



专题:4G&5G

TD-LTE 演进关键技术研究

毛剑慧,邓 伟,杨 光

(中国移动通信有限公司研究院 北京 100053)

摘 要:详细介绍了提升吞吐量的载波聚合、增强 MIMO 技术,用于抑制干扰的协作多点传输、增强型小区间干扰协调技术以及提升网优效率的 eSON 技术,除这些关键技术的原理外,还阐述了技术产业现状、仿真及目前测试的结论。

关键词:TD-LTE-Advanced;载波聚合;多天线技术演进;协作多点传输;中继;网络自组织增强;增强型小区间干扰协调

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.007

Research on Key Technologies of TD-LTE-Advanced

Mao Jianhui, Deng Wei, Yang Guang

(Research Institute of China Mobile Co., Ltd., Beijing 100053, China)

Abstract: The carrier aggregation and enhanced MIMO for enhancing throughput, CoMP and eICIC for interference suppression, eSON for improving SON efficiency were introduced in detail. The technology industry status, simulation and test results were also described.

Key word: TD-LTE-Advanced, carrier aggregation, eMIMO, CoMP, relay, eSON, eICIC

1 引言

TD-LTE 主要以 OFDM 多址接入和多天线技术为基础,可以提供更低传输时延、更高用户传输速率、增加容量和覆盖的移动通信网络。TD-LTE 现有基站主要以 3GPP R9 版本为主,包括下行双流波束成形、网络自优化等特性,2008 年 3 月 3GPP 标准组织开始对于 TD-LTE 后续演进(LTE-Advanced, LTE-A)技术进行立项,截至 2012 年年底, R10 标准化工作基本结束。

2 TD-LTE 后续演进技术引入背景

本节重点从 TD-LTE 现网实际情况出发,介绍引入 TD-LTE 演进关键技术的必要性和紧迫性。

- 用户速率亟需进一步提升。目前主流商用终端为等

级 3 的终端,在上下行子帧配比 2:2 条件下,下行峰值速率为 60 Mbit/s,上行峰值速率为 20 Mbit/s,上下行小区吞吐量为 15.2 Mbit/s/26.8 Mbit/s;在上下行子帧配比 1:3 条件下,下行峰值速率为 80 Mbit/s,上行峰值速率为 10 Mbit/s,上下行小区吞吐量为 6.9 Mbit/s/38.3 Mbit/s。因此仍有进一步提升速率的需求,可以借鉴 TD-LTE 演进技术中的载波聚合(carrier aggregation, CA)、MIMO 增强技术。

- 同频干扰需要进一步抑制。在宏基站同频组网时存在较强的上行干扰,目前采用基站 IRC 接收或者小区间干扰消除(ICIC)技术进行抑制;但如果采用宏微基站同频分层组网,同频组网产生的控制信道干扰将更为显著,因此需要引入 TD-LTE 后续演进技术中的增强小区间干扰消除(eICIC)技术对干扰进行抑制。

- 网络管理维护效率需要进一步提升。目前采用路测终端进行测试和优化,需要测试人员携带路测终端对于覆盖内的所有道路、室内进行遍历,查找覆盖空洞等网络问题,网络管理维护效率较低。因此,可以考虑引入 TD-LTE 后续演进技术中的 MDT(最小化路测)技术提升网管维护效率。
- 小区边缘用户吞吐量需要进一步提升。TD-LTE 宏基站主要采用 20 MHz 同频组网方案,小区边缘用户由于同频干扰的影响吞吐量较低,因此可以考虑引入协作多点传输(coordinated multi-point transmission and reception, CoMP)技术提升边缘用户吞吐量。

3 TD-LTE 后续演进关键技术

如第 2 节所述,需要引入 LTE-A 技术提升现网性能。

以下将详细介绍 LTE-A 各关键技术。LTE-A 系统引入了一系列新技术以满足 3GPP R10 版本标准的需求,主要包括载波聚合、多天线技术演进、CoMP、中继(relay)以及增强型小区间干扰消除、网络自组织增强(eSON)、增强型广播多播服务(E-MBMS)等。3GPP R10 版本标准完成之后,LTE-A 技术仍然在不断完善,不断衍生出新的增强方案并加入 R11 版本中,持续提升了 LTE-A 系统的性能。

3.1 载波聚合技术

载波聚合技术是将多个频率上相邻或离散的 LTE 载波聚合使用,以提供更大的传输带宽。LTE 系统的用户终端可以在每一个单独的载波上使用,而 LTE-A 系统的用户终端根据能力不同,可以使用从一个载波到全部频谱的通信。通过扩展系统和终端的工作带宽,载波聚合一方面提高了数据传输速率,另一方面也能够更高效地使用频谱资源。本节从载波聚合的概念及引入需求出发,介绍了载波聚合的频带场景和可能的应用部署场景。

3.1.1 需求及技术原理

为了满足 LTE-A 峰值速率和带宽的需求,载波聚合被确定为 3GPP LTE-A 中的核心技术之一。如图 1 所示,载

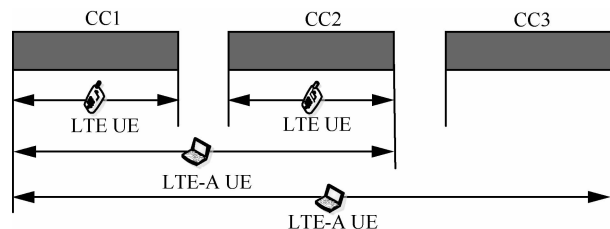


图 1 载波聚合

波聚合的核心思想有两点:一是一块大的连续频谱或若干离散频谱被划分为多个成员载波(component carrier, CC),各 CC 的带宽和 LTE R8/R9 载波相同(不大于 20 MHz),以保证已有(不支持载波聚合)LTE 终端的接入,同时降低设备复杂度;二是支持载波聚合的 LTE-A 终端可以部分或完全地使用这些频谱(即同时接入多个 CC),以提供高于单个成员载波的数据速率。对于 LTE-A 终端,不同 CC 可以进行资源调度和干扰协调等方面的协作,以提高系统性能。

以 3GPP R8 最大系统带宽 20 MHz 为基础,LTE-A 最多可以支持 5 个载波聚合,系统带宽为 100 MHz,最大峰值速率可达下行 3 Gbit/s、上行 1.5 Gbit/s。同时 LTE-A 支持同一频段内连续/非连续载波聚合和跨频段载波聚合,以充分利用运营商的可用频谱。为了便于系统升级,3GPP R10/R11 中成员载波均为后向兼容载波,允许 R8/R9 终端接入,但是未来可以支持非后向兼容载波,以便于支持零散频谱和感知无线电技术识别的频谱等应用场景。

3.1.2 产业现状

根据中国移动目前 TD-LTE 频谱资源情况,并结合 3GPP 标准化进程,2013 年要求主设备及终端具备支持频段 41 的 40 MHz 和频段 40 的 40 MHz 载波聚合的能力;2014 年主要考虑引入 F 频段与 D 频段跨频段同时隙配比 40 MHz 载波聚合功能。截至 2013 年年底,主要系统厂商具备支持频段内 40 MHz 载波聚合的能力并进行实验室与外场验证,测试结果表明,在上下行子帧 1:3 配比、特殊时隙 10:2:2 配置下的下行峰值速率可以达到 220 Mbit/s,如图 2 所示。

3.2 多天线技术演进技术

3.2.1 需求及技术原理

多天线技术的演进是满足 LTE-A 峰值谱效率和平均谱效率提升需求的重要途径之一。LTE R8 下行支持最大 4 层传输,而上行只支持单天线发送。LTE-A 为提升峰值谱效率和平均频谱效率,在上下行都扩充了发射/接收支持的最大数据层数,允许下行最多 8 天线 8 层发送,上行最多 4 天线 4 层发送。

(1) 下行 MIMO 增强技术^[1]

下行 MIMO 增强技术是在 LTE R8/R9 版本中多天线传输技术基础上的进一步演进和扩展,包括:增加下行传输模式 9(TM9),下行可以支持 8×8 波束成形,支持最多 8 层传输;此外参考信号有了很大的变化,R8 的下行公共参考信号由下行解调参考信号(DMRS)和下行测量参考信号

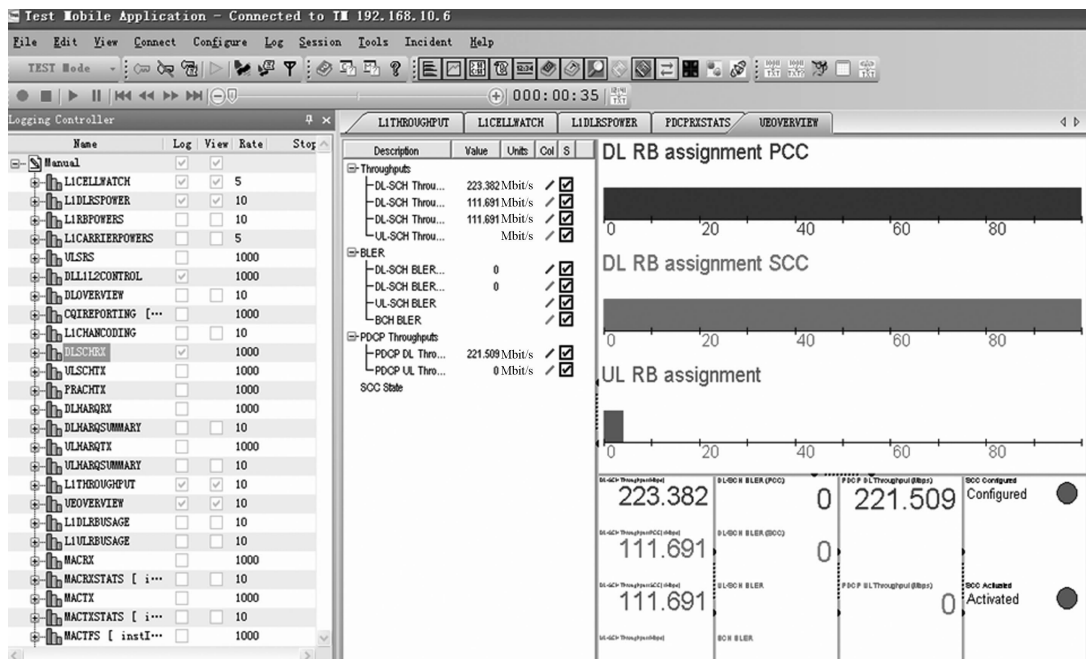


图2 下行连续 40 Mbit/s 载波聚合峰值速率

(CSI-RS)代替,下行波束成形不再局限于 SRS 测量计算成形权值,可以采用基于码本选择的形式进行波束成形。

因此,波束成形的方式将更加灵活,可以广泛应用于以下场景。

- 无探测参考信号(SRS)发送的场景。下行载波聚合环境下,信道探测参考信号仅在主载波上进行发送,辅载波不发送 SRS,因此基站无法获取辅载波的信道特征,导致基于 SRS 测量计算成形权值方法的性能下降。因此,在该场景下,为了保证波束成形的性能,建议采用基于码本反馈的波束成形方法。
- 上行探测参考信号资源受限的场景。目前,TD-LTE 主要的子帧配比方式为 3DL:1UL,1 个无线帧中仅有 2 个上行子帧,在多用户场景下上行资源将可能受限。因此,在该场景下,也建议 R10 终端采用基于码本反馈的波束成形方法,减少 SRS 开销以用于 R8/R9 波束成形的用户。

此外,虽然 LTE-A 系统中基站的天线数已经扩展到 8 个,最大可以支持下行 8 流发送,但是考虑到终端的成本和体积,很难将用户端扩展到 8 个天线,所以多个用户间共享相同的时频资源与基站通信的方式即 MU-MIMO (多用户 MIMO)逐渐成为研究热点。如图 3 所示,MU-MIMO 将传统的点对点通信模式转变为点对多点的传输模式,基站在相同时频资源上同时服务多个用户,通过基站侧的预编码消

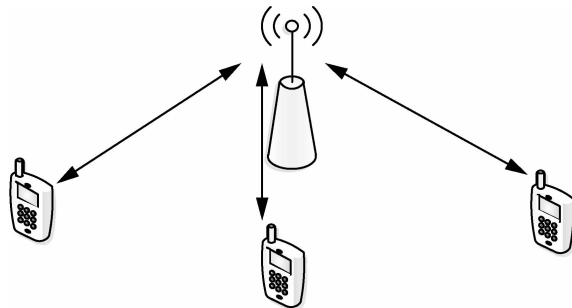


图3 MU-MIMO 示意

除多用户间干扰,可以有效提高系统吞吐量。基站基于上行信道信息或用户反馈情况进行多用户配对,将同一个时频资源同时分配给多个配对用户,用户之间的干扰利用波束成形算法删除。MU-MIMO 利用波束成形的方向性,实现多用户的空分多址,能进一步获得多用户空间复用增益,适用于密集城区的小区中心用户。

(2)上行 MIMO 增强技术

上行 MIMO 增强技术是在 LTE R8/R9 版本中上行单天线传输技术基础上的进一步演进和扩展,包括:系统上行支持 4x4 配置的 MIMO,并对上行解调参考信号(UL DMRS)和上行探测参考信号的容量进行扩充,以同时支持更多正交用户。

因为上行 MIMO 有赖于终端功能的大幅提升,在 LTE 阶段,虽然在下行使用了 MIMO 技术,但是上行依然采用

单天线发送的方式,因此上行频谱效率比较低。LTE-A 终端的基本配置为 2 个以上发送射频通道,支持多个天线同时传输信号,因此可以在上行传输中引入 MIMO 技术提升频谱效率。LTE-A 系统上行支持 4×4 配置的 MIMO 技术,从理论的角度来说,相比于 R8 可以实现 4 倍的上行峰值速率。

但必须指出,在实际终端设计中,上行多流传输需要设计多个独立的发射通路,势必会增加终端射频前端的体积及功耗,因此建议在某些行业终端中引入上行多流传输技术。

在负荷较大的区域,为了同时服务更多的上行用户,可以采用上行 MU-MIMO 技术。其主要原理是将多个用户配对,共享相同的时频资源,在基站侧抑制多用户间干扰,从而提高资源利用率。由于用户端较难实现信令的交互,所以该技术同样对用户侧透明,也就是说用户并不知道是否存在配对用户,仅在基站端进行用户间的干扰删除。

3.2.2 产业现状

增强多天线技术对于系统、终端的实现难度均较高,主要设备厂商已支持上行双流多天线增强技术,预计 2014 年支持其他 MIMO 增强技术。终端设计需要考虑到射频前端的体积、成本及功耗等诸多因素,因此建议仅行业应用终端引入上行多流技术。

终端实现下行 4 流 TM9 难度较大,且现网环境下多流传输的调度比例需要进一步研究及仿真,预计 2014 年进行技术验证。

3.3 协作多点传输技术

CoMP 技术是指在相邻基站间引入协作,在协作基站之间共享信道状态和调度等有用信息,通过协作基站间的联合数据处理和发送,将传统的点对点/点对多点系统拓展为多点对多点的协作系统,将多个接入点信号的发送与接收进行紧密协调,可以有效降低干扰、提高系统容量、改善小区边界的覆盖和用户数据速率,特别是对小区边界用户的性能改善十分有效。

3.3.1 需求及技术原理

在实际网络环境下,边缘用户由于信号强度较弱或者干扰较大等原因造成边缘速率较低,因此需要引入 CoMP 技术提升小区边缘用户速率。

根据用户数据是否在基站间共享,CoMP 可以分为两大类:协调调度(coordinated scheduling/coordinated beamforming, CS/CB)和联合处理(joint processing, JP)。

CS/CB 也称为“干扰避免”,不需要在基站间共享用户数据,通过对系统资源的划分和限制或者有效分配,减小相邻小区边缘区域使用的资源在时间、频率或者空间上的冲突,从而在尽可能保持系统高频谱利用率的基础上避免小区间干扰,提高信号的接收信噪比,如图 4 所示。

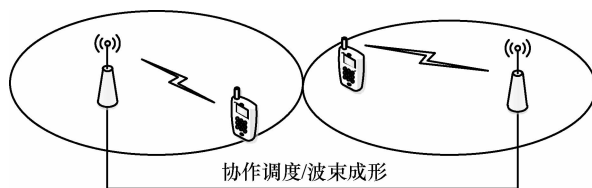


图 4 协作调度/波束成形

JP 也称为“干扰利用”,需要在基站间共享用户数据,通过协作接收或者发送多个协作用户的信号,实现多小区之间的干扰减少或抑制。JP 技术可以将干扰信号作为有用信号加以利用,从而降低小区间的干扰,提高小区边缘用户的服务质量和吞吐量,提高系统的频谱利用率,如图 5 所示。对于下行链路的 JP,基站端的干扰抑制需要利用下行信道状态信息。对于 FDD 系统,由于上下行信道不互易,需要反馈使用码本量化的下行信道信息到协作基站,为降低反馈开销,反馈的信道矩阵信息存在较大量化损失,使用 JP 技术困难较大;然而对于 TDD 系统,由于上下行信道存在互易性,可以通过上行信道估计获得下行信道的状态信息,因此更适合使用 JP 技术。

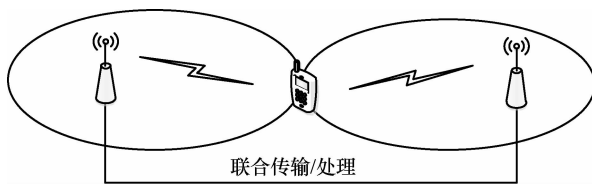


图 5 联合传输/处理

3.3.2 产业现状

上行两天线多小区联合接收可以获得 40%~50% 小区边缘性能增益,因此主要系统厂商已完成开发并进行了外场验证(外场测试结果如图 6 所示);上行 8 天线多小区联合接收可以获得 20%~30% 小区边缘性能增益,部分系统厂商已支持该功能并进行了外场验证(外场测试结果如图 7 所示)。

仿真表明,下行 8 天线多小区联合发送可以获得 20%~30% 小区边缘性能增益,但主设备需要进行站间天线校准,产品实现难度较大,且站间需要通过 X2 接口传递用户数据信息,传输资源开销较大,因此方案正在研究阶段,预计 2014 年支持该功能并进行相关验证。

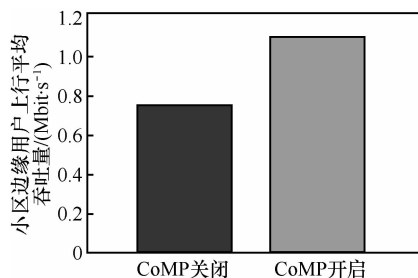


图6 上行 2 天线 CoMP 外场测试结果

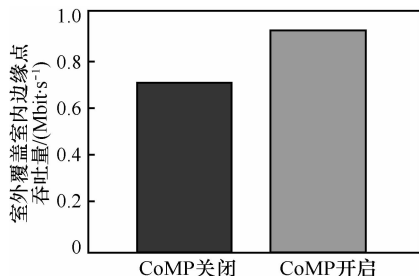


图7 上行 8 天线 CoMP 外场测试结果

3.4 中继技术

3.4.1 需求及技术原理

在 2G/3G 中,直放站是室内深度覆盖的一种补充手段,可用于无传输资源的室内深度覆盖补充。但 2G/3G 中的直放站直接将信号和噪声同时放大进行层一转发,从而带来网络干扰的抬升。在这种背景下,在 LTE 系统中,提出了中继技术,解决信号放大过程中增加网络干扰的问题。

中继就是在宏基站和移动台之间增加具有无线回传功能的中间节点(中继站),对宏基站的下行发射信号或者终端的上行发射信号进行解调和译码以及资源调度等基带处理,再重新编码、调制、再生放大后转发给终端或者宏基站,因此可以有效抑制网络干扰的抬升,提高信号传输的质量和可靠性,克服无线直放站的干扰问题。

3GPP 确定 R10 版本中继技术包含带内中继(inband relay)和带外中继(outband relay)两种类型。

(1) 带内中继

带内中继指接入链路(中继站与终端之间)与回传链路(中继站与基站之间)采用相同频率进行传输的中继形式,如图 8 所示,中继站采用相同的频率与基站、终端进行数据交互。当采用硬件实现技术将中继站的收发天线隔离度做得足够大时,中继站可以在相同的频带上同时进行收发;当中继站的收发天线隔离度不够时,中继站在两段链路采用相同的频带进行收发需要在时间上进行隔离,即中继站需要在不同的时间段分别与覆盖下的终端和所附着的宏基站进行通信。

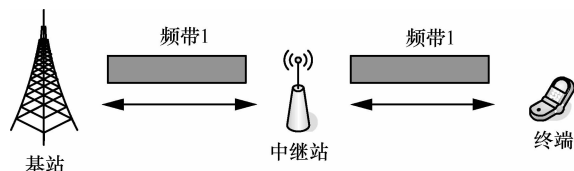


图8 带内中继示意

需要特别指出的是,在 LTE 系统中,虽然带内中继的回传链路与接入链路可以共享一条射频通道,但由于 LTE 上下行采用不同的传输体制,如下行 OFDMA、上行 SC-FDMA,因此中继站需要分别为回传链路与接入链路设计不同的基带处理模块。

(2) 带外中继

带外中继指接入链路与回传链路采用不同频率的中继形式,如图 9 所示,由于频带隔离的原因,中继站可以在同一时间进行全双工收发。因此,带外中继一般较带内中继具有更高的链路容量,回传链路设计可不考虑对接入链路的影响,且系统设计和实现简单。

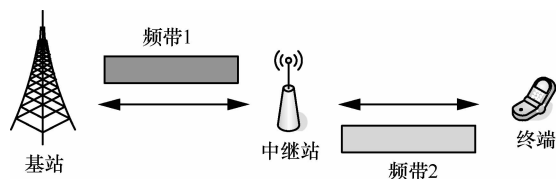


图9 带外中继示意

3.4.2 产业现状

中继技术可以提供无线回传,实现快速、灵活的部署,应用于补盲或者补热场景,目前个别系统厂商已开发出面向商用的中继产品并进行了相关验证,测试结果表明中继可以明显改善室外宏基站弱覆盖区域的信号质量和上下行吞吐量,并且在特定外场条件下可以提升宏基站的覆盖距离 50%(约 600 m),起到了明显的覆盖拉远增强作用。其他系统厂商预计在 2014 年可以推出中继产品以满足不同部署需求。

3.5 网络自组织增强方案

3.5.1 需求及技术原理

随着通信技术的快速发展,移动通信网络变得越来越复杂和庞大。对于运营商来说,在使用新技术的同时,如何降低基础设施建设费用(CAPEX)以及网络运营费用(OPEX),是一个巨大的挑战。在这一背景下,NGMN(Next Generation Mobile Network)组织和 3GPP 提出了自配置自优化网络的需求,目标是通过实现网络自配置、自维护和自优化,降低操作维护开销、减少人为操作、提高网络性能。

自配置自优化网络是指网络自身能够探测环境信息并由此做出自主决策,拥有自配置和自优化功能的通信网络技术。网络技术能够有效地检测并解决网络异常情况,自动适应网络变化,是解决未来网络规划优化工作、提高网络服务质量、大幅降低网络建设和维护成本的有效途径。目前无线侧自配置自优化功能主要包含基站自配置与网络自优化两部分,其中基站自配置包括:基站自启动、物理层小区标识(PCI)自配置以及邻小区自配置(ANR);网络自优化包括:随机接入参数优化、LTE网络内部及跨RAT移动顽健性优化、LTE网络内部及跨RAT移动负载均衡优化、网络节能优化以及最小化路测。

此外,在以上研究的基础上,3GPP进一步提出了基于终端分类(如终端速度等方面)的移动顽健性、移动负载均衡优化功能以及小小区(small cell)等场景中的自组织增强功能研究。

持续不断地降低网络运营成本和维持复杂度是运营商的长期目标。通过引进自配置、自优化等机制,可以提高网络性能和质量,同时节省建设和运营成本,提高网络利润率。因此,网络自配置自优化技术的发展包含技术与市场两方面的驱动力。

3.5.2 产业现状

由于不同SON功能在3GPP不同版本中定义,因此厂商支持时间有差别。该功能可以显著提升网络优化、网管维护的效率,目前主设备厂商已经具备支持SON功能中的PCI、ANR及MDT能力,终端预计2014年获得支持。

3.6 增强型小区间干扰协调技术

3.6.1 需求及技术原理

宏基站网络中引入同频微基站小功率传输节点后形成异构网络,宏微基站间的干扰不仅存在于数据域,而且存在于控制域,如果控制域的干扰无法合理控制,部分受干扰严重的终端将难以有效接收控制信息,从而降低网络性能。

R10标准化引入的增强型小区间干扰协调技术就是采用时域干扰协调方案解决宏基站、微基站和微微基站等多种基站进行混合组网时小区间的控制信道和数据信道的干扰问题,但eICIC功能无法规避同步信道、CRS等信道的干扰。因此,R11标准化引入FeICIC,基站将邻区信息发送至终端,终端进行干扰抑制处理,从而进一步减少异构网络中宏微基站之间的干扰。

3.6.2 产业现状

目前由于宏微基站主要采用异频组网,因此宏微基站之间的干扰并不强烈,预计部分系统厂商将在2014年支持该功能并可进行相关测试。

4 结束语

本文从现网发展需求出发,介绍了LTE的演进技术——LTE-A,介绍了载波聚合、多天线技术演进、协作多点传输、中继、增强型小区间干扰协调、网络自组织增强方案等未来LTE-A增强型关键技术的基本原理与产业现状。新技术的引入,对于解决未来多频段、多站型、多系统等复杂环境下的混合组网面临的资源需求、覆盖及容量问题、性能与速率提升、高干扰控制等提供了坚实的保障。但功能引入需要综合考量技术发展与产业现状等多方面因素,分步骤、分阶段地适时引入LTE-A新功能。

参考文献

- 1 金婧. LTE-Advanced系统中多天线协作研究.北京邮电大学博士学位论文,2011

[作者简介]



毛剑慧,男,博士,中国移动通信有限公司研究院高级工程师,主要从事TD-LTE关键技术研究及测试工作,参与中国移动TD-LTE新技术设备规范、测试规范的讨论及制定工作。



邓伟,男,中国移动通信有限公司研究院资深项目经理,主要从事TD-LTE关键技术研究及测试工作,主导完成中国移动TD-LTE设备规范、测试规范的撰写及修订工作。



杨光,男,博士,中国移动通信有限公司研究院无线技术研究所副所长、高级工程师,主要负责中国移动TD-LTE技术发展规划,曾指导中国移动TD-LTE设备及测试规范的制定工作。

(收稿日期:2014-03-03)