



专题:4G&5G

LTE 有源天线垂直扇区化性能分析^{*}

杨峰义, 张建敏, 谢伟良, 朱雪田

(中国电信股份有限公司技术创新中心 北京 100031)

摘 要: 基于 LTE 有源天线外场测试结果, 分析对比了在传统 3×1 网络拓扑以及垂直扇区化 3×2 网络拓扑两种场景下的单用户下行速率体验。结果表明, 在给定的网络部署场景下内外小区间的同频干扰将会大大降低垂直扇区化功能对网络性能的增益。针对 LTE 有源天线垂直扇区化未来部署应用提出了 3 点建议, 为业界后续 LTE 有源天线研究发展提供参考。

关键词: LTE; 有源天线系统; 外场测试

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.003

Performance Analysis of Vertical Sectorization in LTE Network Using AAS

Yang Fengyi, Zhang Jianmin, Xie Weiliang, Zhu Xuetian

(Technology Innovation Center of China Telecom Co., Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract: An evaluation of vertical sectorization in LTE field trial was conducted. The field trial results show that the performance of vertical sectorization will be decreased due to the co-frequency interference between the inner and outer cells. Furthermore, some practical suggestions on the deployment of vertical sectorization in LTE network were proposed.

Key words: LTE, active antenna system, field test

1 引言

随着 LTE 以及未来无线新技术的逐步引入, 有源天线 (AAS) 以其较小的尺寸, 高效灵活的波束控制能力, 多波束、多制式、多频段支持能力等优势成为移动通信领域的关注焦点, 并成为后续移动网络部署的可选方案之一^[1-4]。

有源天线高效灵活的波束控制能力主要体现在它通过独立控制每个收发单元的相位、幅度、时延等, 可以实现波束在垂直面方向的调整, 并可以采用一套天线辐射单元同时生成多个下倾角的波束, 从而实现小区的垂直扇区化分裂。如图 1 所示, 传统小区通过垂直化扇区分裂, 可以分

裂为相邻的内小区和外小区。由于内外小区具有不同的小区 ID, 此时可以实现内外小区间时频资源的复用, 从而提升整个 LTE 网络的系统容量。

目前, 针对 LTE 有源天线垂直扇区化, 学术界和工业界已经进行了大量的仿真研究^[5-8]。参考文献[5]基于垂直扇区化的概念提出了一种动态的小区覆盖扩展方法, 根据网络负载变化情况, 动态关闭部分小区 (所产生的覆盖空洞由相邻小区覆盖扩展进行补偿), 从而达到降低网络系统能耗的目的。参考文献[6]针对 LTE 有源天线多系统的共存场景, 分析评估了邻信道干扰比和带内阻塞等关键参数。除此之外, 参考文献[7, 8]仿真对比了在不同的下倾角

^{*} “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项“LTE 有源天线组网技术与验证”基金资助项目 (No. 2013ZX03001018)

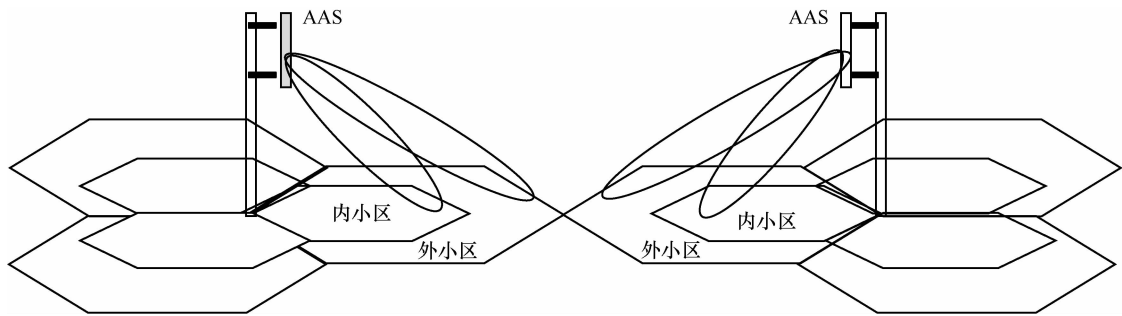


图 1 LTE 有源天线垂直扇区化示意(3×2 拓扑)

以及垂直半功率波束宽度等参数下垂直扇区化性能。仿真结果表明,垂直扇区化由于实现了内外小区间的时频资源复用,可以有效地提高网络系统容量。为了 LTE 有源天线垂直扇区化未来的部署应用,其性能还需要在外场环境中进一步验证评估,通过外场测试验证也将进一步分析垂直扇区化功能的具体部署场景,这成为本文主要关注的内容。

有源天线垂直扇区化通过波束分裂实现了传统小区分裂为相邻的内外小区,但是内外波束的重叠是无法避免的,这样势必会导致内外小区间存在同频干扰。内外波束的垂直面方向图对内外小区间同频干扰的大小,尤其是内外波束重叠覆盖区域干扰大小产生很大影响,也因此成为本文另一个主要关注的内容。

鉴于以上考虑,本文首先基于 LTE 有源天线外场测试结果,分析对比了在传统 3×1 网络拓扑以及垂直扇区化 3×2 网络拓扑两种配置下单用户的下行速率体验。其次,针对 LTE 有源天线外场测试中的现象和问题,对其未来部署应用提出了 3 点建议。

2 外场测试环境

为了对比用户在垂直扇区化小区和传统小区两种配置下的下行速率体验,选择在外场环境进行道路测试(drive test, DT)。为后续表达简单,传统的 3×1 网络以及垂直扇区化 3×2 网络分别用(Ref:3×1)和(VS:3×2)表示,且以传统小区(Ref:3×1)作为性能比较的基准。考虑到传统小区与垂直扇区化小区在网络参数配置(如下倾角等)方面有所差异,为公平起见,本文分别针对传统小区(Ref:3×1)和垂直扇区化小区(VS:3×2)进行优化调整,其最优外场测试配置参数见表 1。

可以看出,由于垂直扇区化将传统的单波束垂直分裂为两个相邻波束分别进行内小区和外小区覆盖,所以分裂

表 1 外场测试参数配置

参数	取值
网络拓扑	Ref:3×1 VS:3×2
终端最大发送功率	23 dBm
系统带宽	10 MHz
物理资源块数目	50 RB
频率复用系数	1
下行频段	2 650~2 660 MHz
上行频段	2 530~2 540 MHz
基站天线高度	30 m
基站发射功率	49 dBm/小区 46 dBm/小区
水平半功率波束宽度	$\phi_{3dB}=65^\circ$
垂直半功率波束宽度	$\theta_{3dB}=7^\circ$
最优下倾角	4° 12°&4°

后每个小区的发送功率为传统小区基站发送功率(49 dBm)的一半,即:

$$P_{inner}=P_{outer}=46\text{ dBm} \tag{1}$$

其中, P_{inner} 和 P_{outer} 分别表示垂直扇区化配置下的内小区和外小区的发送功率。

在参考文献[7,8]的仿真工作中,天线水平面和垂直面的方向图采用简化的模型^[9,10],具体如下:

$$A_H(\phi)=-\min\left[12\left(\frac{\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2,A_m\right], A_m=25\text{ dB} \tag{2}$$

$$A_V(\theta)=-\min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2,SLA_v\right], SLA_v=20\text{ dB} \tag{3}$$

其中, $A_H(\phi)$ 和 $A_V(\theta)$ 分别表示天线在水平方向 ϕ 和垂直方向 θ 上的相对增益, A_m 和 SLA_v 分别代表天线的前后比和旁瓣抑制比。此时,天线三维方向图 $A(\phi,\theta)$ 可以通过式(4)获得:

$$A(\phi,\theta)=-\min\{-[A_H(\phi)+A_V(\theta)],A_m\} \tag{4}$$

不同于上述天线仿真模型,LTE 有源天线外场测试实际的 antenna 方向图如图 2、图 3 所示。可以看出,内外小区波

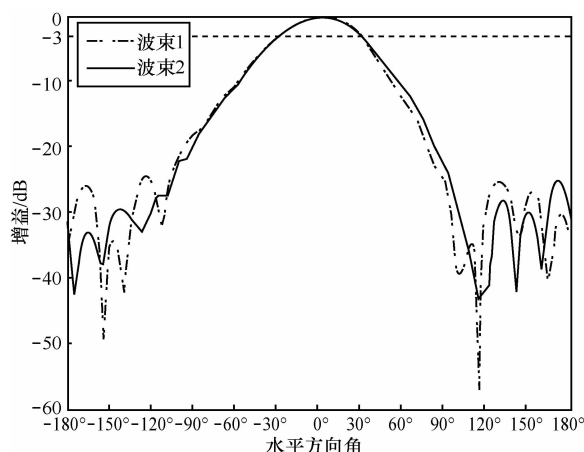


图2 同频双波束水平面方向图
(波束1下倾角为4°,波束2下倾角为12°)

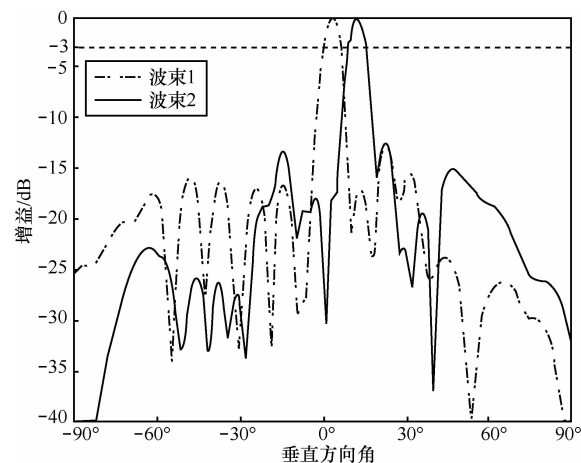


图3 同频双波束垂直面方向图
(波束1下倾角为4°,波束2下倾角为12°)

束水平面方向图基本相同。值得注意的是,内外小区波束垂直面方向图具有较多的旁瓣,这样势必会带来内外小区间的同频干扰,尤其是影响重叠区域的网络性能。后续将针对内外小区间干扰对网络性能的影响进行详细分析。

3 外场测试结果

为了评估验证LTE有源天线垂直扇区化外场性能,本节通过外场道路测试详细对比了在传统小区(Ref:3×1)和垂直扇区化小区(VS:3×2)两种配置下单用户的下行速率体验。首先通过电子下倾角遍历给出了垂直扇区化小区(VS:3×2)下内外小区的最优下倾角配置。同时,为了评估内外小区之间干扰对用户下行速率体验的影响,对应垂直扇区化内小区(VS:3×2 inner)和外小区(VS:3×2 outer)的覆盖范围,将传统小区(Ref:3×1)同样分为内部和外部区域,分别表示为(Ref:3×1 inner)和(Ref:3×1 outer)。

电子下倾角从0°~18°遍历时,内小区和外小区的平均参考信号接收强度(RSRP)的变化情况如图4所示。可以看出,垂直扇区化内小区和外小区的最优下倾角分别为12°和4°。值得注意的是,当下倾角大于4°时,外小区平均参考信号接收强度开始逐渐变小,覆盖变差;然而,当下倾角大于12°时,外小区平均参考信号接收强度突然变大,主要是当有源天线倾角增大到一定程度时,天线垂直方向旁瓣抑制变差,导致栅瓣变大,从而使得外小区参考信号接收强度增加,如图5所示。

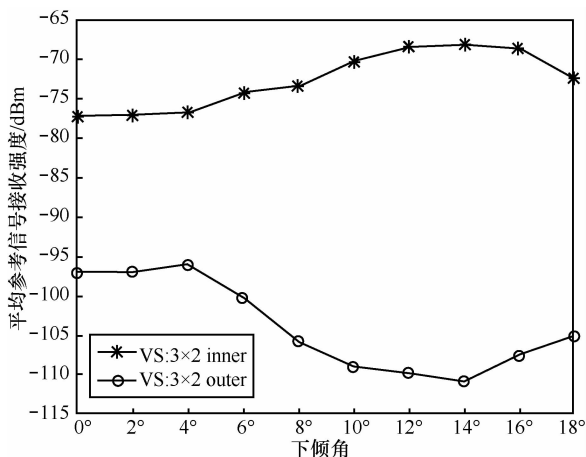


图4 不同下倾角RSRP对比

图6和图7给出了在传统网络小区(Ref:3×1)和垂直扇区化小区(VS:3×2)两种配置下,用户下行MAC层速率的累计概率分布以及平均下行速率对比情况。测试结果表明,在实际外场测试环境下,单用户在垂直扇区化的配置下,下行速率体验差于传统小区。从图7可以看出,与传统小区下单用户的平均下行速率相比,垂直扇区化时单用户的平均下行速率降低约31%。同时,用户在内小区和外小区平均下行MAC层速率分别降低约73%和13%。更为严重的是,用户在内小区的下行速率严重低于在外小区的下行速率。

针对单用户在垂直扇区化情况下平均下行速率低于传统小区的问题,尤其是用户在垂直扇区化内小区具有较低的下行速率的现象,图8和图9给出了对应信干噪比(signal to interference and noise ratio, SINR)的累计概率分布和平均值对比。可以看出,单用户下行速率下降主要是由于内外小区之间的同频干扰带来内外小区SINR的降低,尤其是外小区对内小区的干扰导致内小区用户的SINR严重降低。同时,相比于外小区对内小区的干扰,内小区对外小区带来的干扰相对较小。也就是说,在垂直扇区化内小区(VS:3×2 inner)的SINR分布相对于外小区的

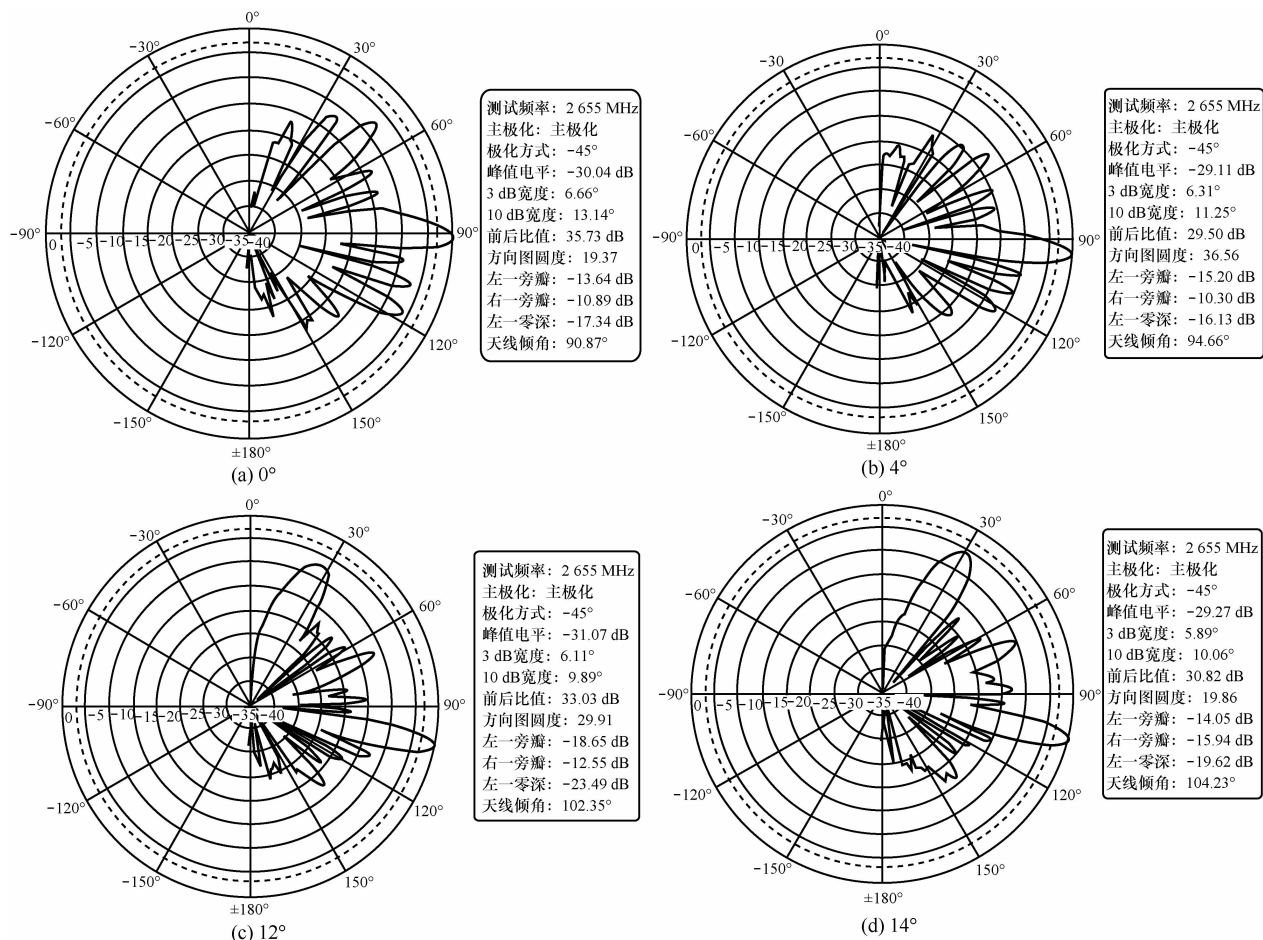


图 5 不同下倾角时有源天线垂直面方向图

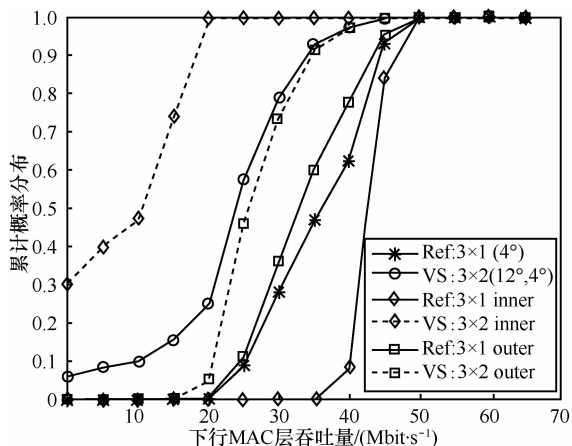


图 6 单用户下行 MAC 层速率累计概率分布 (CDF) 对比

SINR 分布较差。与之不同的是,在传统的小区 (Ref:3×1) 中由于内小区与基站天线距离更近,此时内小区的 SINR 分布优于外小区的 SINR 分布。除此之外,由于垂直扇区化将单波束分裂为内外两个相邻波束,对应的内外小区的功率降低也是垂直扇区化性能降低的另一个原因。

上述分析表明,内外小区间的同频干扰是造成垂直扇

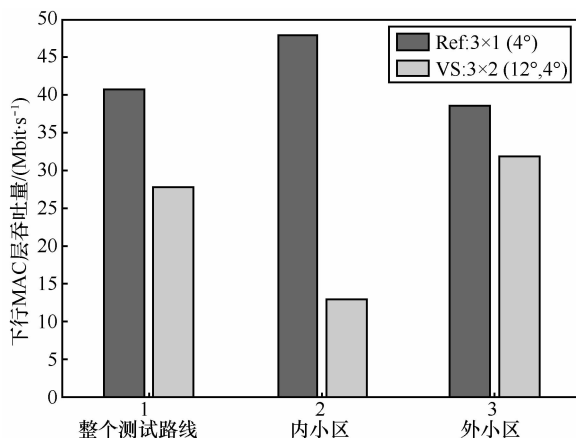


图 7 单用户下行平均 MAC 层速率对比

区化情况下用户下行速率体验变差的主要原因。对于传统天线设计,一般都对天线的上旁瓣进行有效抑制,而对于有源天线的垂直扇区化技术则需要同时进行天线的下旁瓣抑制,这样可以降低外波束与内波束之间的信号干扰,在未来有源天线垂直扇区化的部署中必须予以考虑。

总之,相比于传统小区 (Ref:3×1),即使垂直扇区化可

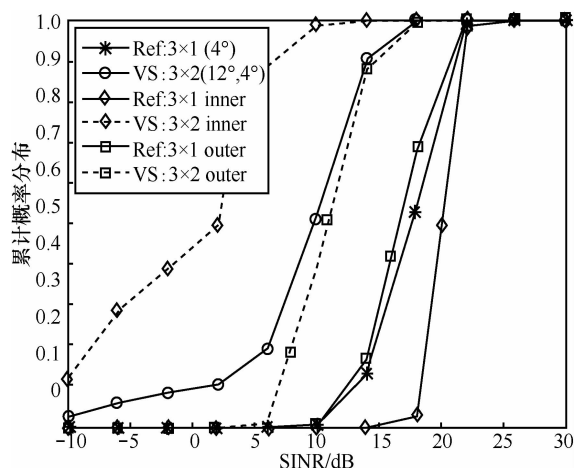


图8 单用户下行信干噪比累计概率分布对比

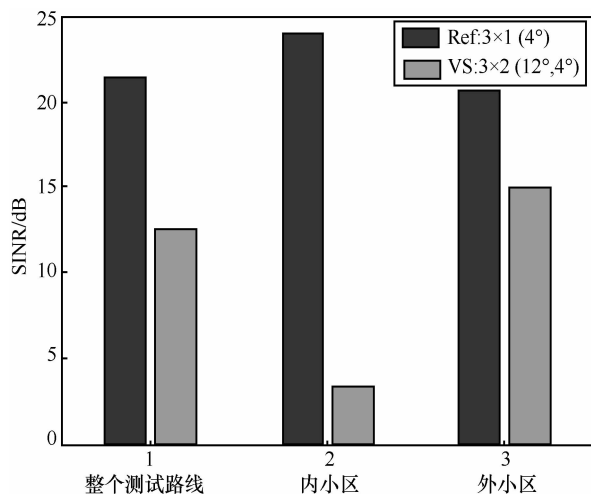


图9 单用户下行平均 SINR 对比

以实现内外小区间时频资源复用,提高整个系统容量,但是外场测试证明了需要采用合理有效的干扰消除或者旁瓣抑制技术,否则LTE有源天线垂直扇区化将对用户的下行速率体验产生较大影响,甚至会由于内外小区间的同频干扰极大地降低用户体验。

4 LTE有源天线垂直扇区化部署的挑战和建议

经上述讨论分析,在垂直扇区化小区(VS:3x2)配置下,需要重点考虑内外小区波束垂直方向上的相互干扰,特别是内波束与外波束上下旁瓣所带来的系统性能恶化。除了考虑内外波束之间的干扰外,垂直扇区化小区分裂带来的内外小区发射功率降低也是有源天线垂直扇区化情况下单用户下行速率体验降低的另一个原因。基于上述外场测试结果及分析,针对有源天线垂直扇区化技术在未来

网络中的部署应用,本文提出了以下3点建议。

(1) 应用场景要求

有源天线垂直扇区化技术主要是利用有源天线产生的内外波束空间隔离来提升频谱利用率,因此内外波束所覆盖区域需要能够在垂直维度明显区分开,以保证垂直扇区化技术的使用条件。同时,考虑到城区环境中无线信号传播的不确定性,网络在开启垂直扇区化功能前,需要对有源天线基站覆盖范围内的主要用户分布区域进行内波束与外波束的信号对比勘测,避免用户密集区域存在较强的内小区与外小区的强干扰场景。

(2) 天线垂直面方向图要求

在传统网络中,为了能够最大程度地提高网络覆盖和容量,通常要求天线在垂直方向进行上旁瓣抑制以及下旁瓣零点填充。然而上述要求已经不适合垂直扇区化内外小区天线方向图,这样会导致内外小区重叠覆盖区域变大,从而同频干扰急剧增加。因此,在有源天线垂直扇区化的部署中,需要分别针对内外小区波束垂直面方向图提出新的要求,即抑制内小区波束的上旁瓣,减少对外小区干扰,尤其是抑制外小区波束的下旁瓣,从而避免对内小区的干扰。

(3) 干扰消除机制

如前所述,通过LTE有源天线垂直扇区化可以实现内外小区间的时频资源复用,从而提升整个网络系统容量,但是内外小区间同频干扰的存在却降低了单用户下行速率体验。因此,在有源天线垂直扇区化的未来部署应用中,需要针对内外小区间干扰引入更加先进的干扰消除技术,例如小区间干扰消除(inter-cell interference coordination, ICIC)技术。

5 结束语

本文初步验证评估了LTE有源天线垂直扇区化在实际外场的性能表现,对比了垂直扇区化小区(VS:3x2)和传统小区(Ref:3x1)两种配置下单用户的下行速率体验。首先,测试分析结果表明,在给定的网络部署场景下内外小区间的同频干扰将会大大降低垂直扇区化功能对网络性能的增益。其次,基于测试中出现的现象及问题,本文针对LTE有源天线的下一步实际部署应用提出了3点建议。

鉴于内外小区间同频干扰成为LTE有源天线垂直扇区化部署的首要挑战,后续如何优化天线设计,同时利用先进的干扰抑制或者消除技术解决上述问题,是下一步工作的重点。

参考文献

- 1 Linehan K, Chandrasekaran R. Active antenna: the next step in radio and antenna evolution. http://docs.commscope.com/Public/active_antenna_system_white_paper.pdf, 2011
- 2 Saur S, Halbauer H. Exploring the vertical dimension of dynamic beam steering. Proceedings of 8th International Workshop on Multi-Carrier Systems Solutions, Herrsching, Germany, 2011
- 3 Caretti M, Crozzoli M, Dell'Area G M, *et al.* Cell splitting based on active antennas: performance assessment for LTE system. Proceedings of IEEE 13th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), Hilton Cocoa Beach, FL, USA, 2012
- 4 杨涛, 谢伟良, 朱雪田. 有源天线在移动通信系统中的应用研究. 中国通信学会信息通信网络技术委员会 2011 年会, 郑州, 中国, 2011
- 5 Guo W, O'Farrel T. Dynamic cell expansion: traffic aware low energy cellular network. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Quebec City, Canada, 2012
- 6 Kang P, Cui Q, Chen S, *et al.* Performance evaluation on coexistence of LTE with active antenna array systems. Proceedings of IEEE 23rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC), Sydney, Australia, 2012:1066~1070
- 7 Yilmaz O, Hamalainen S, Hamalainen J. System level analysis of vertical sectorization for 3GPP LTE. Proceedings of IEEE International Symposium on Wireless Communication System (ISWCS), Washington DC, USA, 2009
- 8 Fu Y, Wang J, Zhao Z, *et al.* Analysis of vertical sectorization for HSPA on a system level: capacity and coverage. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Quebec City, Canada, 2012
- 9 3GPP TS 36.141 V10.0.0. E-UTRA BS Conformance Testing, 2010

10 3GPP TR 36.814 V9.0.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Future Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, 2010

[作者简介]



杨峰义,男,中国电信股份有限公司技术创新中心副主任、教授级高级工程师,“新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项总体专家组专家,国家高技术研究发展计划(“863”计划)5G 专家组专家,中国通信标准化协会无线技术委员会副主席,中国通信学会无线及移动通信委员会委员,长期工作在移动通信领域,数次获得国家级和省部级科技进步奖,发表学术论文数十篇,学术专著 6 部,译著 1 部。



张建敏,男,博士,中国电信股份有限公司技术创新中心工程师,主要研究方向为移动通信技术。



谢伟良,男,博士,中国电信股份有限公司技术创新中心高级工程师,主要研究方向为移动通信标准及测试。

朱雪田,男,博士,中国电信股份有限公司技术创新中心高级工程师,主要研究方向为移动通信技术。

(收稿日期:2014-02-26)

• 简讯 •

2014 年 1 月份通信业经济运行情况

1 月份,我国通信业总体运行平稳。

电信业务总量和业务收入增速回升。1 月份,全国电信业务总量完成 1 411.3 亿元,同比增长 17.0%,比上年同期增速高 3.6 个百分点;电信主营业务收入完成 947.1 亿元,同比增长 9.2%,比上年同期增速高 2.4 个百分点。

移动电话用户在 3G 带动下保持增长。1 月份,移动

电话用户数量净增 615.7 万户,达到 12.35 亿户。其中,3G 移动电话用户数量净增 1 762.7 万户,创月度净增量历史新高,3G 用户总数达到 4.19 亿户,占移动电话用户的比重较上年末提升 2.3 个百分点,达到 33.9%。其中,TD 用户数量净增 1 422.6 万户,用户总数达到 2.05 亿户,占 3G 用户总数的比重达 49.0%,较上年末提高 1.4 个百分点。

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)