



第 5 代移动通信系统展望

沈 洁

(中国普天信息产业股份有限公司 北京 100080)

摘 要: 欧盟、中国和韩国等地区和国家成立了第 5 代移动通信研究组织,提出了技术目标和研究路线。第 5 代移动通信将提供更高速的接入速率、更宽的带宽、更灵活的配置及组网方式。从技术、组网、应用 3 个方面展望了第 5 代移动通信系统。提出了新的技术研究方向、新的自组织形式的网络架构和未来的应用前景。5G 将为我国移动通信产业升级提供广阔的发展机遇。

关键词: 第 5 代移动通信;游牧本地无线接入;小波无线通信

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.09.019

Prospect of the Fifth-Generation Mobile Communication System

Shen Jie

(China Potevio Co., Ltd., Beijing 100080, China)

Abstract: EU, China, South Korea and other regions and countries have set up group to study the fifth-generation mobile communications, proposed technical objectives and research directions. The fifth generation mobile communications will provide faster access speeds, wider bandwidth, more flexible configuration networking. Three aspects of the fifth generation mobile communication systems, i.e. technology, networking, application were studied, and some new research directions, new forms of self-organizing network architecture and future application prospects were presented. 5G mobile communications in China will provide broad opportunities to industry upgrade.

Key words: the 5th generation mobile communication, NoLA, wavelet wireless communication

1 引言

随着 3G 网络商用的逐步成熟以及 4G 网络建设工作的逐渐展开,5G 无线网络的研究和开发也提上了议事日程。为此,欧盟将开展“面向 2020 年信息社会的移动和无线通信助推器(METIS)”项目,预算为 2 700 万欧元。另有 iJOIN、TROPIC、COMBO 和 MOTO 等项目也将获得 5G 资金补贴。其目标是为建立下一代(5G)移动和无线通信系统奠定基础,并在需求、特性和指标上达成共识,取得在概念、雏形、关键技术组成上的统一意见。据悉,相较之前的通信技术,5G 增加了一些新的概念和课题,如多设备智能互联、超密度网络、超可靠通信等。

近日,韩国三星宣布首次成功开发了第 5 代移动通信(5G)的核心技术,这一技术预计将于 2020 年开始部署。在测试中,三星 5G 技术在 28 GHz 的频段下下载速率达到 1 Gbit/s,最大传输距离可达 2 km,用户只需要不到 1 s 的时间即可下载一部完整的电影。而在中国,尽管 3G 还未普及、4G 刚刚起步,但 5G 的研究也已启动。2013 年 3 月有消息称,工业和信息化部牵头成立了 MG2020 推进组,正式启动中国 5G 标准化研究工作,抢占 5G 产业先机。

那么 5G 会有什么新的技术,其组网方式又是如何以及 5G 会给用户带来哪些新的应用?对于这一个问题,以下简要谈谈笔者的浅见。

2 技术发展趋势

以下先描述业界对 5G 提出的技术指标要求,再从学术界的观点分析多址方式、分集复用等与无线通信理论相关问题,最后针对工业界和产品研发探讨技术趋势。

2.1 技术要求

5G 定义:现有无线技术演进+补充性新技术^[1]。

随着网络社会的发展将带来移动数据流量的激增,预计在未来 10 年中数据流量将增加 1 000 倍;与此同时,互联设备将呈现巨量增长,物联网和其他新型创新应用的出现将催生数百亿个互联设备出现,到 2020 年将有 500 亿的设备连接,并产生前所未有的多样性要求和与无线连接性相关的应用场景。

此外,由于设备数量的增加,应用场景的多样性和需求的多样性将必然要求下一代移动通信技术具有更多、更先进的功能,需要更有效、舒适和安全的接入和共享信息,并通过提高容量、能效、频谱使用效率等方面来进行。

爱立信的 Afif Osseiran 博士认为:5G 应该是通过现有无线技术演进和开发补充性的新技术,来构建长期的网络社会。5G 不是一个网络技术,也不是几个完全新的无线接入技术,它不是以往以技术为中心的方式,而是采用以体验为中心的方式,通过集成多种无线接入技术提供极限体验来满足用户不同的需求。5G 时代移动数据量将有 1 000 倍的增长,用户数据速率将达到今天 100 倍,同一时刻的设备互联的数量可达现在的 100 倍,而且所有这些都是以低成本和可持续发展的方式来完成。

技术目标:速率提升百倍,高于 10 Gbit/s^[1]。

欧洲的 METIS(构建 2020 年信息社会的无线移动通信领域关键技术)项目于 2012 年 11 月正式启动,第一阶段计划运行 30 个月。METIS 目前划分了 8 个工作组(WP),每个工作组内会划分成多个任务,每个任务都有相应的技术研究。其中,WP1 由 DoCoMo 负责,主要侧重于场景、要求与 KPI;WP2 由华为技术负责,主要侧重于无线链路概念;WP3 由阿朗负责,主要侧重于多节点/多天线传输;WP4 由诺基亚西门子负责,主要侧重于多无线接入和多层次网络;WP5 由诺基亚负责,主要侧重于频谱;WP6 由爱立信负责,主要侧重于系统设计与性能指标;WP7 由爱立信负责,主要侧重于标准制定与发布;WP8 由爱立信负责,主要侧重于项目管理和监管。

而 METIS 所研究的 5G 技术将面向未来的 5 个主要

应用场景:

- 超高速场景,为未来移动宽带用户提供高速数据网络接入;
- 支持大规模人群,为高人群密度地区或场合提供高质量移动宽带体验;
- 随时随地最佳体验,确保用户在移动状态仍享有高质量服务;
- 超可靠的实时连接,确保新应用和用户实例在时延和可靠性方面符合严格的标准;
- 无处不在的物物通信,确保高效处理多样化的大量设备通信,包括机器类设备和传感器等。

METIS 研究 5G 的技术目标是使移动数据流量增长 1 000 倍;典型用户数据速率提升 100 倍,速率高于 10 Gbit/s;联网设备数量增加 100 倍;低功率 MMC(机器型设备)的电池续航时间增加 10 倍;端到端时延缩短 5 倍。5G 可能需要从 2~6 GHz 的频段中选取 2 000 Mbit/s 的频谱资源,超高频段的频谱可能更加适合于室内覆盖的场景,具体的频段选择还需要进一步研究。

2.2 多址方式的选择

从无线通信发展的历程看,第一代移动通信设备是基于频分复用(FDM)的模拟通信,到采用时分复用(TDM)的第二代移动通信的 GSM,采用码分复用多址(CDMA)的第三代移动通信系统,再到以正交频分复用多址(OFDMA)的第四代移动通信系统。可以看到,每一代移动通信系统都对应一种复用多址的范式转换(paradigm shift),也就是说,采用的多址方式是具有革新性的。因为地面民用无线通信系统是一个多用户系统,多址方式实际是寻找更多的资源来扩大系统容量。一种方式就是寻找更多的自由度,除了时域、频域资源外,在 CDMA 中引入了码域资源,还有一个可以引入的资源就是波分,即波形资源。笔者曾研究过基于小波的时频域快速算法^[2],在时频平面不要求正交的情况下,单位带宽下数据速率能达到现有 OFDM 系统的 3~9 倍,大大提升了频谱效率。此外,研究下面多用户条件下信道容量的香农公式:

$$C = \frac{1}{TF} E \ln(I + H R_A H^H R_c^{-1}) \leq \frac{1}{TF} \ln(I + E \{H R_A H^H\} / R_c^{-1}) \quad (1)$$

其中, T 和 F 是单位时隙和带宽, E 表示数学期望,矩阵 H 表示信道条件, R_A 表示用户信息相关矩阵, R_c 表示差错信息相关矩阵, I 为单位矩阵。式(1)的矩阵在编码和衰



落信道下,非对角线元素并不都为零,不满足正交条件。因为信道容量是凸函数,根据 Jensen 不等式,有不等号。有意思的是,式(1)左边表示的独立并联信道容量,小于右边表示的共享信道。那么可以通过资源共享的方式,提升信道容量。理论上,到用户信道容量的上确界无法确定。

尽管 4G 条件下单用户的容量已经接近香农限,但是通过分析,在多用户条件下无线系统容量还有提升的空间。引入小波等方式虽然在学术界有一定的研究和实验,但是技术还不成熟,产业界似乎希望保留现有网络技术,对采用完全革新性的技术还持保留态度。

2.3 分集与复用

无线通信的增益通过分集和复用达到,但是两者是负相关的,即提升分集增益会降低复用增益。分集技术有多载波、多天线、协同通信(CoMP),增加分集的数目可以提升分集增益。例如,增加载波的密度(小波也是一种增加载波密度的方法);增加天线数,引入极化天线;采用中继或终端协同收发情况。其中韩国三星最近宣称的 5G 技术 NoLA(nomadic local area wireless access),就是采用 64 根天线的多天线分集。估计这种技术采用了微带天线,使用较高、较宽的频带(5 GHz),但较适合室内环境,对于室外高速移动的环境,如何在终端上实现 64 根天线还是问题。

复用技术包括:时分复用、频分复用、码分复用等。在 3G 阶段,我国提出 TD-SCDMA,后续 4G 阶段又提出 TD-LTE 两项国际标准,而欧洲采用的是 FDD 的 WCDMA,4G 演进为 LTE FDD。3G 的网络建设中,我国采用了 3 种制式。从技术层面讲,TDD 方式适合数据通信,FDD 在广覆盖方面更有优势。LTA-Advanced 采用的载波聚合,是一种充分利用系统资源的频域复用技术。其将时频域看作一个整体,在技术上,两者将逐步融合,而且在 LTE-Advanced 的发展中,这种趋势也是显而易见的。在码分复用方面,采用非正交的灵活的扩频因子方式,能提升频谱效率。有国外学者提出了 OV-CDMA 系统^[3],结合时频域同时扩频和高层信令的跨层优化,该技术有望在未来移动通信的发展中占有一席之地。此外,从学术研究讲,在编码领域引入多进制编码,并将时频平面从欧式空间扩张到一般流形,以微分几何和代数几何为数学基础建立新的信息论。在技术层面,这是扩大了复用的资源,也形成一些新的共享模式,从而提升系统容量。

2.4 集成电路及天线技术

大规模集成电路的发展已达到纳米级,从而基带

ASIC 的数字信号处理能力更强。芯片的集成度也更高,在终端中已经有集成 4 核、8 核的处理器,可以预见的是,5G 中基带处理芯片的集成度可能会达到 64~256 核。此外,为了获取更多的信息,并且保持信号完整性,抽样频率需要更高,这也需要处理器的处理能力更高。在技术发展中,5G 与计算机技术的融合更深入,从而也提出采用通用 CPU 替代传统 DSP 的方案。采用 CPU(GPU),其计算和图像处理能力更强,配置也更灵活、方便,但是在无线信号处理方面性能不如 DSP 或 ASIC。

在射频方面,5G 会融合无线传感器技术,具备认知无线电的功能。按技术要求,5G 的频带宽度达到了 2 000 Mbit/s,需要采用软件无线电的方式进行灵活的频谱配置。参考文献[4]提出了一种采用软件无线电的方式,可配置接收机的框架。其中 ADC、DAC 是数模转换器,DUC、DDC 是数字上、下变频单元。

图 1 为可重配置的接收机高层结构。

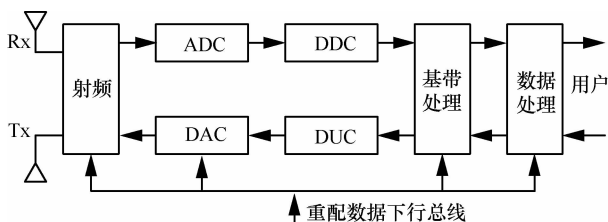


图 1 可重配置的接收机高层结构

在 5G 中,会支持多种无线技术,芯片需支持可配置的多模方式。多模方式在模式切换中,将消耗大量的电能,软件无线电需支持智能功耗识别,关闭不常用的无线模式,节约电能。

天线技术上,5G 将采用更多空间分集方式,天线根数和种类也更多。3G/4G 天线的波束赋形性能会结合空时编码,提升效能。天线的定位功能、高速波束跟踪等技术也会有所应用。不同应用的天线类型不同,例如室内采用微带天线,车联网上可以采用阵列天线等形式,接收机需能自动识别天线类型和频段。

2.5 智能化技术

随着计算机技术和无线技术的结合,在 4G 中已经引入了云基站的概念,在 5G 中,中心网络会是一个大型服务器组成的云计算平台,与基站相连的是具有数据交换功能的路由器及交换机网络。宏基站侧会有云计算功能和大数据存储功能,对于不能及时处理的计算将提交网络云计算中心。基站或终端的形态会更多,有支持物联网的机器间

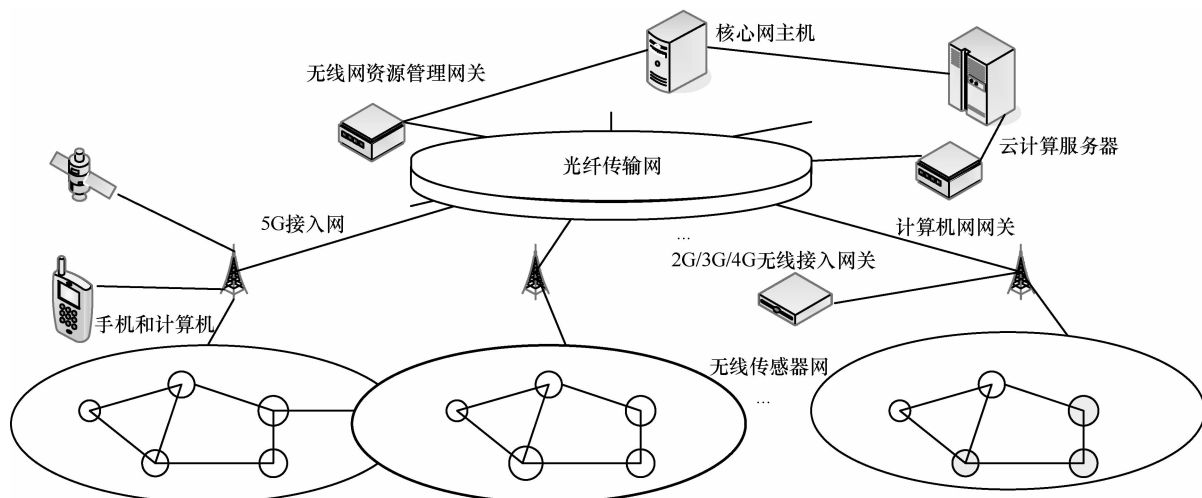


图 2 5G 异构网络结构

通信、人与人的多媒体通信、人与机器间通信,并且具有远程无线控制功能。不同的业务采用不同的频段、天线和连接方式。对于不同方式,需要具有智能配置、智能识别、自动模式切换的功能,形成自组织网的框架。

3 网络结构

无线通信网络分为接入网、传输网以及核心网。从 3G 和 4G 的发展看,核心网从层级结构变得更为扁平化,LTE 的核心网可以由一台集成的 EPC 构成。5G 的核心网将会延续这一趋势。另外,随着云计算技术的发展,核心网与运营商的云计算中心相连,核心网设备将计算分发给分布式的云计算网络,合并计算结果。即核心网设备具有云计算的 MapReduce 功能,此外,核心网还有虚拟化功能,无线接入网提交逻辑需求,核心网将逻辑需求转换到物理单元执行。另外,IPv6 技术逐步成熟以及开展商用,核心网也需支持 IPv6。传输网方面,随着光通信技术的发展,目前采用多波混频的多模光通信技术,单芯片传输能力能达到 10~100 Gbit/s。传输网络上,会对现有的 PTN 升级,并逐步实现全光传输。

接入网方面,由于 5G 规划可用的带宽有 2 000 Mbit/s,这样大范围的带宽内可以运行不同的业务和技术。接入网能够根据业务需求,选择承载的技术,并动态分配带宽。考虑到 5G 时代,承载语音的 GSM,承载数据的 CDMA,承载多媒体的 OFDM 技术仍然运行,这些技术还继续占有一定频段;新的技术有物联网、远程控制、远程识别、人机交互等,可以说 5G 接入网会成为一个具有层次结构的异构网。

图 2 是笔者提出的一种 5G 网络结构,最底层是一个类似神经网状结构的无线传感器网络,可以构成物联网;上一层是 5G 接入网,它可以在室内构成 5G 的高速无线逻辑,通过 2G/3G/4G 的接入网关,与以前的无线网络兼容。承载由全光网络构成高速传输。核心网设置电信资源管理网关和计算机网络资源管理网关,分布接入到核心网主机和云计算服务器网络。

4 应用场景

从以上分析看,5G 是个异构的、自组织、自适应、自配置的智能化网络,可以承载多种不同的应用。5G 的终端也是多种多样的,有嵌入在机器中的,有人随身携带的,也有放置于室内或车内,由室内小基站作为中继再接入 5G 网络中。最近有机半导体技术的发展,使得 5G 的手持终端有新的选项,可能的形态是由 OLED 制作的可折叠有机塑料半导体。

应用方面:机器间通信,如车联网,对车辆自动定位、导航,甚至有自动驾驶功能;人机交互类型,如自动生物识别、带传感器的远程医疗;人与人交互类型,如高速多媒体通信,终端有投影功能,能显示 3D 图像。

5 结束语

本文根据国际会议提出的第 5 代移动通信系统目标、技术指标、研究路线,分析了第 5 代移动通信可能采用的技术、组网方式和应用场景,分析了可能采用的多址方式、分集复用方式、射频和天线技术、智能化技术等新的技术领域,并提出一种异构、自组织的分层 5G 网络架构。最后,展望了 5G 的几种典型应用。随着技术的发展,5G 移动

(下转第 107 页)