



TD-LTE 室内覆盖增强的灵活手段:中继^{*}

刘建军¹, 沈晓冬¹, 胡臻平¹, 钱雨², 郭志恒²

(1. 中国移动通信有限公司研究院 北京 100053; 2. 爱立信(中国)通信有限公司 北京 100102)

摘要: TD-LTE 主要部署在高频段, 传播损耗和穿透损耗较大, 给未来网络室内深度覆盖带来严峻的挑战。在明确 TD-LTE 室外覆盖室内部署需求的基础上, 结合现网测试验证, 对中继(relay)增强室内覆盖的性能进行了深入分析。结果表明, 针对一些暂时不具备有线回传条件的楼宇, 引入中继并以室外覆盖室内方式进行部署, 可提供快速、灵活、低成本的深度覆盖解决方案。

关键词: TD-LTE; 室内覆盖; 深度覆盖; 中继

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.05.010

A Flexible Solution for TD-LTE Indoor Coverage Enhancement: Relay

Liu Jianjun¹, Shen Xiaodong¹, Hu Zhenping¹, Qian Yu², Guo Zhiheng²

(1. China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China;

2. Ericsson(China)Communications Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: TD-LTE will be deployed on high frequency band, facing with the issue of larger propagation loss and penetration loss, which brings a big challenge to future indoor deep coverage. Based on clarifying the requirement of TD-LTE outdoor to indoor deployment, and also combined with the field trial in the real network, the performance of indoor coverage enhancement using relay was analyzed. Test results show that deploying relay outside buildings and enhancing the deep coverage from outdoor to indoor is a fast, flexible and low cost solution for the buildings without the wired backhaul.

Key words: TD-LTE, indoor coverage, deep coverage, relay

1 引言

第4代移动通信技术(4G)的逐步引入以及智能终端的迅速普及,为移动互联网的发展注入了新的活力,同时也给移动通信网络带来全新的挑战。据业内数据统计,近几年全球主要运营商数据业务均出现了爆炸性增长,全球移动数据流量在过去两年增长了近280%。目前移动话音业务的60%、数据业务的70%发生在室内,根据预测^[1],未来室内业务和热点业务将占总业务量的90%,为满足爆炸

性的数据增长需求,尤其是未来室内产生的大量数据业务需求,运营商迫切需要优化方案。中国移动通信有限公司(以下简称中国移动)数据业务量增长趋势如图1所示。

另一方面,未来TD-LTE主要部署在高频段(如D频段2570~2620 MHz,或F频段1880~1920 MHz),传播损耗和穿透损耗较大,实现室内深度覆盖面临巨大挑战,具体如下:

- 2.6 GHz频段的传播损耗较DCS 1800 MHz频段和GSM 900 MHz频段的传播损耗分别高5 dB和15 dB左右,基于现有GSM站址进行2.6 GHz频段

* “新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项基金资助项目(No.2010ZX03003-003-02, No.2012ZX03001030-002)

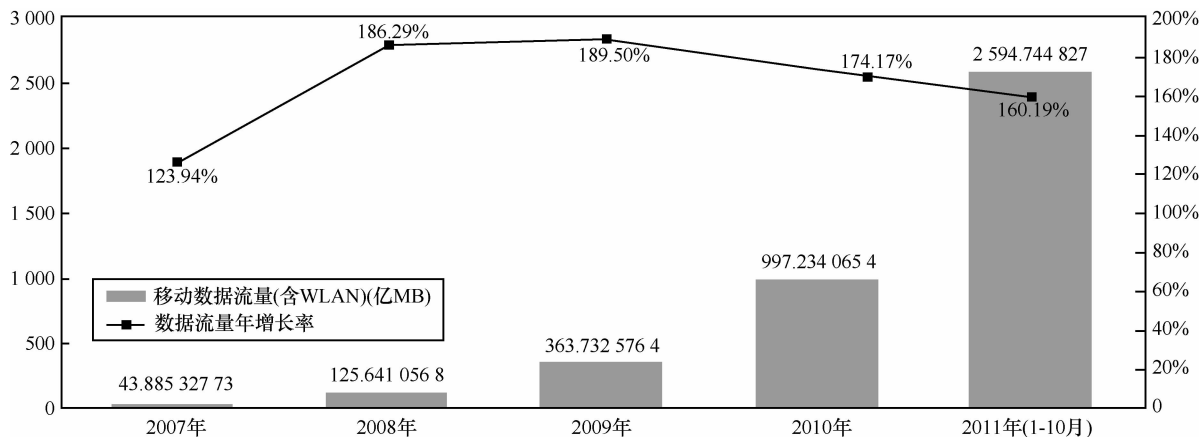


图1 中国移动数据业务量增长趋势

规划,TD-LTE 深度覆盖挑战很大;

- 2.6 GHz 频段传播损耗较 F 频段传播损耗高 4~5 dB, 因此完全基于已有的 TD-SCDMA 站点建设 TD-LTE, 深度覆盖也存在较高的难度。

针对上述问题,目前业界提出了多种增强室内覆盖的解决方案,但这些方案仍旧可能面临如下问题。

- 通过室外新增宏基站增强室内覆盖: 针对覆盖盲区, 新增宏基站站址的难度越来越高, 面临宏基站站址匮乏、站址/机房租金昂贵等挑战; 新建传输的困难也越来越大, 成本越来越高; 与此同时, 天面资源日益紧张, 居民对辐射的过度担忧使得新增宏基站天面的难度极高。
- 基于有线回传的室内覆盖解决方案: 如基于光纤回传的一体化微站(micro)/微微站(pico), 基于 IP 分组网回传的 Nanocell 或室内分布式天线系统(distributed antenna system, DAS) 等。但由于存在“最后一公里”光纤的接入问题, 在现网升级改造的过程中, 仍存在一些短期内不方便实施有线回传覆盖解决方案的室内场景, 如老居民小区等。

TD-LTE 网络中具有无线回传功能的中继(relay)节点, 具备快速、灵活部署和低成本等特点, 引入现网后, 能够有效解决移动互联网面临的上述问题, 满足未来 TD-LTE 网络室内深度覆盖的需求。

2 TD-LTE 中继室内覆盖增强

2.1 TD-LTE 中继技术引入

为应对各种复杂的无线传播环境, 解决实际网络部署的覆盖问题, 3GPP (3rd generation partnership project) 在 LTE-Advanced R10 版本协议中对中继技术进

行了标准化^[2]。通过在宏基站和用户终端之间加入一个中继节点, 宏基站和终端之间的直传链路被分为两段: 宏基站与中继节点之间的无线链路称为回传链路(Un 接口, 回传链路上中继节点对应的功能模块简称回传模块); 中继与终端之间的无线链路称为接入链路(Uu 接口, 接入链路上中继节点对应的功能模块简称接入模块), 中继系统如图 2 所示。通过对中继节点进行合理的部署, 拆分后的两段链路都具有比直传链路更短的传播距离, 同时传播路线中的遮挡物也得以减少, 使得拆分后的两段链路都具有比直传链路更好的无线传播条件和更高的传输能力。

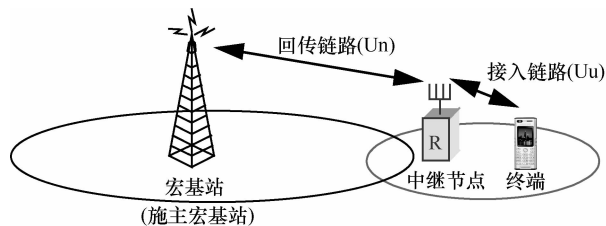


图2 中继系统示意

中继的部署形式有些类似于现网中的无线直放站(repeater), 都是通过引入一个中间节点, 将宏基站和终端之间的直传链路分成两段, 可解决城区覆盖盲点或小区边缘接入速率不高的问题, 但两者的主要差别是: 无线直放站分为模拟直放站和数字直放站, 主要功能是对射频信号进行放大转发, 其中数字直放站还具备模拟/数字或数字/模拟(AD/DA)采样、数字变频和滤波等功能, 但不支持基带的调制/解调和编译码处理, 因此无线直放站的引入会抬升网络的底噪; 而中继需要对接收的射频信号进行解调和译码以及资源调度等处理, 然后重新编码, 调制转发, 因此可以有效抑制网络底噪的抬升。

中继分为带内中继(inband relay,即回传链路和接入链路在相同的频点上传输,时域资源时分复用)和带外中继(outband relay,即回传链路和接入链路在不同的频带内或同一频带内的不同频点上传输,即移频方式)。由于中继回传链路和接入链路占用不同的时隙或频点资源,因此对收发天线的隔离度要求较低。

中继的典型特点是能够提供无线回传,现阶段中继主要还是用于解决覆盖增强问题,而非容量提升问题。在一些光纤无法到达或者有线回传建设比较困难的场景(如无线回传的城区微覆盖场景、无室内分布部署的室内办公环境、光纤无法到户的居民楼、偏远郊区或农村等),通过引入具有无线回传功能的中继可有效扩展覆盖范围,改善宏小区弱覆盖,消除高大建筑群所产生的阴影覆盖区域甚至盲区,部署灵活方便,可作为补充宏基站覆盖的有效手段之一。

2.2 TD-LTE 中继室外覆盖室内解决方案

与室外覆盖补盲场景相比,建筑物室内格局复杂、变化多样,楼宇主体结构可能由不同的建筑材料(如混凝土、钢筋构架、轻体砖墙、玻璃隔断等)构成,室外站从室外覆盖室内(俗称“室外打室内”)面临的典型问题是需要克服建筑物墙体的穿透损耗以及建筑物内部的墙体反射、衍射、散射和多径效应等。例如,室外无线信号到达建筑物穿透外墙后一般衰减近 20 dB,而穿透到室内的信号可能需要再穿透若干堵内墙(材质为轻体砖墙或钢化玻璃等,一堵内墙穿透损耗约 10 dB 后才能最终到达用户终端。在这些特殊场景,要求室外基站距离建筑物足够近,才能保证衰减后的信号强度仍能满足正常通信需求。

针对 TD-LTE 室内深度覆盖面临的严峻挑战,室外新增宏基站站址的难度越来越高,而采用体积较小的低功率节点配合宏基站进行覆盖补充就成为未来分层网络发展的必然趋势。由于中继的部署无需光纤或有线回传,在能够解决供电(如将中继部署在市政路灯杆上,直接从灯杆取电;或就近从物业取电等)的前提下,中继能够实现快速、灵活、低成本的部署,相比部署宏基站,无需新建站址和机房,相比部署微站或微微站,无需新建传输链路和施工布线。因此在一些不具备有线回传条件的室内场景中,采用中继作为 TD-LTE 室外覆盖室内的手段,便于短时间内迅速实施,且具有体积小、重量轻、无需机房、部署灵活简单等特点。

3 现网测试验证及性能分析

3.1 现网测试环境

为了验证中继在 TD-LTE 网络中增强室内深度覆盖的实际效果,中国移动联合主设备厂商爱立信在真实外场环境中对带内中继室外覆盖室内的性能进行了测试研究^[3]。在图 3 所示的测试环境中,施主宏基站(donor eNode B)8 天线部署于 9 层写字楼的顶端,距离测试楼宇约 500 m,测试楼宇为一座 8 层玻璃幕墙写字楼,与施主宏基站之间有一幢 6 层楼高的公寓楼遮挡,造成施主宏基站和测试楼宇较低楼层之间为非直视径(non-line-of-sight, NLoS)传输。由于存在约 500 m 的传播距离、NLoS 传输以及周围邻站的干扰,在进行楼宇外围路测时显示出较明显的弱覆盖特征。

中继样机系统测试参数配置见表 1。将带内中继天线部署在测试楼宇前一条道路旁的立杆之上,与目标测试楼宇的直线距离约 30 m。中继天线架高约 6 m,采用 2 套双

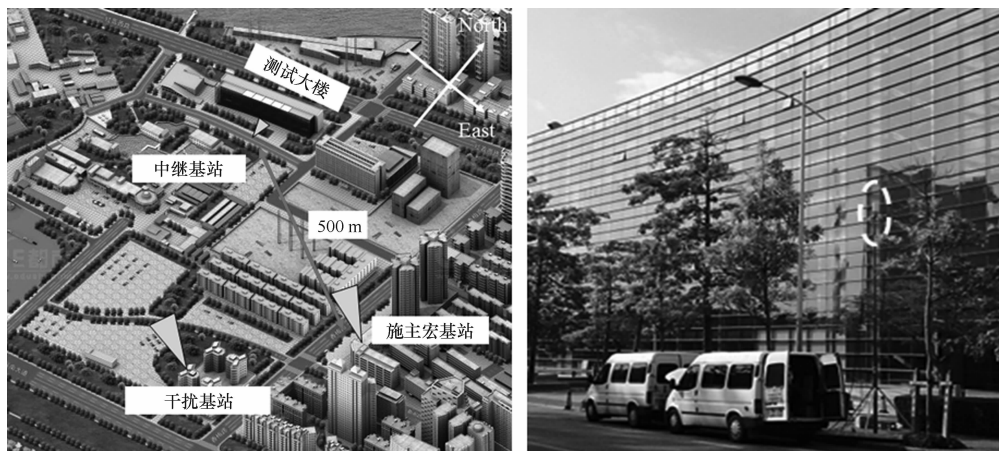


图 3 现网测试环境及中继节点部署



表 1 中继外场测试参数配置

系统参数	参数配置	
	施主宏基站	中继
发射功率	40 W	5 W
站高	30 m	6 m
下倾角	10°物理倾角, 4°电调倾角	N/A
天线类型	8 天线端口, 海天, 90°半功率带宽 (HPBW)	2 天线端口, Kathrein 80010677, 90°HPBW, 交叉极化
其他配置		
载波频率	2.6 GHz	
带宽	20 MHz	
上下行配比	2:2 (DSUDDSUUD)	
测试终端	Aeroflex TM500	

极化定向天线(Kathrein 80010677),其中一套用作无线回传,调节使其大致朝向施主宏基站;另外一套用于中继接入链路覆盖,使其大致对准测试楼宇的中层(如3层)进行覆盖。这种双极化天线的特殊性在于垂直方向的天线方向(radiation pattern)图有些类似于全向(omni)天线,比较适合于“室外打室内”,可保证测试楼宇低、中、高层都获得有效的覆盖补充。

室内覆盖普查在楼宇的低/中/高层(分别对应1/3/8层)开展,测试楼宇内部环境如图4所示。在楼宇的1层和3层,大部分宽阔的廊道、开放性办公区紧邻玻璃幕墙(写字楼外墙),室外信号仅需穿透一堵外墙即可到达,而局部区域玻璃幕墙和廊道之间有会议室和电梯厅相隔,直射信号需穿透多堵墙体,损耗较大,此时覆盖主要依靠其他空旷区域信号的衍射/绕射保证。而楼宇的8层环境为连排的会

议室,廊道与玻璃幕墙之间一般有1~2堵内墙或玻璃隔断,高层直射信号经过多堵墙体的穿透损耗后信号已衰减得非常微弱,覆盖也只能依靠廊道和玻璃幕墙之间没有会议室隔断的狭窄区域的信号衍射/绕射获得。

为便于分析玻璃幕墙(测试楼宇外墙)穿透损耗对室内覆盖性能的影响,覆盖普查测试前将测试终端TM500的外置天线分别置于玻璃幕墙的窗外和窗内(测试时将窗体关闭),分别记录两次终端接收的RSRP(reference signal receive power)值,并通过计算两次接收的RSRP的差值,估算玻璃幕墙穿透损耗约为16 dB。

室内覆盖普查时,将测试终端TM500放置于小拖车上,由工程师拖曳遍历目标测试楼层(分别对应1/3/8层)的主要廊道、办公区、电梯间等区域。在每一层楼层,分别记录中继开启/中继关闭情况下的RSRP覆盖以及上行/下行(UL/DL)层三FTP业务速率。当中继开启时,允许终端在宏小区和中继小区间自由切换;而中继关闭时,终端直连室外施主宏基站。同时,对室外施主宏基站周围的相邻小区开启70%下行模拟加扰,使测试现场更加贴近真实组网环境。

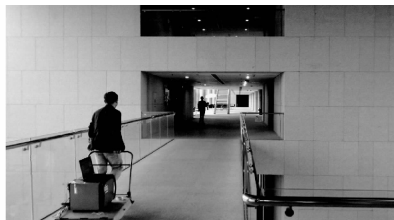
3.2 测试性能

结合现网的测试数据,本文重点对带内中继室外覆盖室内的RSRP覆盖以及上行/下行平均用户吞吐量进行了研究分析。测试楼宇低/中/高层RSRP覆盖打点图如图5所示,测试结果显示室外中继站开启后可以显著地扩大室内1/3/8各楼层的信号覆盖范围,提升测试楼宇各区域的RSRP信号强度。举例如下。

- 低层:当中继关闭时,测试楼宇1层的RSRP值主



(a)测试楼宇1层开放式办公区



(b)测试楼宇3层廊道及测试终端



(c)测试楼宇8层廊道及连排会议室

图4 测试楼宇内部环境

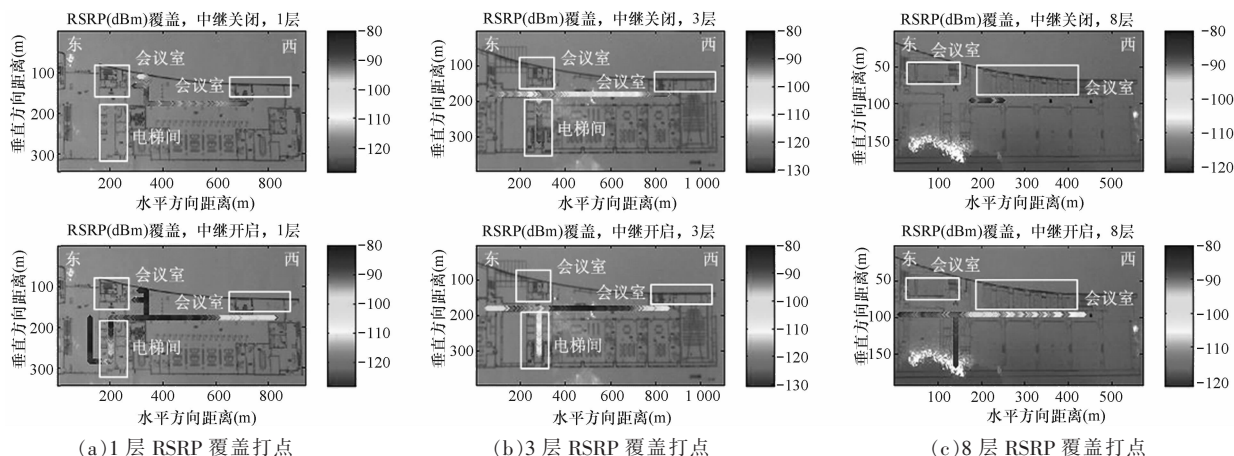


图5 测试楼宇低/中/高层 RSRP 覆盖测试结果

要分布在 $-110\sim-120$ dBm,而在东侧的电梯间区域,由于会议室的遮挡以及绕射信号非常微弱(低于 -120 dBm),测试终端无法正常接入室外宏基站;当室外中继开启后,RSRP值大幅度提升至 $-80\sim-100$ dBm,同时消除了1层东侧电梯间区域的覆盖盲区(U型区域)。

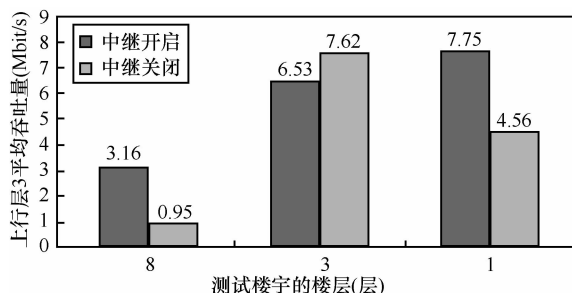
- 中层:当中继关闭时,测试楼宇3层的RSRP覆盖明显优于1层,原因是楼宇3层地理位置较高,和室外施主宏基站天线之间存在直视径;当室外中继开启后,各测试区域的RSRP值也整体上显著提升。
- 高层:如前文所述,测试楼宇8层环境为连排的会议室,廊道与玻璃幕墙之间一般有1~2堵内墙或玻璃隔段,高层直射信号经过多堵墙体的穿透损耗后信号已衰减得非常微弱。当中继关闭时,只有廊道和玻璃幕墙之间没有会议室隔断的很小狭窄区域(仅穿透1堵玻璃幕墙)能获得室外宏基站的覆盖,且RSRP值均分布在 $-110\sim-120$ dBm的较弱区域;当室外中继开启后,楼宇8层的覆盖区域显著扩大,原来在宏小区下为无覆盖的廊道基本上都消除了覆盖盲区,终端可正常接入并发起上行/下行FTP业务。

上行/下行(UL/DL)平均用户吞吐量统计结果如图6所示。测试结果表明,在低/中/高层绝大部分测试区域,带内中继开启后均显著地提升了用户吞吐量性能,只有在上行FTP业务测试时楼层3的平均用户吞吐量略有降低。原因如下。

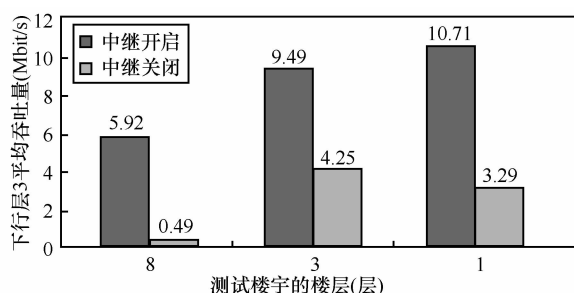
测试楼宇的3层廊道比较宽阔,和室外施主宏基站天线之间存在直视径,仅有一堵玻璃幕墙的遮挡和穿透损耗,因此,在中继关闭的情况下,从宏基站获得的RSRP覆盖并不差,测试中施主宏基站的相邻宏小区上行也未加载干扰,终端仍可获得较好的上行吞吐量性能。

施主宏基站上行8天线接收收集进一步提升了上行信号接收增益,而测试中使用的中继样机天线配置为2发2收。

在带内中继系统中,回传链路和接入链路工作在同一个频点,但为了避免上下行时隙交叉干扰,3GPP协议设计中继回传链路和接入链路的子帧采用时分复用(time division multiplexing, TDM)。例如, TDD系统上/下行子帧配置1(DSUDDSUUD)、回传链路子帧配置4(DL:4&9, UL:3&8)时,带内中继的时隙分配如图7所示^[2]。由于中继回传链路资源受限,且测试中仅有1个终端独享所有系统带宽,使得终端接入室外施主宏基站时可获得将近2倍的时隙资源。这样,即使中继开启相比中继关闭时可显著提升



(a) 上行 FTP 业务平均用户吞吐量



(b) 下行 FTP 业务平均用户吞吐量

图6 测试楼宇上行/下行平均用户吞吐量测试结果

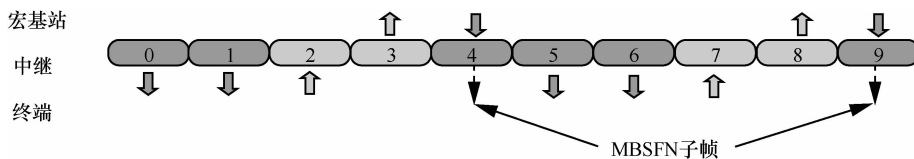


图7 带内中继的时隙分配示意

楼层3的RSRP覆盖,但由于中继回传链路容量受限导致终端上行理论峰值吞吐量受限(例如最大 $MCS=20$ 时,中继上行理论峰值为8.1 Mbit/s;最大 $MCS=24$ 时,中继上行理论峰值为10.2 Mbit/s),在某些测试点,速率出现了低于直连施主宏基站速率的情况。

对于下行FTP业务,中继开启后各楼层平均用户吞吐量均明显高于中继关闭时的情况,未出现类似上行FTP业务在楼层3的平均用户吞吐量倒挂现象。这是由于室外施主宏基站周围的相邻小区均开启70%下行模拟加扰,中继未开启时相邻小区的下行强干扰严重降低了测试楼宇室内的SINR(signal to interference noise ratio),即使施主宏基站在测试楼宇3层的RSRP覆盖并不差,但较低的SINR限制了下行平均用户吞吐量的提升。在中继开启后SINR显著改善,因此获得了明显的吞吐量性能增益。

测试结果也反映出带内中继对部署场景的特定要求,即将带内中继部署在宏基站覆盖相对较差的区域,才能起到有效的补盲或弱覆盖增强的作用。如果带内中继部署不当,例如将其部署在宏基站覆盖较强的区域,由于回传链路容量受限因素,会导致覆盖被显著增强的情况下却无法获得吞吐量增益。事实上,中继技术引入的初衷主要也是改善弱覆盖,将其作为有线回传条件缺失场景下宏基站的覆盖补充,这也就对网络规划和网络优化人员提出了一定的要求。

4 结束语

本文在明确TD-LTE室外覆盖室内部署需求的基础上,结合现网测试验证,对中继增强室内覆盖的性能进行了深入分析。测试结果表明,针对一些暂时不具备有线回传条件的楼宇,引入中继可提供快速、灵活、低成本的深度覆盖解决方案,显著地扩大室内覆盖范围并提升信号强度,保证室内业务较高的平均用户吞吐量。另一方面,由于带内中继存在回传链路瓶颈问题,需要进一步研究回传链路容量提升方案。带外中继虽然可以有效地避免上述问题,但目前尚无成熟的试验产品,还需考虑其硬件实现的成本、复杂度以及天线隔离度和产品实现形态等,后续中

国移动也将联合各大设备厂商积极开展Outband中继试验产品的开发和外场测试,进一步全面验证中继产品以增强室内覆盖的性能。

参考文献

- 1 Cisco. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, White Paper, 2012–2017, Feb 2013
- 2 3GPP TS 36.216 V11.0.0. Physical Layer for Relaying Operation (Release 11), Sep 2012
- 3 Gan J, Guo Z, Fan R, et al. LTE in-band relay prototype and field measurement. Proceedings of IEEE VTC 2012 Spring, Yokohama, Japan, May 2012

[作者简介]



刘建军,男,博士,中国移动通信有限公司研究院研究员,主要从事CoMP、增强型MIMO、中继、小基站等LTE-Advanced标准化及4G新技术原型验证工作。



沈晓冬,男,硕士,中国移动通信有限公司研究院研究员,主要从事LTE以及LTE-Advanced关键技术的研究以及3GPP RAN WG1标准化工作。

胡臻平,男,博士,中国移动通信有限公司研究院副主任研究员,主要从事LTE-Advanced无线物理层及高层协议关键技术的研究及3GPP RAN WG1/WG2标准化工作。

钱雨,男,博士,爱立信(中国)通信有限公司研究员,主要从事E-UTRAN、LTE-Advanced新技术原型系统研发与验证工作。

郭志恒,男,博士,爱立信(中国)通信有限公司研究员,主要从事E-UTRAN、LTE-Advanced新技术原型系统研发与验证工作。

(收稿日期:2013-04-16)