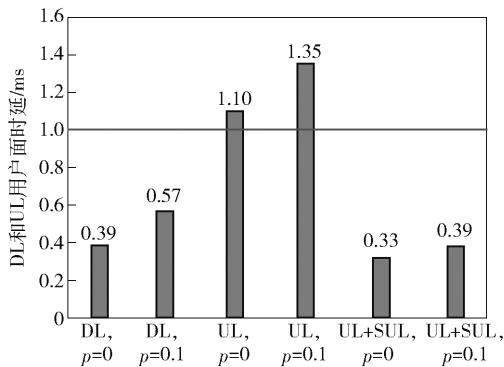


图5 5G NR 下行和上行用户面空口时延

根据图5中的仿真结果不难发现,在上述仿真假设下,下行用户面时延可以很好地满足ITU对于eMBB和超高可靠与低时延通信(URLLC, ultra-reliable and low latency communications)场景下的需求.但是对于上行用户面时延,需要借助SUL和免调度传输技术才能满足1 ms的单向空口时延要求,而免调度传输比较适合于周期性业务.考虑到上行还有大量非周期性业务以及给定子帧配比时,上下行用户面时延相互制约的影响,未来5G增强或6G系统设计时需要重点考虑降低上行用户面时延的问题.

### 3) 移动性

随着我国高速铁路的飞速发展,高铁已经成为非常普及的出行方式.然而,高铁场景的特殊性给高铁专网用户的体验带来了较大挑战,如剧烈变化的快衰落信道、高速移动所产生的多普勒频偏、更大的穿透损耗、极高的用户体验速率客观需求等.未来6G网络可能需要面临诸如“超级高铁”的极端挑战,即高移动速度下高用户体验速率或高边缘用户频谱效率的需求.ITU把移动性定义为在满足服务质量(QoS, quality of service)需求的前提下终端的最大移动速度,其中QoS为对带宽归一化后的业务信道数据速率<sup>[14]</sup>.通过链路仿真结合系统仿真的方法,3GPP评估了5G NR在高铁场景下不同天线配置时的移动性能(对应eMBB-Rural 500km/h case).对于TDD系统在DDDSU子帧配比,1×4单输入多输出天线配置,500km/h时速时不同信道条件下的QoS如图6所示<sup>[13]</sup>.

根据图6的仿真结果可以发现:①从不同部署频段下的相对性能看,在相同的移动速度(500 km/h)下,频段越低所能保证的用户QoS性能越高;②

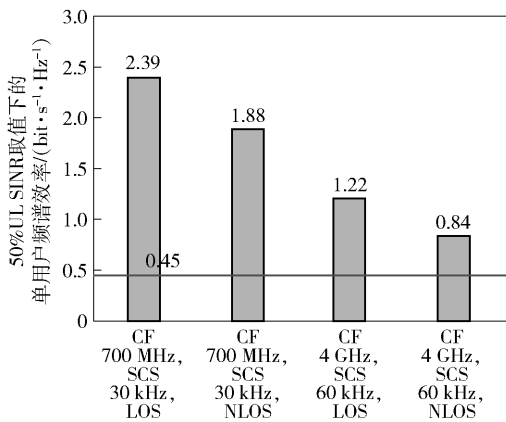


图6 5G NR 500 km/h 移动速度下的QoS性能

从绝对性能看,高铁场景下用户QoS性能远不及eMBB其他场景下的性能.与小区平均频谱效率相比,因为链路仿真时系统中只有1个中值信干噪比(SINR, signal to interference plus noise ratio)用户,相当于小区平均性能.但是,根据实测数据发现,目前高铁场景下的用户激活率比公网下的指标都要高,这说明该场景下的用户客观需求远没有被满足.未来6G设计时对高铁等特殊场景下的系统设计需要更加精细化地评估和考虑,以保证不同网络负荷下的用户体验性能.

### 4) 能量效率

根据ITU对于网络能量效率的定义<sup>[14]</sup>:网络能量效率是与所提供的业务量相关的最小化无线接入网能量消耗的空口技术能力.由ITU对于IMT-2020能量效率的需求可知,5G网络能量效率通过无数据传输时的基站睡眠比例和睡眠时间来衡量.由于5G网络需要周期性地发送同步信号块(SSB, synchronization signal block)、剩余最小系统信息(RMSI, remaining minimum system information)和寻呼(paging)信令,以使终端可以检测和接入无线网络,所以根据不同的SSB、RMSI和paging的配置周期,基站可以达到不同的睡眠比例.例如,30 kHz子载波间隔,每个SSB Set中SSB的个数为1,20 ms的SSB Set周期时,基站的时隙级睡眠比例为98.75%,符号级睡眠比例为98.93%,睡眠时长为19.5 ms,具体配置可以参考文献[13].

目前,业务量的增长与网络运营成本和运营效率增长之间的差距正在逐渐加大.不难预测,如果未来6G系统设计时,继续单纯考虑面向频谱效率的指标,网络能耗和设备资源消耗将会使得运营商难以承受.除了上述ITU对于能量效率的定

义外,学术研究中广泛采用的定义是单位能耗下所传输的数据量。所以,对于频谱效率指标的提  
升,可以通过优化空口传输技术的方式。而对于网  
络能量效率的提升,可以采取降低硬件电路功耗  
或改进空口传输技术 2 种途径,但是这 2 种途径是  
相互制约的。例如,增加天线资源可以提升频谱效  
率,然而天线资源的增加导致电路功耗也随之增  
加。根据能量效率和频谱效率的关系<sup>[15]</sup>可知,在  
低频谱效率区域,降低电路功耗对于提升系统能  
效具有很大意义,如当夜间业务量较低时,通过基  
站或载波关断来提升能效;而在高频谱效率区域,  
影响系统能量效率的主要因素是空口传输技术,  
如传输流数等。因此,未来网络空口设计需要兼  
顾频谱效率和能量效率。

## 2.2 5G 和 6G 性能差距分析与 6G KPI 建议

面对未来更加多样化的业务和场景,6G 场景包  
括目前 5G 三大场景的进一步增强,即 eMBB + ,对  
应人与人通信场景;URLLC + ,对应智能体与智能体  
通信场景;mMTC + ,对应人与智能体通信场景。基  
于 6G 需求和现有 5G 标准性能满足度分析,综合未  
来网络业务需求和技术能力,6G 系统能力关键指  
标如图 7 所示。其中针对某一类应用场景的需求不  
仅体现在对现有 5G 系统单一指标的性能提升上,  
而且还包括现有指标维度的扩展以及新指标的提  
出上。

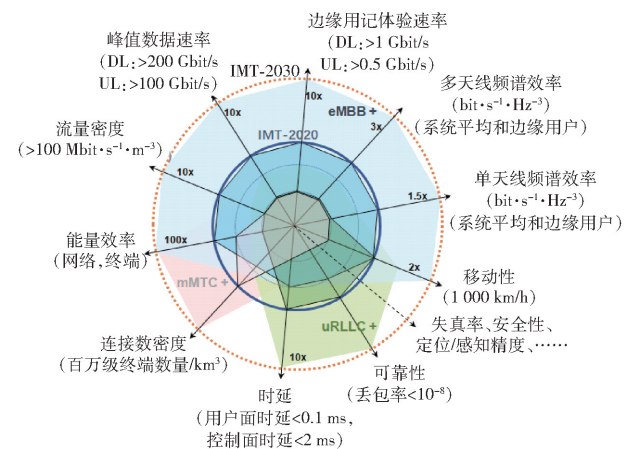


图 7 6G 典型场景下的系统能力指标及需求

基于目前 5G 系统能力分析、未来无线通信业  
务预测以及 6G 潜在技术能力判断,6G 系统 KPI 和  
5G 相比在以下几方面具有明显区别。

1) 6G 对频谱效率的要求更加苛刻,可能会新  
增单天线 (port) 系统平均谱效和边缘谱效,这样的

目的是更加明确地推动技术进步,在香农容量公式  
的基础上通过更加先进的技术提升系统的谱效,而  
不是单纯依赖天线数的增加、带宽的增加、基站密  
度的增加等资源消耗类方案提升系统的容量。与 5G  
相比,初步设定 6G 有 50% 的谱效提升。

2) 从能量效率的角度来看,高负载时能效和谱  
效是紧密绑定的,低负载时能效取决于基站和终端  
的睡眠时长和比例,因此仅依据睡眠时长和比例来  
判断系统能效并不准确。此外,高负载时系统谱效  
和能效也有很大区别。如果提升系统谱效的同时,  
所需功耗也同比例提升的话,系统能效是无法提升  
的。另外,不同厂家的设备功耗由于技术、工艺、成  
本的差异而不同。因此,从标准化的角度,建议给出  
设备最低系统能效阈值要求,推动高效空口技术  
的研究以及谱效和能效的联合系统设计,如可以考  
虑把能量效率定义为空口传输速率与基站总发射功  
率的比值;或者定义能量效率为空口传输速率与基  
站总功耗的比值,其中基站总功耗包括基带和射频  
两部分。

3) 未来的 6G 系统有可能引入立体覆盖场景,  
如高楼、无人机、空天地一体化网络等,所以 6G 的  
小区会变得更加立体,5G 中的流量密度和连接数密  
度等指标在 6G 中有望扩展为立体密度指标。

4) 6G 除了需要对频谱效率、时延、连接数等单  
一性能指标提升外,还需要考虑未来混合场景下多  
项 KPI 的联合制定问题,如对移动性、用户激活率、  
数据传输速率和覆盖都有极高要求的未来高铁场  
景中,系统频谱效率的提升将面临前所未有的挑战;  
此外,随着自动驾驶技术的成熟,未来车联网场景  
中的用户激活率、数据传输速率、可靠性等需求会  
很高,系统的峰值速率很可能远远超过一般的应用  
场景。因此,混合场景 KPI 的制定需要综合考虑,  
区别对待。这也大大增加了 6G 需求指标制定的  
复杂度。

5) 针对业务的跨层设计。6G 系统能力指标中  
可能会引入与业务相关联的指标,实现真正端到  
端的优化设计,如失真率<sup>[16]</sup>、定位/感知精度<sup>[8-9,12]</sup>、  
安全性<sup>[12]</sup>等,关于这些指标的具体取值还需要进  
一步研究。

6) 更为重要的是,6G 网络设计时,建议充分考  
虑系统的可扩展性和灵活性,尽可能避免演进过  
程中由于需求改变而对系统设计进行大幅度修改,  
从而降低标准化开销。



### 3 6G 技术趋势

当前 5G 与人工智能、物联网、云计算、大数据、移动边缘计算已经开始呈现融合趋势,未来这种趋势将进一步深化。为了满足未来 6G 网络“万物智联”的愿景,总结来看,6G 网络呈现出如下技术趋势。

首先,是更加泛在的网络。其泛在性不仅体现在场景上,而且还包括应用的拓展上。之前的网络主要用于数据传输,未来 6G 会向更高频段进一步扩展,虽然其部署场景相对受限,但如果与某些技术结合使用,在拓展新应用方面也有一定优势,如利用高频段超大规模天线进行定位、探测与成像等。

其次,是更加高效和绿色的网络。未来 6G 网络不仅需要在现有 5G KPI 基础上进一步提升,而且也需要在单天线频谱效率、不同负载下的网络能效、上行用户面时延、立体覆盖等多个维度定义新的指标需求。对于中低频段,在无线通信基础理论进一步发展的基础上,通过新型编码调制、多址、波形和大规模天线等使能技术,实现 6G 空口基础通信能力的进一步突破仍然存在可能性。

再次,是更加柔性的网络。柔性网络的设计理念在 5G 设计之初就已被提出<sup>[17]</sup>,如 No-more “Cell”、以用户为中心等。未来 6G 网络将进一步深化柔性设计理念,从“以小区为中心”的网络转向“以人和智能体为中心”的网络,从而按需灵活启动必要的接入点和网元功能配置,实现按需组网。

然后,是更加开放的网络。为了实现网络功能按需扩展、算法快速重构和性能迭代优化,更加开放的网络成为重要选项,具体包括网络架构、网络能力、接口等方面。

最后,是更加智能的网络。目前信息通信数据技术已经呈现深度融合趋势<sup>[18]</sup>。场景的泛在化、通信和计算的融合、高质量的数据促使智能化向着更高层次发展。未来 6G 网络还将在算法实现、空口协议与信令流程、网络架构、网络运维和管理等多个层面实现人工智能能力的全面渗透,驱动人类进入“泛在智能”的时代。通过人类与智能体之间的信息交互以及模型驱动与数据驱动的结合,可充分发挥人类智慧和人工智能各自的优势,实现两者的融合发展。

### 4 结束语

目前,面向 IMT-2030 移动通信系统的愿景与技

术诉求还处于探索阶段。笔者从 5G 指标增强、混合场景多目标联合制定、新业务场景的新需求和网络运营 4 个方面,探讨了 6G 需求和面临的技术挑战。通过对 3GPP 面向 ITU IMT-2020 性能评估中各个指标的满足度及满足条件的分析,提出了未来 5G 演进方向、6G 设计目标及 KPI,并对未来 6G 网络的技术趋势进行了畅想。为了实现“万物智联”的愿景,结合 6G 技术发展趋势,后续也将开展相关技术方案的研究。

### 参考文献:

- [1] ITU-T FG-NET-2030. Network 2030: a blueprint of technology, applications and market drivers towards the year 2030 and beyond[EB/OL]. Geneva: ITU, 2019(2019-05-07)[2020-04-07]. [https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White\\_Paper.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White_Paper.pdf).
- [2] 6G Flagship, University of Oulu. 6G white paper: key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence[EB/OL]. Finland: 6G Flagship, 2019(2019-09-13)[2020-04-07] <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526223544.pdf>.
- [3] Zhang Zhengquan, Xiao Yue, Ma Zheng, et al. 6G wireless networks: vision, requirements, architecture, and key technologies[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2019, 14(3): 28-41.
- [4] Letaief K B, Chen Wei, Shi Yuanming, et al. The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(8): 84-90.
- [5] Saad W, Bennis M, Chen Mingzhe. A vision of 6G wireless systems: applications, trends, technologies, and open research problems[J]. IEEE Network, 2020, 34(3): 134-142.
- [6] Zhang Ping, Niu Kai, Tian Hui, et al. Technology prospect of 6G mobile communications[J]. Journal on Communications, 2019, 40(1): 141-148.
- [7] Giordani M, Polese M, Mezzavilla M, et al. Toward 6G networks: use cases and technologies[J]. IEEE Communications Magazine, 2020, 58(3): 55-61.
- [8] Viswanathan H, Mogensen P E. Communications in the 6G era[J]. IEEE Access, 2020, 8: 57063-57074.
- [9] Chen Shanzhi, Liang Yingchang, Sun Shaohui, et al. Vision, requirements, and technology trend of 6G: how to tackle the challenges of system coverage, capacity, user data-rate and movement speed[J]. IEEE Wireless Communications, 2020, 27(2): 218-228.
- [10] 李正茂. 通信 4.0: 重新发明通信网[M]. 北京: 中



- 信出版集团, 2016: 36-50.
- [11] ITU-R. M. 2370-0: IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030[EB/OL]. Geneva: ITU, 2015(2015-07-06)[2020-04-07]. <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2370>.
- [12] 中国移动研究院. 2030 + 愿景与需求报告(V1)[EB/OL]. 广州: 中国移动, 2019(2019-11-15)[2020-04-07]. [http://cmri.chinamobile.com/wp-content/uploads/2019/11/2030\\_愿景与需求报告.pdf](http://cmri.chinamobile.com/wp-content/uploads/2019/11/2030_愿景与需求报告.pdf)
- [13] 3GPP. TR 37. 910 v16. 0. 0: Study on self-evaluation towards IMT-2020 submission (R16)[EB/OL]. Valbonne-France : 3GPP Organizational Partners, 2019(2019-06-03)[2020-04-07]. [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/37\\_series/37.910](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/37_series/37.910).
- [14] ITU-R. M. 2410-0: Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)[EB/OL]. Geneva: ITU, 2017(2017-11)[2020-4-7]. <https://www.itu.int/md/R15-SG05-C-0040/en>.
- [15] Xu Zhikun, Han Shuangfeng, Pan Zhengang, et al. EE-SE relationship for large-scale antenna systems[C]//ICC14. Sydney: IEEE Press, 2014: 38-44.
- [16] Cover T M, Thomas J. A. elements of information theory[M]. Hoboken-New Jersey: Wiley & Sons, Inc, 2006: 303-307.
- [17] Chih-Lin I, Rowell C, Han Shuangfeng, et al. Toward green and soft: a 5G perspective[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 66-73.
- [18] 易芝玲, 崔春风, 韩双锋, 等. 5G 蜂窝物联网关键技术分析[J]. 北京邮电大学学报, 2018, 41(5): 20-25.
- Yi Zhiling, Cui Chunfeng, Han Shuangfeng, et al. Analysis of key technologies of 5G-oriented cellular internet of things[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018, 41(5): 20-25.