



TD-LTE-Advanced 技术、标准与产业的发展及展望

陈山枝

(大唐电信科技产业集团 北京 100191)

摘要:从 TD-SCDMA 演进角度,即 TDD 标准演进角度,介绍了 TD-LTE-Advanced 的关键技术、标准演进以及 TD-LTE 的产业链发展与全球商用情况,分析其商用对我国集成电路产业发展的带动作用,并对 TD-LTE 未来产业发展、技术与标准演进做出了展望,为推进 TD-LTE 商用、后续技术与标准演进研究提供相关参考。

关键词:TD-LTE;TD-LTE-Advanced;时分双工;智能多天线;干扰协调;系统同步;产业链;集成电路

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.01.001

Development and Trend of Technology, Standard and Industry of TD-LTE-Advanced

Chen Shanzhi

(Datang Telecom Technology & Industry Group, Beijing 100191, China)

Abstract: The key technologies, standard evolution, industry chain development and its commercialization in the world of TD-LTE-Advanced were introduced from the point-view of the evolution of TD-SCDMA. The commercialization's propulsion to China IC industry development was analyzed, and the future development, technology and standard evolution beyond TD-LTE were discussed. It could be used as reference for research on TD-LTE, follow-up technology and standard evolution, such as 5G.

Key words: TD-LTE, TD-LTE-Advanced, time division duplex, smart MIMO, interference coordination, system synchronization, industry chain, integrated circuit

1 引言

移动通信技术在过去 30 年中得到了快速发展,特别是近 10 年来,对人们的生活、学习和工作方式及社交活动都带来了巨大影响。同时,不断产生、发展的各种需求和应用也对移动通信技术提出了更高的要求。

在第一代移动通信(1G)和第二代移动通信(2G)时期,由于主要依赖国外技术,我国仅设备支出就超过万亿元。2000 年,大唐电信科技产业集团(以下简称“大唐电信集团”)代表中国提交的 TD-SCDMA 标准正式成为第三代移动通信(3G)国际标准之一,实现了我国在电信技术与标

准领域“零”的突破。2012 年,以大唐电信集团为代表的中国企业主导的 TD-LTE-Advanced 标准正式被国际电信联盟(ITU)接纳成为第四代移动通信国际标准(4G),摆脱了长期以来我国对国外通信技术与标准的路径依赖问题。

时分双工(time division duplex,TDD)和频分双工(frequency division duplex,FDD)是无线通信系统的主流双工方式。从 TD-SCDMA 开始,由于其成功商用及 TD-LTE 成为 4G 国际标准,TDD 技术在全球范围得到越来越广泛的关注与研究。TDD 技术具有使用频谱灵活的特点,在频谱日益紧张的无线通信领域,具有很强的吸引力;同时其支持非对称业务等特点更适合移动互联网、物联网等业务拓展的需



求。因此,TDD 方式是具有极强竞争力的双工方式。在我国以大唐电信集团为代表的一批企业、科研院所、高校等单位的长期投入下,中国的 TDD 移动通信系统技术研究和产业化都处于国际领先水平。

TDD 技术是中国科技界、产业界对全球移动通信技术与产业方向的重大贡献,是我国科技创新的标志。在现代国际竞争中,参与和引领国际规则和国际标准的制定是更高层次的竞争力。从 TD-SCDMA 到 TD-LTE-Advanced 标准的研究制定和产业化推动,使得移动通信成为我国少数具有国际竞争力的高科技领域之一,也是我国少数具有国际标准话语权的高科技领域之一,这对我国实施创新驱动战略,提高科技自信,推动国民经济、社会发展,保障信息安全等均有着战略意义。

中国移动、中国电信和中国联通在 2013 年 12 月获得 TD-LTE 牌照,将带动 TD-LTE 全球市场发展,有望实现 TD-LTE 在国际市场“三分天下有其一”的战略目标,同时带动我国集成电路产业的跨越式发展。

本文从 TD-SCDMA 演进角度,介绍 TD-LTE-Advanced 系统的关键技术和后续演进方向,为推进 TD-LTE-Advanced 商用和后续技术与标准演进研究提供相关参考。

2 TD-LTE-Advanced 关键技术

LTE 技术,采用基于正交频分复用(OFDM)、多输入多输出(MIMO)天线等特征关键技术,提高了用户接入速率和系统容量。TD-LTE-Advanced 继承并发扬了 TD-SCDMA 的时分双工、智能天线、系统同步、联合检测等关键技术,TD-LTE-Advanced 关键技术主要包括:时分双工 OFDM、智能多天线、系统同步、多小区干扰协调等,下面进行简要介绍。

(1) 时分双工 OFDM 技术

由于多址技术在蜂窝移动通信系统中的基础性地位,其已成为移动通信系统划代的技术特征。OFDM 作为 4G 的多址接入技术,是一种基于正交多载波的频分复用技术。其基本原理是:将高速数据流经串/并转换后,分割成大量的低速数据流,每路数据流采用独子载波调制并叠加发送,接收端依据正交载波特性分离出多路信号。相对于其他多址方式,具有以下优势。

- 不同子载波间的频谱是重叠的,通过正交特性避免干扰,提高了频谱效率。
- 接收信号处理更为简单,降低了接收机的实现复杂度。

- 支持灵活的带宽扩展性。
- 易于与多天线技术、自适应技术相结合,提升系统性能等。

在 TD-LTE 系统中,多址接入技术在下行采用了 OFDM 的复用方式,为了确保终端功放的效率,在上行采用了具有单载波峰均比特征的 DFT-s-OFDM 多址方式。该多址方式可以有效降低用户设备的成本并达到延长电池使用时间的作用,而且保持了 OFDMA 的多址信号特征,使得上下行设计保持了较好的一致性。

TD-LTE 系统采用 TDD 方式,其帧结构设计吸收了 TD-SCDMA 的主要特征:一个无线帧的长度为 10 ms,分为 2 个 5 ms 的半帧;每个半帧由下行时隙、上行时隙及特殊时隙组成,其中特殊时隙包括 DwPTS、GP 和 UpPTS 3 部分,如图 1 所示。

(2) 智能多天线技术

多天线是指在无线通信中的发射端和/或接收端采用多副天线,同时结合先进的信号处理技术,提升无线传输能力。基于波束成形的智能天线技术在 TD-SCDMA 系统中得到成功应用。在 TD-LTE 系统中,波束成形的智能天线和 MIMO 结合,即智能多天线技术,同样成为提升系统性能的核心技术。

利用多天线引入信号在空间维的自由度,通过与时域、频域联合处理以及与信道编码的结合,不仅能利用 MIMO 信道中的多个子信道提高并行数据的传输速率,也可以用于提高信息传输的可靠性。TD-LTE 系统中,针对不同的应用场景,支持空间复用、发射分集、波束成形以及多用户 MIMO 等多种传输模式。

波束成形技术是一种天线信号预处理技术,发射机根据信道状态信息对各阵元的加权系数进行调整,使得功率集中在期望的某个方向波束内,以此实现接收 SINR (signal-to-interference plus noise ratio) 的提高并降低对其他用户的干扰,是 TD-SCDMA 关键技术之一。相比于 FDD, TDD 系统可以方便地利用信道的互易性,通过上行信号估计信道,采用特征值分解或其他成形算法计算波束成形向量。

TD-LTE 支持单流波束成形和多流波束成形技术。单流波束成形保持了传统智能天线在提升系统性能、扩大覆盖范围、改善边缘吞吐量以及干扰抑制方面的优势。多流波束成形技术实现了波束成形与空间复用技术的结合,提升了系统的容量和峰值传输速率。这时,基站配备多天线,

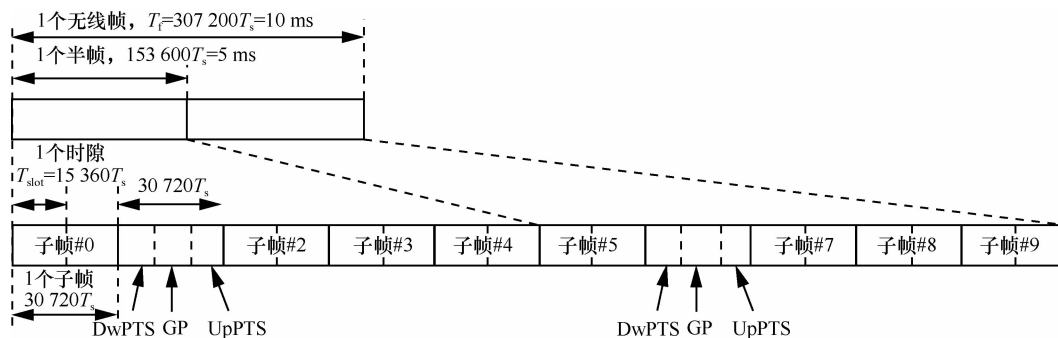


图1 TD-LTE 系统帧结构

可以利用波束成形的信号空间隔离度实现对一个用户或多个用户的并行传输，分别称为SU-MIMO (single-user MIMO)和MU-MIMO(multi-user MIMO)技术,如图2所示。

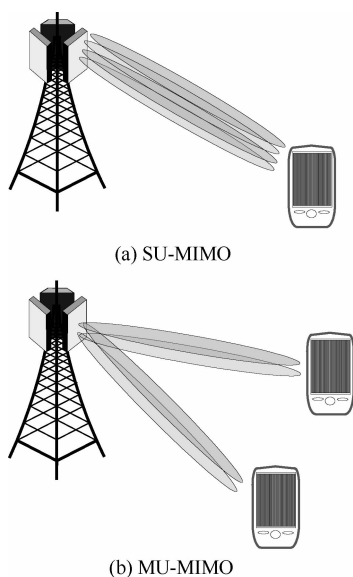


图2 单用户/多用户波束成形示意

(3)系统同步技术

与TD-SCDMA系统一样,TD-LTE系统要求较严格的系统同步:基站设备通过GPS、北斗等方式保持彼此的同步;用户设备通过检测下行同步信道与基站保持时间同步和频率同步,不同UE间的严格上行同步是通过基站对随机接入信道的检测与定时提前(time advance, TA)管理实现的。

TD-LTE系统的严格同步不仅大幅度降低了系统的干扰水平,同时为系统性能提升及应用多种先进技术提供了基础。

- 小区间干扰协调。TD-LTE系统为降低小区间信号及信道间的干扰,提出了多种基于同步技术的干扰协调和规避设计方案,可以有效抑制干扰,提升系

统性能;反之,如果是非同步系统,其干扰水平将大大提高。

- 广播多播(MBMS)技术。多个基站发送相同的信号具有良好的同步关系,用户终端则可以同时接收多个基站的信号进行合并处理,即宏分集技术。
- 协作传输技术。为提升小区边缘用户性能,TD-LTE系统支持多小区、多点协作传输(coordinated multiple points transmission/reception, CoMP)技术,即多个小区或传输点,通过资源协调同时为一个用户传输业务,CoMP技术实现的前提是参与协作的多个小区(多个传输点)具有良好的时间同步。
- 定位技术。TD-LTE系统因为是严格同步系统,支持波束成形技术,因此基站可以获得较准确的来波方向(direction of arrival, DoA)信息;基站通过UE发送的随机接入信道可以获得UE信号到达基站的时延。这样,通过UE与基站间的角度信息和距离信息则可以获得非常精确的UE位置信息。

(4)多小区干扰协调技术

TD-LTE支持频率复用因子为1,即同频的小区频率部署,小区间干扰的协调是提升系统性能的关键技术之一。另外随着社会发展,传统宏蜂窝提供的接入方式已经无法满足对高速数据传输日益增长的需求。目前,一种较好的解决方案是在传统宏蜂窝覆盖的基础上,通过在热点区域布置一些低功率的小型基站(例如Femto/Pico/中继)方法,形成宏蜂窝+低功率基站的分层协同组网方式,进一步提升热点地区的数据传输速率。在这种分层协同组网架构下,干扰情况更加复杂,需要高效的小区间干扰协调与消除技术,才能实现各小区的高效数据传输。

干扰协调的基本思想是根据一定的规则和方法,各小区间协调资源的调度和分配,以降低小区间干扰。按照协调方式,干扰协调可以分为静态干扰协调、半静态干扰协



调和动态干扰协调。干扰协调可以从频域、时域、空域以及功率等维度进行。

(5) 载波聚合技术

载波聚合技术是通过聚合多个成员载波的方式实现大系统带宽的支持,如图3所示。与传统直接设计大带宽载波的方式比较,载波聚合技术具有以下优点:载波聚合方式可以更灵活地使用频谱资源,不仅可以支持连续频谱的载波聚合,也可以支持单频段或多频段的离散载波聚合,使得运营商可以根据已有频谱资源灵活部署。另外,每个成员载波最大程度地重用已有设计,具有良好的兼容性,同时也大大减少了标准化的工作量。

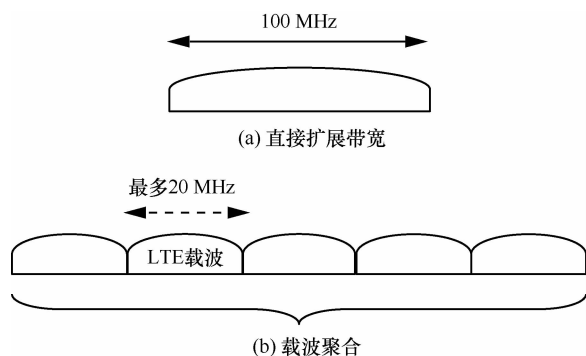


图3 直接扩展与载波聚合方式

TD-LTE 系统支持最大 5 个载波、100 MHz 的频谱聚合,可以根据用户终端的能力,灵活配置主载波、副载波,实现不同能力、不同版本终端的资源共享,不仅保证了高级终端的峰值速率需求,也可以满足低级终端的灵活使用需求。

(6) 多点协作技术

TD-LTE 采用同频组网,小区间干扰成为主要的干扰。减少小区间干扰不仅可以通过小区间干扰协调方式,也可以采用多点协作传输技术来降低小区间干扰,提升系统的频谱效率,特别是提高小区边缘用户的频谱效率。

多点协作传输指地理位置上分离的多个传输点,协同参与一个终端的数据传输(PDSCH)或者联合接收一个终端发送的数据(PUSCH)。参与协作的多个传输点可以是不同小区的基站,也可以是拉远的天线节点。TD-LTE 的多点协作技术主要支持以下 3 种传输模式:

- 联合传输,多小区联合为一个用户传输数据;
- 联合调度/成形,小区间通过互通调度信息、成形信息等实现资源的规避或波束方向的协调;
- 动态节点选择,灵活选择最佳的传输节点为用户服

务,同时预期强干扰的节点保持静默。

对于 TD-LTE 系统,因上下行采用同样的传输频率,可利用上行的信道探测参考信号 (sounding reference signal, SRS) 实现多小区的信道信息获取,降低信道信息反馈量,提升系统性能。

3 TD-LTE 标准演进

LTE 概念最早在 2004 年 11 月的 3GPP Long Term Evolution Workshop 会议上提出。LTE 系统的设计目标是以 OFDM 和 MIMO 技术为基础,开发出满足更低传输时延、提高用户传输速率、增加容量和覆盖、减少运营成本、优化网络架构、支持更大带宽以及优化分组数据域传输的移动通信标准。LTE 系统支持 TDD 和 FDD 两种双工模式。LTE TDD 模式吸收了 TD-SCDMA 系统的设计经验和关键技术,可以支持 TD-SCDMA 系统的平滑演进和共存部署,是 TD-SCDMA 系统的长期演进版本,所以也简称为 TD-LTE。

目前,LTE 标准已经连续发布了 4 个版本(R8、R9、R10、R11),R12 正在标准化过程中,预计将于 2014 年 6 月完成主要标准化工作。其中,R8 和 R9 版本被称为 LTE,支持从最小 1.4 MHz 到最大 20 MHz 的多种载波带宽。在 20 MHz 载波下,下行瞬间传输速率峰值达到 100 Mbit/s(频谱效率为 5 bit/(s·Hz)),上行瞬间传输速率峰值达到 50 Mbit/s(频谱效率为 2.5 bit/(s·Hz))。R10、R11、R12 等后续的版本被统一称为 LTE-Advanced,提出的传输速率峰值目标是下行 1 Gbit/s,上行 500 Mbit/s;系统可支持 100 MHz 带宽,可以是连续频谱和非连续频谱的聚合(即载波聚合技术)。LTE 标准化过程中的重要里程碑如图 4 所示。

2004 年 12 月,在 RAN#26 次会议上正式启动 LTE 的研究阶段(study item, SI)工作,于 2006 年 9 月完成 LTE 系统的前期技术性探索。

2006 年 6 月,3GPP 通过 3G LTE 工作阶段(work item, WI)立项,于 2008 年 12 月,发布了第一个正式版本 R8。

2008 年 3 月,为应对 ITU 关于 4G 候选技术征集需求,LTE-Advanced (LTE-Advanced R10) SI 立项启动,LTE-Advanced 的主要目标是满足 ITU 关于 4G(IMT-Advanced)的需求。

2008 年 12 月,LTE R9 WI 启动,并于 2009 年 12 月正式发布,完成功能性冻结。

2009 年 12 月,LTE-Advanced R10 WI 启动,并于 2010 年 12 月发布 R10 的第一个规范版本。

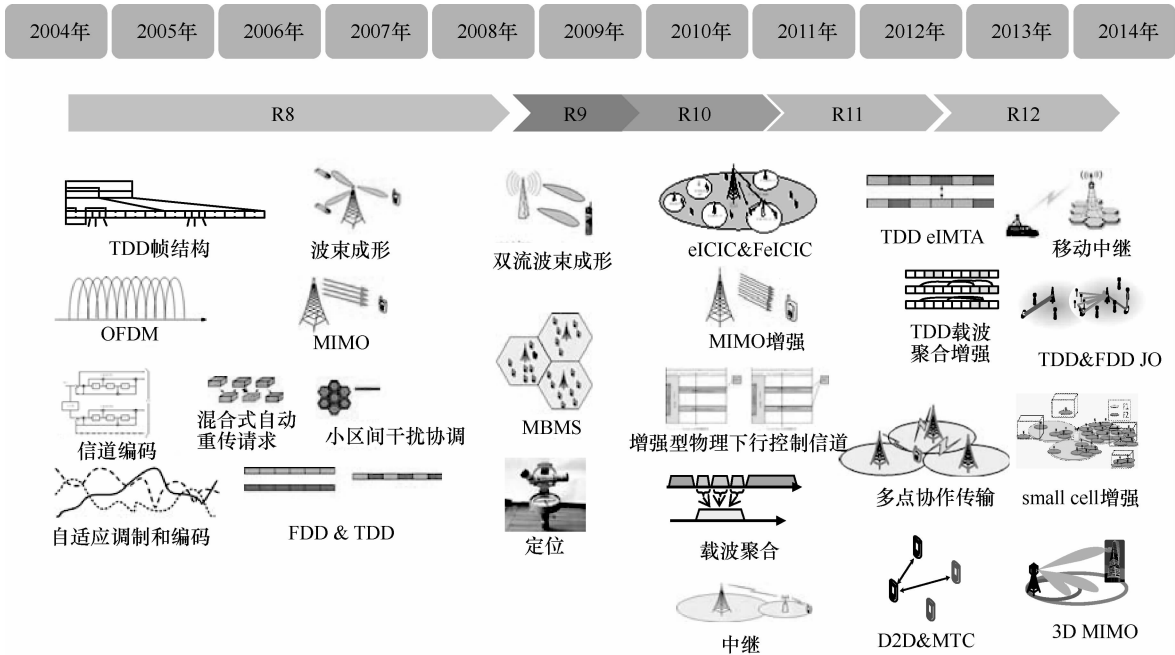


图 4 TD-LTE 标准演进示意

2009 年 10 月，中国提交了 3GPP LTE-Advanced 的 TDD 部分即 TD-LTE-Advanced 作为 4G 候选技术之一，2010 年 10 月，TD-LTE-Advanced 被 ITU 接纳为 4G 国际标准。

2011 年 3 月，LTE R11 研究启动，2013 年 3 月，R11 标准正式冻结。

2012 年 9 月，LTE R12 研究启动，预期在 2014 年 6 月完成主要标准化工作。

TD-LTE 与 FDD LTE 标准化进程完全同步，实现技术与标准同步演进。在 TD-LTE R8 阶段，主要完成了多址技术、帧结构、MIMO 技术、信道结构设计等基础性工作。在 R9 阶段，主要完成 R8 遗留的双流波束成形、定位技术和 MBMS 技术支持。在 R10 阶段，为提升系统性能以满足 ITU 关于 4G 的需求，采用了载波聚合、MIMO 增强、多点协作、中继(relay)等增强特性。在 R11 阶段，除进一步完善载波聚合、MIMO 增强、多点协作技术，也引入了动态 TDD 技术等增强特性。

4 TD-LTE 产业发展与商用情况

(1) TDD 产业链发展情况

在我国政府和相关部委(工业和信息化部、发展和改革委员会、科学技术部等)的指导和支持下，TD-SCDMA 产业联盟从 2002 年的 8 家单位发展到目前的 90 多家，覆盖产业链所有环节，带动 200 多家企业加入供应链，打造了

基于本土企业的完整移动通信产业链，实现了群体突破，包括：大唐移动、华为、中兴通讯等设备商，还有大唐联芯、展讯、海思等芯片商，大唐联仪、星河亮点、中创信测等测试仪表企业及中兴通讯、华为、酷派和联想(业界称为“中华酷联”)等手机终端企业。爱立信、三星、MOTO、HTC、安捷伦等跨国公司也加入产业链。

在中国移动和产业界的共同努力下，截至 2013 年 10 月 TD-SCDMA 用户数达 1.76 亿，占我国 3G 总用户数的 45%，已进入产业链发展的良性轨道。TD-SCDMA 产业发展促进我国通信设备逐步实现全面国产化，本土企业在系统设备、手机芯片、手机终端等市场占有率分别达到 90%、70%、89%，相比之下，WCDMA 和 cdma2000 的本土企业占有率低得多，特别是芯片环节基本上没有突破，详见表 1。而 TD-SCDMA 芯片规模商用是我国移动通信产业首次实现了从“无芯”到“有芯”的突破，使得移动通信成为我国具有国际竞争力的少数高科技领域之一。

表 1 本土企业在 3G 产业链环节的市场占有率

	系统设备	手机芯片	手机	测试仪表
TD-SCDMA	90%	70%	89%	综合测试仪 10%； 协议一致性测试仪 100%
WCDMA	51%	5%	54%	0
cdma2000	75%	0	71%	0



本土企业经过 TD-SCDMA 产业的培育,已具备一定的竞争力,特别是芯片和测试仪器环节的突破,为 TD-LTE 产业发展奠定了坚实的基础。当前 TD-LTE 产业链端到端环节已具备规模商用能力,全球共有 10 家系统设备厂商、17 个芯片厂商、51 个终端厂商、36 个测试厂商、62 个运营商支持 TD-LTE 商用发展。从全球看,TD-LTE 与 LTE FDD 产业化进展已实现基本同步。

(2) TD-LTE 商用情况

TD-LTE 已经得到主流运营商的广泛认可。截至 2013 年 10 月,全球 40 个国家共部署 23 个 TD-LTE 商用网络,39 个网络正部署或计划部署,终端达 274 款。并且已经突破了北美、欧洲、日韩等发达国家和地区:近期美国 Sprint 宣布将建设 3.8 万个基站,印度巴蒂等四大运营商 2015 年前将建设超过 5 万个基站,日本软银 2014 年基站数预计将超过 6 万个(已部署 4.3 万个)等。

2013 年 12 月 4 日,工业和信息化部正式向中国移动、中国电信和中国联通颁发“LTE/第四代数字蜂窝移动通信业务(TD-LTE)”经营许可。

当前,中国移动正在积极进行规模为 20 万个基站的 TD-LTE 扩大规模网络建设,覆盖超过 100 个大中城市。据统计,2013 年全球新增 55 万套 LTE 基站,其中,TD-LTE 将达到 25 万套,占比接近一半。

预计中国移动 2014 年将采购 4 000 万部 TD-LTE 智能手机和 1 000 万部 TD-LTE 数据通信终端。中国移动计划将 TD-LTE 的覆盖城市扩展到 300 个以上。中国电信、中国联通也在积极进行 TD-LTE 建设规划。

TD-LTE 在我国的规模商用,将极大地提升产业链竞争力,带动整个 TD-LTE 产业生态系统健康良性发展,从而产生积极的示范效应,促进更多的海外运营商运营 TD-LTE 网络。预计 2014 年全球 TD-LTE 将进入建设高峰期。

5 TD-LTE 发展展望

(1) TD-LTE 产业发展展望

截至 2013 年 10 月,全球已发放 104 张 TD-LTE 牌照,可覆盖人口数超过 30 亿。中国 3 张 TD-LTE 牌照的发放以及网络的规模商用,将进一步提升 TD-LTE 产业链竞争力和推动 TD-LTE 在国外的商业应用,系统设备、手机终端、手机芯片、测试仪表等产业链上下游的企业将会面临更大的国际市场。特别是,通过 3G 发展起来的中国手机芯片、手机终端企业,将在全球市场推出更具竞争优势的自主设

计和制造的 4G 手机芯片和手机终端。这将逐步改变一直以来我国依靠低附加值的“中国制造”电子产品的出口格局,也将促进我国出口结构的优化。

总之,TD-LTE 的全球化发展,将带动我国通信产业走向世界,实现 TD-LTE 国内“三分天下有其二”、国际市场“三分天下有其一”的战略目标。

(2) TD-LTE 对我国集成电路产业发展的带动作用

2012 年全球集成电路应用市场结构中,计算机、移动通信和消费电子(业界通常所称的 3C)占据市场规模的前 3 名,份额合计约占 80%。随着全球 3G/4G 广泛应用,特别是在移动互联网需求带动下,智能手机快速普及,集成电路市场结构出现了重大变化,即“通信”取代“计算”成为 IC 发展最大动力。2013 年 6 月,市场研究机构 IC Insights 发布的报告称,智能手机出货强劲增长,笔记本电脑销售下滑,预计 2013 年通信芯片市场的规模有望首次超越 PC 芯片市场规模。

而随着 4G 的广泛部署以及移动互联网、物联网、大数据等新兴应用的渗透,移动通信有望成为未来 20 年驱动 IC 发展的最大动力。

我国企业在 TD-SCDMA 标准的全产业链突破,为我国抓住“通信取代计算成为集成电路发展的最大驱动力”历史机遇,推动我国集成电路跨越发展奠定了坚实基础。目前我国本土芯片企业在 TD-SCDMA 手机芯片市场占有率超过 70%。伴随着 TD-SCDMA 手机的发展,国内集成电路工艺先后经历了 65 nm 和 45 nm 两代。而且,2011 年,本土前 4 名的集成电路设计企业中有 3 家是通信芯片设计企业(第一、第二、第四名),而到了 2012 年,前 4 名则全是通信芯片设计企业(华为海思、展讯、锐迪科、大唐电信集团等),并且这几家通信芯片设计企业的收入更是占到了前十大收入总和的 70%。中芯国际(SMIC)作为我国技术最为先进、产能最大的集成电路制造企业更是支撑了本土通信芯片企业的互动发展。

我国集成电路产业经过多年的发展已初具规模,但同时也面临不小的挑战。目前我国集成电路进口率高达 80%,手机相关芯片是进口集成电路的大宗市场之一。

多年来,集成电路的工艺演进遵循摩尔定律规律,硅芯片每隔 18 个月集成度就会翻一番,每一代的技术路线非常清晰。业界预测 28 nm 将是进入纳米时代后生命周期最长的工艺节点,共有 10 年的生命周期(目前还有 8 年),

将超过 90 nm、65 nm、45 nm 等工艺。28 nm 刚好能满足 4G 智能手机的性能、体积、功耗和成本等因素的综合要求。

因此,我国移动通信芯片产业的突破将带动我国集成电路产业链的进步。通过系统整机的牵引,完全有能力使得我国初具国际竞争力的通信芯片企业借助 TD-LTE 发展东风更上一层楼。对我国集成电路产业而言,当前关键的是要抓住“4G+28 nm”的战略机遇,以自主创新的 TD-LTE-Advanced 标准规模商用为牵引,尽快突破各项薄弱环节,实现正向循环,整体提升我国本土集成电路产业竞争力和盈利水平。

(3)TD-LTE 未来技术与标准演进及 5G 研究方向

随着 4G 商用,全球科技界与工业界开始研究与分析面向 2020 年的 5G 系统的业务、应用、网络运维等需求,提出以下关键指标。

- 提升系统容量 1 000 倍。基于近年移动通信网络数据流量增长趋势,预计到 2020 年,全球总移动数据流量将达到 2010 年总移动数据流量的 1 000 倍。这要求单位面积的吞吐量能力达到 100 bit/(s·km²)甚至更高。
- 提升用户接入速率 10 倍。5G 网络需要 10 倍于 4G 网络的峰值速率,即达到 10 Gbit/s 量级。通常,用户能获得的接入速率为 100 Mbit/s~1 Gbit/s。
- 支持的终端数量增长 100 倍。随着无线通信模块和无线接入成本的大幅降低,任何物体(如新型穿戴式设备、M2M 终端等)都将首选通过无线方式接入网络。预计到 2020 年,支持的终端数量将是 2010 年的 100 倍。
- 缩短时延 10 倍。进一步降低用户面时延和控制面时延,相对 4G 缩短 10 倍,达到 5 ms 左右,提升用户体验和满足实时工业控制需求。
- 降低功耗和成本 1 000 倍。按照技术经济平衡原理,即增速不增价,通过端到端设计,使网络综合的能耗和成本降低 1 000 倍,即实现 1 000 倍流量提升但能耗和成本与现有网络相当。

针对上述 5G 的更高需求,TDD 系统比 FDD 系统更有优势。首先,未来移动通信系统在频谱带宽上将扩展 10 倍以上,并进一步向更高频段(如 6 GHz 及以上)扩展,TDD 系统使用非成对的单一频谱,更容易获得大带宽的空闲频段;其次,TDD 系统更易于灵活调整上下行比例配置,可以更好地匹配大量下载或上传的业务突

发,提升系统效率;而且,TDD 系统可以利用上下行互易性,更易于在复杂的网络环境下获取信道信息,更好地支持大规模天线阵列技术、高密度小区等典型场景。可以预期,在未来的宽带通信系统中,TDD 系统将获得更多的关注和应用。

大唐电信集团在面向未来后 4G 及 5G (IMT-2020)的研究中,形成了系统的解决方案,即 LTE-Hi 方案(可以认为 4.5G)。密集组网是满足未来流量需求增长最有效的方法。LTE-Hi 系统的定位是基于 TD-LTE,建立高频段、小覆盖、高吞吐量、低移动性、架构优化的低成本室内热点无线通信解决方案,满足该场景的大数据量需求。LTE-Hi 的 Hi 具有多重含义,包括 hotspot and indoor,higher frequency、high bandwidth、higher performance。已提出了 LTE-Hi 的动态 TDD、室内热点 MIMO 增强、高阶调制等关键技术,近期主要研究内容包括:优化空口设计、增强小区间干扰协调、实现小小区与大覆盖小区的 U/C 分离等;可以逐步地面向小覆盖和高频段设计新系统,提升单小区能力和带宽,支持新的业务类型,降低空口时延,设计更扁平、更灵活的网络架构等。TDD 在高频段小覆盖具有频谱利用效率高、设备成本低以及频率使用灵活等优点,未来 5G 的超密集部署场景将重点考虑基于 TDD 方式的技术增强和演进。

目前,业界对移动通信的研究主要基于 6 GHz 及以下频段。为满足 2020 年 5G 提升系统容量 1 000 倍的需求,需要考虑高频段(6 GHz 及以上)的利用。当然,一些正在研究中的新突破性技术,如非正交多址(none orthogonal multiplex)技术、同频同时双工技术(全双工技术)、动态频谱感知技术、角动量调制(OAM)技术等,在提升频谱效率、系统容量等方面可以发挥重要作用,有可能被 5G 系统采用,值得进一步研究与关注。

未来的移动宽带网络体系可以借鉴目前正在研究的软件定义网络(SDN)技术、内容分发网络(CDN)技术、自组织网络(SON)技术等,并结合无线网络多频率、多体制、移动性等特点及需求,设计更高效灵活的 5G 无线网络架构,适应未来业务发展需求,降低成本,实现移动宽带产业生态链的健康可持续发展。

6 结束语

随着 TD-LTE 的全球化发展,TD-LTE-Advanced在国内市场“三分天下有其二”、国际市场“三分天下有其一”的战略目标

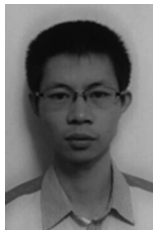


融合、业务融合和网络融合 3 个方面,有许多技术细节还有待进一步深入研究。

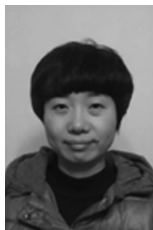
参考文献

- 1 Carlaw S. IPR and the Potential Effect on Femtocell Markets. ABI Research, 2008
- 2 骆宏图,陈长缨,傅倩等. 白光 LED 室内可见光通信的关键技术. 光通信技术, 2011, 35(2): 56~59
- 3 胡国永,陈长缨,陈振强. 白光 LED 照明光源用作室内无线通信研究. 光通信技术, 2006, 30(7): 46~48
- 4 茹小波. 室内可见光局域网的研究. 大众科技, 2012, 14(4): 69~72
- 5 丁德强,柯熙政. 一种基于可见光通信的无线局域网系统设计与仿真. 西安理工大学学报, 2007, 23(1): 114~117
- 6 翁晓东,燕奇,宋占伟等. 基于 LED 光通信的按需路由协议实现. 吉林大学学报, 2010, 28(6): 545~551
- 7 Rahaim M B, Vegni A M. A hybrid radio frequency and broadcast VLC system. Proceedings of GLOBECOM Workshops, Houston, USA, 2011
- 8 OMEGA Deliverable D5.4. Inter-MAC protocols performance report. <http://www.ict-omega.eu/fileadmin/documents/deliverables.html>, 2010
- 9 肖竹,李仁发,易克初等. 两层异构网络中 Femtocell 研究进展与展望. 通信学报, 2013, 34(2): 156~169
- 10 田桂宾. Femtocell 关键技术及组网应用. 电信工程技术与标准化, 2011(8)
- 11 李玥,彭木根. 基于虚拟小区的分层异构无线组网方案. 电信科学, 2013, 29(1)
- 12 芦旭,郭伟,杨莹. 终端直通技术中通信系统模式的研究. 通信技术, 2012, 45(3): 86~88
- 13 王彬,陈力,张欣等. 在 LTE-Advanced 网络下的 Device-to-Device 通信. 现代电信科技, 2010(10)

[作者简介]



刘阳,男,国家数字交换系统工程技术研究中心博士研究生,主要研究方向为无线网络组网技术、可见光通信。



赵华,女,国家数字交换系统工程技术研究中心讲师,主要研究方向为无线网络安全、可见光通信。



黄开枝,女,博士,国家数字交换系统工程技术研究中心副教授、硕士生导师,主要研究方向为无线网络安全、无线通信。



季新生,男,国家数字交换系统工程技术研究中心教授、博士生导师,主要研究方向为电信网安全、无线网络安全。

(收稿日期:2013-07-30)

(上接第 7 页)

一定能实现,同时将带动我国集成电路产业的跨越式发展和本土通信产业走向全球市场。

参考文献

- 1 Chen S Z, Wang Y M, Ma W G, et al. Technical innovations promoting standard evolution: from TD-SCDMA to TD-LTE and beyond. IEEE Wireless Communications, 2012, 19(2): 60~66
- 2 王映民,孙韶辉. TD-LTE-Advanced 移动通信系统设计. 北京:人民邮电出版社, 2013
- 3 陈山枝,秦飞. LTE-Hi ——无线移动宽带网络演进路线. 电信科学, 2012, 28(11)

[作者简介]



陈山枝,男,博士,大唐电信科技产业集团副总裁,电信科学技术研究院副院长、教授级高级工程师、博士生导师,IEEE 高级会员,工业和信息化部通信科技委员会常委,中国通信学会常务理事、会士,曾任国家“863”计划专家组成员、国家重大专项的专家组成员等,曾获 2001 年度国家科学技术进步二等奖、2012 年度国家科学技术进步一等奖、第九届光华工程科技奖、2012 年度中国通信学会科学技术进步一等奖等荣誉,目前主要研究方向为无线移动通信、物联网和应急通信。

(收稿日期:2013-12-15)