



## 第五代移动互联网

林金桐, 许晓东

(北京邮电大学 北京 100876)

**摘要:**回顾了光纤通信、互联网、移动通信、物联网的发展过程,分析了不同时期上述系统及网络发展的特点、典型系统性能以及关键技术。在此基础上探讨了第五代移动互联网的发展背景、特征、关键技术指标以及可用的候选技术,重点对支撑第五代移动互联网未来发展的部分关键技术进行了具体分析,并对上述关键技术的未来研究重点进行了展望。最后介绍了有关第五代移动互联网的标准制定情况。

**关键词:**光纤通信;互联网;移动通信;物联网;第五代移动互联网

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2015136

## The 5th Generation of Mobile Internet

Lin Jintong, Xu Xiaodong

(Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** The development history of the optical fiber communication, internet, mobile communication and internet of things were reviewed. The features, typical system performances and key technologies of above systems and networks were analyzed. Based on these, the 5th generation of mobile internet was brought forward with the backgrounds, features, key performance indicators and candidate technologies. Parts of key technologies for supporting the 5th generation of mobile internet were analyzed in detail. The future research directions of above technologies were also discussed. Finally, the related standard activities for the 5th generation of mobile internet were introduced.

**Key words:** optical fiber communication, internet, mobile communication, internet of things, the 5th generation of mobile internet

### 1 互联网的物理层:光纤网络

“互联网是人类有史以来最具颠覆性的科技”。美国生活科学网站的这项评定,充分显示了互联网对世界历史的影响力和它在网民心目中的地位。

互联网的物理层是由光纤构成的。基于光纤通信技术的逐年发展,特别是几次里程碑式的技术进步,才有了今

天发达的互联网。

2009年,诺贝尔物理学奖授予了华裔科学家、光纤之父高锟博士<sup>[1]</sup>。评委会对于43年前的这项发明所给予的崇高评价,是通过描述互联网来表达的——“光流动在细小如线的玻璃丝中,它携带着各种信息数据传递向每一个方向,文本、音乐、图片和视频因此能在瞬间传遍全球。”

在光纤通信的发展过程中,还产生过更早的一项诺贝

收稿日期:2015-05-04;修回日期:2015-05-15

论文引用格式:林金桐,许晓东.第五代移动互联网.电信科学,2015136

Lin J T, Xu X D. The 5th generation of mobile internet. Telecommunications Science, 2015136



尔物理学奖。2000 年度诺贝尔物理学奖授予双异质结半导体激光器的发明人、俄罗斯科学家若列斯·伊万诺维奇·阿尔费罗夫<sup>[2]</sup>。

20 世纪 80 年代,掺铒光纤放大器(EDFA)<sup>[3]</sup>的出现使得光纤通信告别了光—电—光转换的中继模式。英国南安普顿大学的甘柏林教授和佩恩教授领导的研究组所取得的成就解决了限制系统容量和质量提高的本质问题——光损耗。光纤放大器不仅补偿了光纤本身的损耗,实现了光纤长距离传输;而且大大增加了功率预算的冗余,使得系统中可以引入各种新型光器件。更重要的是,由于光纤放大器具备对于波长、偏振、调制速率和调制格式透明的特性,使波分复用(WDM)技术得以实现。

华裔美籍科学家、美国光学学会前任会长厉鼎毅博士为 20 世纪 90 年代波分复用技术的推广应用做出了贡献<sup>[4]</sup>。由于应用了波分复用技术,光纤传输的带宽容量得到百倍千倍的增加,网络的比特传输成本也因此大幅度下降。

正是在这样的光通信技术的背景下,跨越世纪(1997—2004 年)的全球超级互联网(global super internet)计划<sup>[5]</sup>付诸实施。这个工程使用了 30 万千米海底光缆和陆缆,将全世界 171 个国家和地区连接起来,分设 265 个登陆站,耗资达 140 亿美元。工程采用 EDFA 和密集波分复用(DWDM)技术,使长途海底路由达到 640 Gbit/s,陆地和短途海底线路速率高达 1.92 Tbit/s。这项工程,与各国内部的光纤网络相连接,就是今天全球互联网的基础设施。

光纤通信的技术还在进步。数字相干技术的问世,偏分复用—正交相移键控(PDM-QPSK)的 100 Gbit/s 相干系统已经商用。更高速率的幅度和相位联合键控(PDM-16QAM)的 400 Gbit/s 相干系统也已经形成了标准。正是不断进步的光纤通信技术,支撑着互联网持续快速发展。

## 2 互联网的演进

互联网的演进过程见表 1。协议从一开始就在网络标

准中占据着支配的地位。第一代(1G)互联网是用传输控制协议(TCP)和互联网协议(IP)来规定互联网的基本架构。正因为此,人们称呼当年领导协议制定工作的文顿·瑟夫和罗伯特·凯恩<sup>[6]</sup>为互联网之父。

万维网(world wide web, WWW)技术<sup>[6]</sup>的诞生和超文本传输协议(HTTP)的引入开启了互联网的第二代(2G)。从此,成千上万的 WWW 网站问世。英国学者蒂姆·伯纳斯·李对于互联网的这项贡献,赢得了人们对他的尊重。

2012 年,蒂姆·伯纳斯·李应邀在伦敦奥运会开幕式上亮相。他拿着话筒,对全世界说了一句:“这(互联网)是为每一个人的!”这句话概括了互联网早期开拓者们奉献的精神。互联网上有人说,假如瑟夫、凯恩和李为自己的发明申请专利,获取报酬,他们如今应该会是世界首富。

又过了几年,Web 2.0 问世。Web 2.0 的核心是用户创建和分享内容,这要归功于提姆·奥瑞利<sup>[7]</sup>。从此,博客、BBS、个人出版成为互联网上的广泛应用,维基百科(Wikipedia)这样的网站也应运而生。

互联网不仅能像传统电话网一样,将人和人连接起来,还能把网站和网站连接起来。互联网提供的不是简单的话路连接,能够向全世界提供知识、信息和智能。尽管互联网的物理层与传统电话网可以有很大部分的重合,但互联网是把人类星球连接成为一个地球村的崭新的信息网络。于是,社会学家开始使用一个词汇:互联网时代。

接下来,出现了一批开发互联网应用服务,并且创造经济奇迹的年轻人:雅虎的杨致远、费罗,谷歌的佩奇、布林,Facebook 的扎克伯格,Twitter 的威廉姆斯等。这个时期(3G)的互联网主导服务除了电子商务,又增加了搜索引擎和社交网站,如阿里巴巴、腾讯、百度、网易等。

乔布斯的苹果公司让一个原本只能打电话发短信的手机,加上了智能,拓展成为互联网的终端设备。这是一个了不起的进步。原先的互联网随着光纤和网线,送到楼、送到户、送到屋、送到桌、送到网络终端:个人电脑。现在,移

表 1 互联网的演进

|      | 1G          | 2G          | 3G       | 4G       |
|------|-------------|-------------|----------|----------|
| 年代   | 20 世纪 70 年代 | 20 世纪 90 年代 | 2000 年以后 | 2010 年以后 |
| 用户   | 专业人士        | 知识群体        | 普通用户     | 惠及全球     |
| 内容   | 电子邮件文件传送    | (WWW)个人出版   | 搜索引擎社交空间 | 移动互联智慧地球 |
| 状态   | 拨号          | 拨号          | 随时在线     | 随时随地     |
| 连接范围 | 政府互联        | 公众互联        | 全球互联     | 人一物互联    |
| 支持技术 | TCP/IP      | Web         | 网格(Grid) | 云计算      |

动通信和智能手机,把互联网的终端真正交给了每个口袋里的手机。带着手机的网民,在任何时候、任何地方都在上网。

从此,就有了一个新词:移动互联。

3 移动通信的演进

人类对于移动通信的设想,在马可尼 1896 年发明无线电技术时就产生了。早在 20 世纪 20 年代,欧美一些国家就曾经有过车载无线电系统问世。

现代蜂窝无线移动通信 (cellular radio mobile communication) 的概念是美国的贝尔实验室在 1947 年提出的<sup>[9]</sup>,并于 1958 年向美国联邦通信委员会(FCC)提出了建议。1977 年,贝尔实验室完成了可行性技术论证。1978 年,他们成功地进行了芝加哥先进移动电话系统 (advanced mobile phone system, AMPS) 的试验。

30 多年来移动通信的演进过程中各代系统的主要特点见表 2。

1983 年,第一代(1G)蜂窝移动通信系统 AMPS 正式投入运营。与此同时,欧洲也有全接入通信系统 (total access communications system, TACS) 问世。1G 系统采用模拟信号技术,多址方式为频分多址(FDMA),提供单一的语音通话服务。当时,中国采用了 TACS。

第二代(2G)移动通信系统采用了数字信号技术。多址方式采用了时分多址(TDMA)和窄带码分多址(CDMA),有欧洲的全球移动通信系统 (global system for mobile communications, GSM) 和美国的 IS-95 (interim standard-95) 两个主流标准。中国移动采用了 GSM 标准,后来成立的中国联通则采用了 IS-95 标准。2G 可以提供更丰富的业务,并且在保密性、频谱利用效率方面都有显著的提高,推动了移动通信系统的全球普及。

第三代(3G)通信系统,国际电信联盟(ITU)将其命名为国际移动通信-2000(IMT-2000)。3G 有 3 个主流技术标准,分别是欧洲提出的 WCDMA、美国提出的 cdma2000 和

中国提出的 TD-SCDMA,于 2000 年发布。3G 的大规模商用使得更高速率及更高质量的业务成为移动通信服务的主要内容。

到了第四代(4G)移动通信系统,无线传输技术获得了进一步的突破。基于正交频分复用(OFDM)及多输入多输出(MIMO)等关键技术的应用,使网络容量、蜂窝边缘性能、系统时延等性能指标都得到了较好的改善<sup>[10]</sup>。

移动通信的发展史,是载波频率不断向高频迁移的历史;是数据速率不断提高的历史;也是应用服务内容不断拓展的历史。发展至今的移动通信,已经与互联网相连接,与互联网密不可分。因此,今天的移动网,不仅是人与人之间的通信网,更是一张可以让移动着的网民获取知识、搜索信息、进行社交、开展商务的网络。

光纤网络、无线移动网络,几十年来不断地增强传输能力、增加接入带宽,根本的驱动力是视频。3 min 语音的信息量为 2.9 MB,3 min CD 质量的音乐为 125 MB,而 3 min 的高清电视则高达 150 GB。即使利用图像压缩技术可以减少视频带宽,但视频所需的传输带宽仍然是语音和音乐的几十倍、几百倍。正是为了把视频传到网络终端、手机屏幕,促使互联网和移动互联网不断地增加带宽。

随着移动通信技术的升级换代和用户需求的扩展,与移动接入相配合的技术标准相继形成。针对无线局域网(WLAN)和无线个域网(WPAN),产生了 IEEE 802.11a/b/g/n、蓝牙 (bluetooth)、ECMA-387、Wi-Fi VHT、ZigBee、WiMedia 等各项标准。表 3 列出了部分主要标准的技术参数和应用场景。

主要用于工业现场自动化数据控制技术和标准的建立,不仅为移动通信的接入提供了丰富多彩的手段,而且为无线传感网络与移动互联网的融合创造了条件。

4 物联网的兴起

传感技术无论是在物理学领域还是在信息通信领域,一直是一个重要的研究方向。伴随着最近 30 年来移动通

表 2 移动通信系统的演进

|      | 1G          | 2G                | 3G                      | 4G                |
|------|-------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| 商用年代 | 20 世纪 80 年代 | 20 世纪 90 年代       | 2000 年以后                | 2010 年以后          |
| 业务支持 | 语音          | 语音和文本             | 数据服务                    | 移动互联网             |
| 主要制式 | AMPS/TACS   | GSM/cdma95        | WCDMA/cdma2000/TD-SCDMA | LTE-Advanced      |
| 主要频段 | 900 MHz     | 800/900/1 800 MHz | 2 GHz 左右                | 1.9/2.6/3.6 GHz 等 |
| 数据速率 | 16 kbit/s   | 64 kbit/s         | 2 Mbit/s                | 100 Mbit/s        |
| 关键技术 | FDMA        | TDMA、窄带 CDMA      | 宽带 CDMA                 | OFDM、MIMO         |



表 3 部分 WLAN 和 WPAN 标准

| 技术标准                | 时间     | 速率          | 载波频率                  | 技术        | 应用场景                       |
|---------------------|--------|-------------|-----------------------|-----------|----------------------------|
| 蓝牙                  | 1999 年 | 3 Mbit/s    | 2.4 GHz               | 快调频、短波技术  | 在短距离(约 10 m)内的低功耗设备上实现网络传输 |
| WLAN(IEEE 802.11b)  | 1999 年 | 11 Mbit/s   | 2.4/5.8 GHz           | IP 无线网络   | 半径达 100 m,进入家庭和教育机构使用      |
| WLAN(IEEE 802.11n)  | 2007 年 | 600 Mbit/s  |                       |           |                            |
| WLAN(IEEE 802.11ac) | 2008 年 | 1.35 Gbit/s |                       |           |                            |
| ZigBee              | 2003 年 | 250 kbit/s  | 2.4 GHz 和 868/928 MHz | 家庭网络的通信协议 | 主要用于工业现场自动化数据控制            |

信的进步,无线传感器网络的研究取得了重大进展。

现代微型传感器,已经具备 3 种能力:感知、计算和通信,而且具有体积小、能耗小的特征。现代无线传感器网络将传感器、嵌入式计算、分布式信息处理和无线通信技术结合在一起,能将感知信息通过多跳的方式传输给用户,又可以做到传感器节点相对密集。这些节点既可以是静止的,也可以是移动的。网络还具备通信路径自组织能力(Ad Hoc)。

将现代传感器网络与互联网联接,是世间人类和万物的联接,有着极其广阔的发展前景和极其深远的历史意义。

正是在这样的背景下,产生了物联网(internet of things, IOT)<sup>[1]</sup>的概念。2005 年,在信息社会世界峰会(W SIS)上,国际电信联盟发布了《ITU 互联网报告 2005:物联网》。报告指出,无所不在的“物联网”通信时代即将来临,世界上所有的物体从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过互联网主动进行信息交换。射频识别(RFID)技术、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用。

2012 年,全球联网的无线传感器的数量是 87 亿个。业界预测,到 2020 年,将达到 500 亿个。占无线传感器总量的比例,即渗透率,将从 2012 年的 0.6%增加到 2020 年的 2.7%。如图 1 所示<sup>[2]</sup>。

类比于人的神经末梢、神经网络和大脑,具备了传感

器、网络和智能的地球,也就可以称作为具有“智慧”了。于是,就有了“智慧地球”的构想<sup>[3]</sup>，“物联网”就成为了“智慧地球”不可或缺的一部分。

## 5 第五代移动互联网

按技术、功能划分,互联网和移动通信网都经历了 4 代发展演进。天作之合!可以把下一代网络统称为“第五代移动互联网”。

### 5.1 特征

第五代移动互联网是互联网、移动通信网和物联网的融合;将实现 50 亿互联网、移动网用户和 500 亿物联网设备的互联。

互联网和移动通信网在较长的发展过程中不断地进行技术借鉴并最终走向融合,在过去近 10 年的发展过程中,逐渐融合成为移动互联网;并在智能终端的普及下迅速进入高速发展阶段,也进一步促使移动互联网与物联网技术产生交集,使得物联网成为第五代移动互联网的重要内容,得以在行业应用及个人用户市场发挥强大作用。

### 5.2 关键技术指标

针对第五代移动互联网,5G 移动通信技术和光纤通信技术将是提供用户网络接入功能的关键技术,目前 5G 移动通信系统正在研发之中,其关键技术指标也在逐渐明

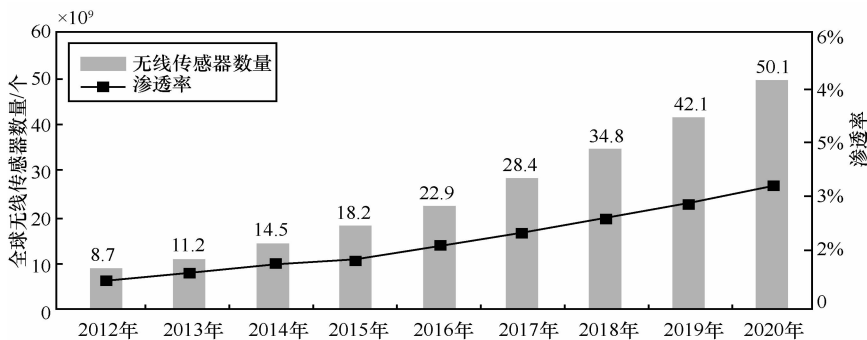


图 1 全球无线传感器数量与渗透率

确。互联网技术也在向“互联网+”方向进一步演进。另外,智能家居、智能医疗、智能电网等物联网技术的行业应用也对移动互联网的发展提出了新的需求。

在无线接入能力方面,5G移动通信系统的指标将是第五代移动互联网接入技术的代表。业内专家普遍认为,5G系统的需求及关键技术性能指标主要包括6个方面,采用“5G之花”的形式表示,如图2所示<sup>[4]</sup>。“5G之花”的6枚花瓣分别介绍如下。

- 用户无线接入速率:100 Mbit/s~1 Gbit/s。
- 无线接入峰值速率:数十 Gbit/s。
- 设备连接密度:在体育馆、露天集会等接入设备众多的场合,达到每平方公里连接设备数目达100万个。
- 端到端传输时延:毫秒级。
- 数据流量密度:在室内热点覆盖场景,达到每平方公里数十 Tbit/s。
- 用户移动性:保证在速度为500 km/h的高速移动时,用户能够正常通信。

在图2中,也标出了4G的相关技术指标,可以从比较中领略5G技术指标的进步。

除此6项指标以外,与目前应用的4G移动通信系统相比,5G系统的频谱效率将有5~15倍的提升,在能量效率和降低成本方面期望达到百倍以上的提升,以期对第五代移动互联网的高密度的设备接入提供更好的支撑能力。

### 5.3 未来关键技术

从5G移动通信技术、互联网技术、物联网技术3方面来看,影响第五代移动互联网未来发展的关键技术将主要包括高频段通信、大规模MIMO、小蜂窝、云无线接入网和光载无线(radio over fiber, ROF)技术等网络接入技术;软件定义网络(software defined networking, SDN)、内容分发网络(content distribution network, CDN)等互联网技术和机器间通信(machine type communication, MTC)等物联网技术。上述关键技术的引入,将为促进第五代移动互联网的健康发展奠定良好的基础。

#### (1) 高频段通信

目前,适合移动通信无线传输的低频频段已经基本被占用,针对未来的5G系统研发,采用高频段通信将成为重要的技术手段。

移动通信的学者和企业的研发工程师,近年来在一个

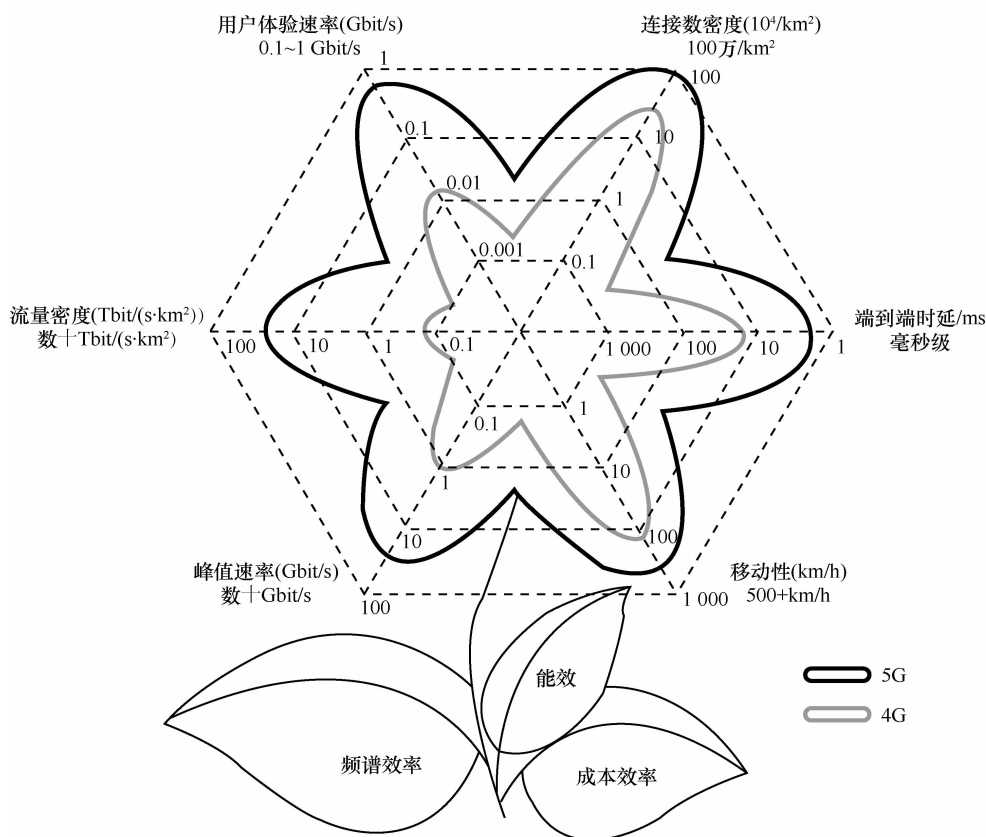


图2 “5G之花”:系统关键技术指标



很宽的频谱范围内不懈探索,从 6 GHz、15 GHz、28 GHz、60 GHz 到 79~90 GHz<sup>[15]</sup>,这些频段开发的试验系统在无线传输测试中最高传输速率可达到 115 Gbit/s。采用不同高频频段的 5G 试验系统也已经逐步出现。

### (2)大规模 MIMO 技术

贝尔实验室在 20 世纪 90 年代提出的 MIMO 技术是 4G 系统的主要技术之一。随着 5G 技术的研发,大规模 MIMO 技术<sup>[12,15]</sup>成为新的研究热点,大规模 MIMO 技术可以充分挖掘空间维度资源,进一步提高移动通信的频谱效率及功率效率。但是在复杂的实际无线环境中,实现具备实用性的大规模 MIMO 技术仍然是目前较大的挑战。

### (3)小蜂窝技术

世界移动通信的现状是数百万蜂窝覆盖着 50 亿个移动用户。这样的宏蜂窝(macrocell)基站覆盖半径约为 2 km。理论上可以证明<sup>[12]</sup>,蜂窝小型化是提高系统容量、减少系统能耗的重要方法。20 年前,人们把小蜂窝统称为微蜂窝(microcell)。现在,参照毫、微、纳、皮、飞的进位表示法,把蜂窝半径为 200 m 的蜂窝称为皮蜂窝(picocell),半径为 10 m 的蜂窝称为飞蜂窝(femtocell),以便精细地设计第五代移动互联网。

皮蜂窝适合于户外,飞蜂窝适合于室内。宏蜂窝基站的传输功率约为 40 W,而皮蜂窝和飞蜂窝分别只需 2 W 和 0.1 W。同时,小蜂窝的总体硬件成本可以大大低于宏蜂窝,而且更适合实现室内等热点区域的覆盖。

移动通信国际标准化组织第三代移动通信伙伴计划(3GPP)也对小蜂窝技术进行了标准化研究<sup>[16]</sup>。

应当指出,小蜂窝技术在带来容量提升的过程中也带来了新的问题,例如小区增多将引起干扰源的增加,小蜂窝的高密度混合部署也会使用户的切换更加频繁等,这使得 5G 系统的组网技术面临挑战。

### (4)云无线接入网技术

云无线接入网(C-RAN)<sup>[12,15]</sup>是针对 5G 大容量数据业

务传输的组网方案。将云计算技术应用于移动通信系统组网,可以在减少运行成本的前提下提升网络性能,同时降低网络能耗。虽然 C-RAN 技术在实际网络内的性能已经得到若干验证,但是 C-RAN 技术在高效集中式无线资源管理方面仍然面临较大的挑战;对于光通信网络也提出了更大容量、更高速率的要求。

### (5)光载无线技术

将携带着信息的微波/毫米波调制到激光上,调制后的光波通过光纤链路传输,到达小蜂窝的无线接入端,将微波/毫米波信号解调,再通过天线发射供用户使用,这就是 ROF 技术<sup>[15]</sup>。ROF 技术示意如图 3 所示。

在长途传输的主干线路路上,采用 DWDM 以及单波长 100 Gbit/s、400 Gbit/s 甚至 1 Tbit/s 的光传输技术,在接入网中,光波技术与无线技术融合在一起,将有能力承担起 5G 移动互联网的传输,满足 5G 的带宽需求。

除了上述提到的几项关键技术之外,5G 系统的研发还涉及其他一些关键技术,例如全双工技术、非正交多址技术等。随着研发的继续深入,这些技术能否为 5G 所用将逐步明晰。

### (6)软件定义网络技术

如今的互联网网络体系无法满足巨大的网络需求,2011 年开放网络基金会(Open Networking Foundation, ONF)提出了新的网络体系结构——软件定义网络(SDN)。这种架构将控制面和数据面分离,是一种新的网络控制方法。在这种架构下,网络运营商和企业将打破不同设备商提供的产品之间的壁垒,脱离设备商的限制,对所有产品拥有编程、控制能力,以适应灵活变化的网络需求。OpenFlow 是第一个 SDN 控制面和数据面之间的标准接口<sup>[17]</sup>,提供了一个统一的编程环境,使设备使用者能够统一地控制、管理不同设备商生产的产品,具备在会话层级、用户级、设备和应用级实施细颗粒度的控制策略。

### (7)内容分发网络技术

在线视频及网络游戏等应用的兴起,使网络流量呈现

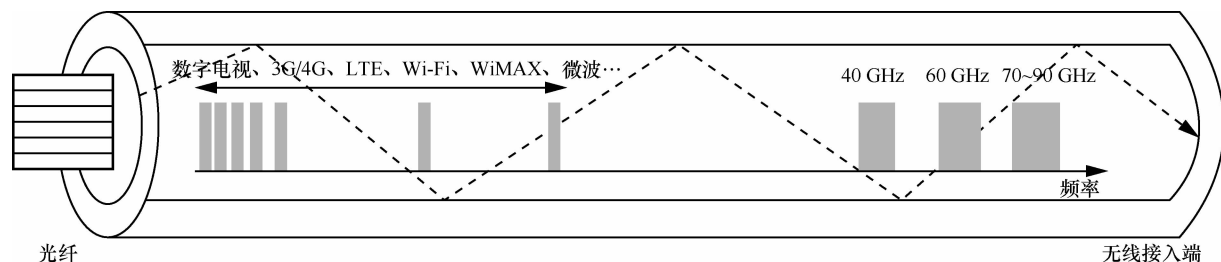


图3 ROF 技术示意

出井喷的发展趋势,集中放置的站点在应对大流量的访问时略显不足,且应对不可预计的风险能力较差。内容分发网络将源站点的内容分发到不同的地方或不同的服务器缓存,不同区域的用户访问距离最近的服务器,而且,即使有一个服务器出现故障,依然能保证站点的正常访问,减少企业的潜在损失并提高用户体验。

(8) 机器间通信技术

机器间通信技术不仅包含发展完善的人与人之间的通信,还包含机器与机器、机器与人之间的通信方式。随着物联网、智慧城市的大力发展,智能家居、医疗卫生、车载通信等设备之间的通信业务量将急剧膨胀。移动互联网的优点使其成为承载 MTC 的最佳选择,但其业务特质又不同于传统的无线业务,大量并发小数据传输为移动互联网的无线网络设计带来新的难题,需要在网络部署、资源管理、信息传输 3 方面开展面向 MTC 应用的超密集无线网络研究。

6 第五代移动互联网的标准化进程

研究—开发—标准制定—商用产品竞争,这是带有普遍性的从研发到产品的过程。在通信与网络领域,标准制定尤其重要。没有标准就不能联通,没有标准就没有办法组网。

目前移动互联网的标准化进程主要表现在支撑移动互联网技术发展的 5G 移动通信技术、互联网技术以及物联网技术标准的制定进程。

针对 5G 移动通信技术的国际化进程,国际电信联盟根据其命名规则,将 5G 系统命名为国际移动通信系

统-2020(IMT-2020),其标准化进程主要由 ITU-R 制定。根据 ITU-R 的规划,5G 标准化进程如图 4 所示<sup>[8]</sup>,每次标准化会议将讨论多项技术内容,但每一项技术内容预计都会经过多次会议以及系统评估后才能最终讨论确定,5G 最终的正式标准预计于 2020 年正式发布。

3GPP 的 5G 标准化工作将参考 ITU-R 制定的 IMT-2020 工作计划,主要基于目前 LTE-Advanced 系统继续向后演进。根据 3GPP 目前的标准化工作规划,业界预计,3GPP 将于标准第 14 版本(R14)阶段开始启动 5G 关键技术的标准化讨论,在第 15 版本(R15)阶段可能形成 3GPP 5G 标准的第一个正式版本,并在此版本基础上继续增强。

我国也于 2013 年成立了 IMT-2020 推进组<sup>[14]</sup>,目标是凝聚国内通信行业的产学研用力量,共同推动中国 5G 系统研发及参与国际标准化工作。

在互联网技术标准的发展方面,以 OpenFlow、SDN 等为代表的下一代互联网关键技术仍然在国际标准化推进过程之中,同时 IEEE 标准化组织将继续针对下一代 WLAN 技术开展后续标准工作研发,进一步提供能满足第五代移动互联网需求的短距离高速无线数据传输能力。

在物联网标准化进程方面,由于物联网技术是经过各行业应用与通信技术融合发展的产物,因此不同行业对物联网的认识有所不同,其标准化进程仍然需要各行业通力合作完成,目前物联网的标准化工作在全球的多个标准化组织竞相展开,包括 ITU、IETF、中国通信标准化协会(CCSA)等组织,2012 年 2 月 ITU-T 通过了“物联网定义”和“物联

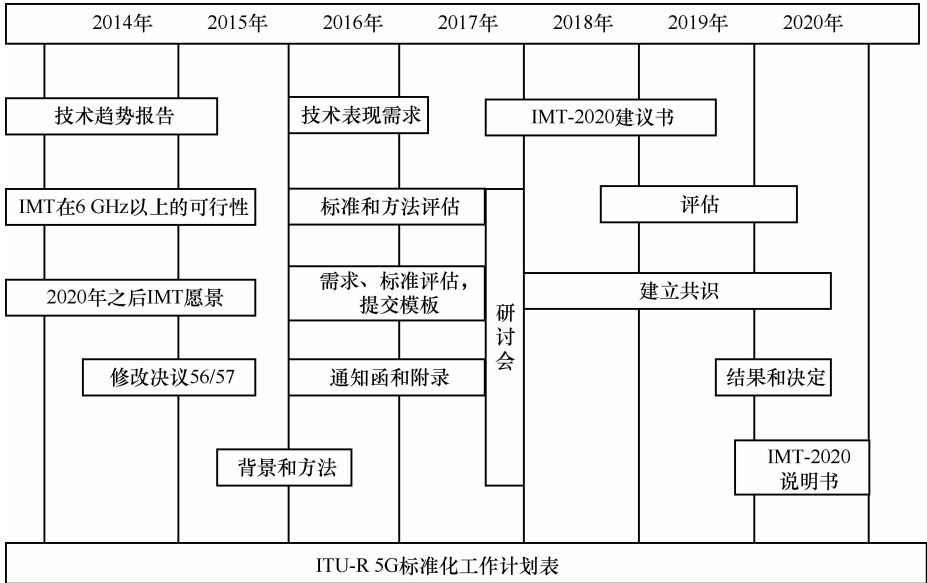


图 4 ITU-R 5G 标准化工作计划



网概述”两个国际建议;IETF 制定了以 IP 为基础的组网协议,主要研究 6LoWPAN 和 ROLL (routing over lossy and low-power network,低功耗路由算法)两个协议。同年,CCSA 也成立了对物联网进行全面研究和制定行业标准的“泛在网技术工作委员会”。未来物联网标准制定方面将需要各大标准化组织进一步协作,以产业应用为导向,着重分析行业应用对通信技术的需求,提取出共性的通信技术和接口标准,对未来物联网技术的开发提供标准层面的支撑。

## 7 结束语

互联网的物理层由光纤网络组成。正是不断进步的光纤通信技术,支撑着互联网持续快速地发展。

最近 30 年来,互联网和移动通信网各自经历了 4 代,差不多是同步地快速发展。“移动”与“互联”已经不可分割。第五代移动通信网就必须是第五代移动互联网。

第五代移动互联网还将与遍布全球的物联网相融合,地球因此也将充满智慧。

虽然,光通信、互联网、移动通信和物联网,都有各自独立的标准化组织在制定未来的技术标准,但学者和工程师们没有一个认识到,他们的工作,朝着一个共同的目标:第五代移动互联网。

第五代移动互联网将在 2020 年到来,它必将是经济、社会发展的巨大推动力。人们期待着,更要准备着!

## 致谢

感谢马文华博士、田野和袁春经博士生在本文撰写过程中提供的帮助。

## 参考文献

- 1 Kao K C, Hockham G A. Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies. *Proceedings of IEE*, 1966, 113(7): 1151~1158
- 2 Alferov Z I, Andreyev V M, Korol'kov V I, *et al.* Preparation and investigation of epitaxial layers of Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As solid solutions and of heterojunctions in the AlAs-GaAs system. *Kristall und Technik*, 1969, 4(4): 495~503
- 3 Payne D N, Reekie L, Mears R J, *et al.* Rare-earth doped fiber lasers, amplifiers and devices. *Proceedings of CLEO'86*, San Francisco, USA, 1986: 374~375
- 4 Li T. The impact of optical amplifiers on long-distance lightwave telecommunications. *Proceedings of the IEEE*, 1993, 81(11): 1568~1579
- 5 Howard H D. Deploying the world's largest undersea fiber cable system. *Proceeding of NFOEC-98*, Orlando, Florida, USA, 1998
- 6 Cerf V G, Khan R E. A protocol for packet network

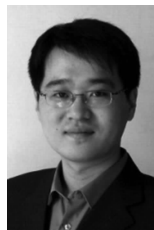
intercommunication. *IEEE Transactions on Communications*, 1974, 22(5): 637~648

- 7 Lee T B, Cailliau R, Groff J, *et al.* World-wide web: the information universe. *Electronic Networking, Research Applications and Policy*, 1992, 20(4): 461~469
- 8 O'Reilly T. What is web 2.0: design patterns and business models for the next generation of software. *Communications and Strategies*, 2007(65): 17~37
- 9 Ring D H. Mobile telephony-wide area coverage. *Bell Laboratories Technical Memorandum*, 1947
- 10 陶小峰,崔琪楣,许晓东等. 4G/B4G 关键技术及系统. 北京: 人民邮电出版社, 2011
- Tao X F, Cui Q M, Xu X D, *et al.* 4G/Beyond 4G Key Technology and System. Beijing: Posts & Telecom Press, 2011
- 11 Sarma S, Brock D L, Ashton K. The Networked Physical World. *Auto-ID Center White Paper*, 2000
- 12 Goldsmith A. 5G and beyond: what lies ahead for wireless system design. *PPT Presentation at BUPT*, Aug 2014
- 13 Palmisano S J. A smarter planet: the next leadership agenda. *IBM*, 2008
- 14 IMT-2020 (5G) 推进组. 5G 愿景与需求白皮书. <http://www.imt-2020.org.cn/>, 2015
- IMT-2020 (5G) Promotion Group. White Paper on 5G Vision and Requirements. <http://www.imt-2020.org.cn/>, 2015
- 15 Chang G K, Cheng L, Xu M, *et al.* Integrated fiber-wireless access architecture for mobile backhaul and fronthaul in 5G wireless data networks. *Proceedings of AVFOP 2014*, Atlanta, Georgia, USA, Nov 2014
- 16 3GPP TR 36.842. Study on Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN Higher Layer Aspects V0.4.1, Nov 2013
- 17 OpenFlow consortium. <http://openflowswitch.org>, 2013
- 18 ITU-R. ITU towards "IMT for 2020 and beyond". <http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>, 2015

## [作者简介]



林金桐,男,博士,北京邮电大学顾问教授,第六任北京邮电大学校长、第五/六届中国通信学会副理事长、《电信科学》编辑委员会顾问委员。主要研究方向为光纤通信器件与系统、光网络与光信号处理。



许晓东,男,博士,北京邮电大学副教授、博士生导师,主要研究方向涉及第五代移动通信系统、蜂窝网络架构及无线组网技术、无线资源管理技术等。