



一种 LTE 异构网络下的移动性优化方法^{*}

陈国平^{1,2}, 杜庆波¹

(1.南京信息职业技术学院 南京 210023; 2.中兴通讯学院移动通信实验室 深圳 518057)

摘要:长期演进(LTE)网络是 3GPP 定义的先进移动网络系统,相比现有的 2G 和 3G 网络,LTE 网络的用户(UE)更加密集、站间距更小、更多的小基站加入系统,从而使 UE 移动性管理面临更大的挑战。为此,提出了一种新型 UE 切换方法。仿真结果显示,新方法能够很好地解决密集 LTE 异构网络中 UE 切换失败率高的问题,性能优化显著。

关键词: LTE; 切换; 异构网络; 测量

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.10.022

Mobility Optimization in LTE Heterogeneous Network

Chen Guoping^{1,2}, Du Qingbo¹

(1.Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210023, China;

2. Mobile Communication Laboratory of ZTE University, Shenzhen 518057, China)

Abstract: The long term evolution (LTE) network is an advanced mobile network defined in 3GPP. The node density of LTE network is higher than traditional 2G and 3G mobile networks, because not only the inter-sector distance is smaller, but also more and more small cells are integrated into the network. The mobility management has become a challenge in a dense heterogeneous network. An advanced handover mechanism to solve the high handover failure rate problem in LTE heterogeneous network (HetNet) was proposed. Simulation results show that the proposed mechanism increases the handover performance in HetNet.

Key words: LTE, handover, heterogeneous network, measurement

1 引言

LTE 网络是 3GPP 规范的移动通信网络的主要演进方向,目前学术界和工业界一致认为,截至 2020 年,全球无线网络数据量的需求将达到 2012 年的 1 000 倍,为了应对未来移动通信业务对管道宽度的海量需求,最有效的途径是增加基站数量,提高无线频谱资源复用程度。业务需求量存在“热点”的特性,因此小基站是网络扩容最经济、最有效的方法。小基站的部署成本通

常是宏基站的几分之一,且发射功率比宏基站低 16 dB 以上,增加小基站引入的干扰远小于增加宏基站引入的干扰。

此外,考虑到由密集小站组成的异构网络是未来提高频谱复用的最有效途径,3GPP 在版本 R10 中引入了对小基站的研究。目前,3GPP 标准组织仍没有解决的最大系统风险是大量小基站的引入对切换等移动性的影响^[1]。异构网络特别是拥有密集小站的异构网络中存在的移动性风险包括以下几点。

^{*} 江苏省第四期“333 高层次人才培养工程”科研基金资助项目(No.BRA2011117),中兴通讯学院科研基金立项课题基金资助项目(No.YK20130503)



- 切换数量增加。大量新增的宏基站—微基站(宏—微)和微基站—微基站(微—微)之间的切换,导致切换数量的极大增加。
- 切换难度增加,成功率下降。小基站的引入带来了更大的阴影衰落和更复杂的切换边界,使得 UE(用户设备)切换失败率急剧增加。

为了解决新网络形态下的切换问题,本文提出了一种新的切换机制,使得网络切换性能显著提升,特别是对切换成功率的改善远大于传统的 3GPP 切换机制。

2 LTE 异构网络切换问题分析

LTE 网络中的切换机制用于控制切换的时机^[2],该机制由 3 个主要参数控制,包括:切换偏差(handover offset)门限、触发定时(time to trigger)门限和 K 系数,如图 1 所示,具体介绍如下。

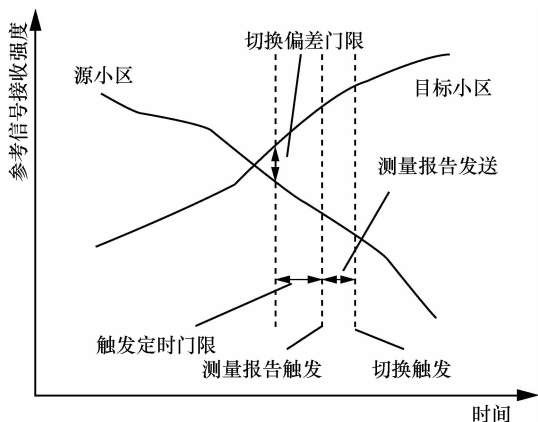


图 1 LTE 切换时机及参数

- 切换偏差门限决定了 UE 计时的时刻。当目标小区的参考信号接收强度功率(RSRP)大于源小区的参考信号接收强度功率时,UE 开始计时,准备进行测量结果上报。
- 触发定时门限决定了 UE 计时的长度。当 UE 计时长度大于触发定时门限时,UE 立刻向网络上报测量结果。
- K 系数决定了对接收信号强度的滤波系数。不同滤波系数影响了 UE 对真实信号强度的反应速度。

3GPP 标准组织在版本 R9 中引入了移动顽健性优化(MRO),旨在通过调整上述的 3 个系数控制切换的时机,确保切换不会出现得太早或者太晚。切换太早,UE 在切入的目标小区信号不稳定,容易导致 UE 在目标小区掉话;

切换太晚,源小区的信号强度或质量过度衰减,容易导致 UE 在源小区掉话。因此,选择恰当的切换时机对于提高 LTE 切换性能具有重要作用,3GPP 对 MRO 研究的大量工作都聚集在切换时机调整上,并提出了一系列复杂的算法和流程方案,增加了 LTE 网络系统的复杂度。

当网络发展成密集异构网络时,大量小基站的加入使得 UE 切换难度进一步加大,控制切换时机也变得越发困难,移动性问题的挑战主要有以下几个方面。

- 随着小基站密度的增加,切换次数显著上升。如图 2 所示,增加的切换次数是原有网络设计无法想象的。
- 切换难度显著增加。由于小基站部署的高度很低,无线信道的传播非常容易受周围环境的影响,如一棵树的遮挡就可以使该小基站的信号出现十几个 dB 的阴影衰落,UE 极易在移动很短的距离时就出现切换失败的情况,这给 MRO 调整切换参数增加了困难。此时,切换过晚的情况将显著增加。
- 小基站的作用主要是提供覆盖热点,其覆盖的用户个数远远低于传统宏基站,通常只有几个用户,因此单个用户对小区资源的“占/空”极易导致小区负载复杂的变化,使其对周围邻区 UE 的干扰多变。传统 MRO 对于切换时机的调整,无法跟上小区负载的快速变化,大大降低了密集小基站网络下的 UE 切换性能。

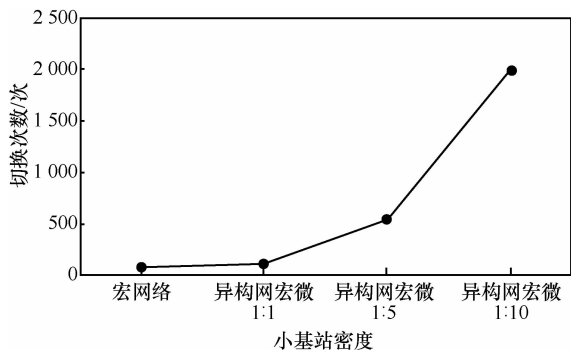


图 2 单位时间切换次数

在新的密集小基站异构网络下,传统的 LTE 切换机制及优化机制将遇到新的困难,切换性能难以保证,且基于传统切换机制的有效算法复杂度很高,增加了 LTE 网络的设计和维护难度,因此,本文设计了新的切换机制,从根本上保证了新网络形态下的 UE 切换性能。

3 LTE 异构网络切换机制流程描述

3.1 现有 3GPP 的 LTE 切换机制

现有 3GPP 的 LTE 切换是 UE 和网络多次配合完成的,如图 3 所示,切换机制中各步骤的主要功能如下。

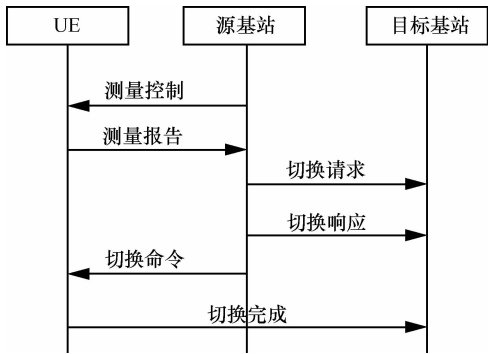


图 3 现有的 LTE 切换机制流程

- 源基站向 UE 发送测量控制消息,在该控制消息中,含有通知 UE 的相关切换控制参数,第 2 节所述的几个切换参数都是在这一步由网络通知 UE 的。
- UE 持续进行切换测量,监测本小区和邻区的参考信号强度或者质量。当测量结果满足切换参数控制的要求时,UE 向源基站发送测量报告消息,其中携带该 UE 对本小区和邻区的测量结果。
- 源基站收到 UE 的切换测量报告后,立刻触发该 UE 的切换,此时,源基站通过分析该 UE 的切换测量报告,选出最合适的切换目标小区,并找到目标小区所属目标基站的地址。
- 源基站向目标基站发送切换请求消息,请求目标小区能够为即将到来的 UE 预留资源,提供相应的无线承载,该切换请求消息中携带 UE 承载的服务质量要求。
- 目标小区根据收到的切换请求以及其中携带的服务质量要求,判断是否能够接纳新的 UE,如果自身资源条件允许,则向源基站返回切换的相应消息。
- 源基站收到目标基站的切换接纳信息,就立刻向该 UE 发送切换命令消息,通知 UE 可以切换到目标邻区,在该切换命令中携带了 UE 进入目标邻区所必须的初始资源信息。
- UE 在收到切换命令后,使用该命令通知的资源接入目标邻区,切换过程完成。

3.2 UE 级切换机制

传统切换机制的困难在于无法有效地控制切换时机,网络状况的变化使得源基站下发的切换测量参数很难达到最优,从而可能导致切换失败率增加^[3]。

本文推荐的创新方案从根本上屏蔽了由网络侧决定切换时机导致的切换难以达到最优这一难题。在网络的配合下,UE 直接感受网络测量值的变化,触发服务小区的改变,UE 直接向目标基站发起请求,由目标基站向源基站请求配合本次切换,从而在机制设计上避免密集小基站下切换性能下降的问题,称之为网络配合的 UE 级切换,如图 4 所示,具体说明如下。

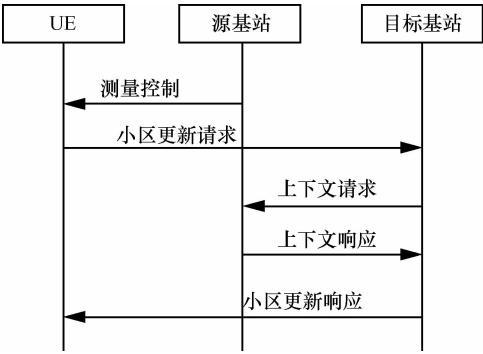


图 4 UE 级切换机制流程

- 源基站向 UE 下发切换测量控制消息,消息内容与传统方案类似,目的是通知 UE 在合适的时机开始切换。
- UE 使用该测量控制消息进行网络监测,当满足该测量控制要求时,UE 并不直接向源基站请求切换,而是由 UE 自主决定发起切换,节省了宝贵的切换决策时延。切换的触发是 UE 直接向目标小区发起小区更新请求,同时 UE 可以保持或不保持在源小区的连接。
- 当目标小区收到 UE 的小区更新请求时,决策是否接纳该 UE。当目标小区缺乏 UE 上下文信息时,就无法获知该 UE 的服务质量要求、加密信息等,需要向源小区发起上下文请求。
- 源小区收到目标小区的上下文请求后,迅速向目标小区返回上下文响应。
- 目标小区收到该响应消息后,判断是否接纳 UE,并且通知 UE 在目标小区新分配的接入资源,切换流程完成。

综合以上分析可以看出,传统切换机制中切换命令消



息的传递非常耗时,由于经历了多个切换命令之后,UE 更加远离源小区的覆盖,其在源小区的信号质量很差,这时传递空口消息“切换命令”将非常困难,也非常耗时,因此 UE 在源小区的连接也很容易掉话。而本文的 UE 级切换机制中,UE 允许脱离源小区后再根据自身的测量结果自主选择合适的小区发起接入请求,并且之后的上下文请求和响应消息通过网络接口传递,非常迅速,由于 UE 进入目标小区的覆盖范围,信号质量更好,因此最后一条空口消息“小区更新响应”非常容易传递。

4 仿真评估与结果分析

本文的切换机制性能仿真采用如图 5 所示的标准密集城区 LTE 拓扑结构,19 个 LTE 基站使用小区折叠布网,每个基站由 3 个宏小区构成,平均每个宏小区的覆盖范围有 5 个小基站^[4]。

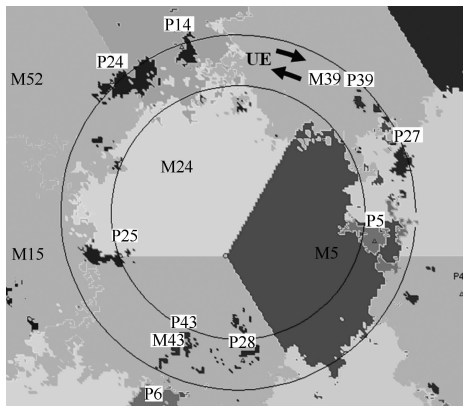


图 5 异构网络切换性能评估拓扑结构

4.1 仿真用例

在 HetNet 的研究中,为了使小基站能够尽可能地卸载宏基站的负载,一般会采用 CRE(cell range expansion, 小区扩展)的方式进行 UE 的接入和服务。当小基站采用 CRE 方式时,宏基站中的 UE 会以更低门限 Bias 切入小基站,而小基站中的 UE 会以更高门限切入宏基站,一般在 LTE 下行控制信道能够工作的前提下,Bias 取值在 6 dB 以下。不同 Bias 也给宏基站和微基站之间的切换带来了不同的挑战^[5]。本文的切换性能研究采用表 1 中的 Bias 配置。

仿真中使用的其他配置,见表 2。

4.2 切换次数

在 HetNet 中,切换次数和切换成功率与切换类型息息相关,在本次仿真使用的网络拓扑中,切换次数与 Bias

表 1 仿真用例

参数	配置用例
Bias	0 dB, 3 dB, 6 dB
基线	3GPP 切换
对比用例	UE 级切换

表 2 仿真假设

特征参数	配置值
网络拓扑	宏小区 规则六边形 微小区:1 个微小区/宏小区 小区折叠
站间距	宏基站站间距 350 m
基站功率	宏小区: 43 dBm 微小区: 27 dBm
UE 速率	10 m/s 或 1 m/s
物理层实现	混合自适应重传 下行/上行: 1×2 最大比合并接收, 功率攀升的随机接入模型
层一质量模型	使用小区参考信号的载干比测量值
UE 端无线链路监测	T310=1 s, N310=1 s, N311=1 s $Q_{in}=-4.8$ dB; $Q_{out}=-7.2$ dB
层二	完整的媒体接入层, 无线链路层不分组
层三	显示建模所有无线资源控制信令

之间的关系如图 6 所示。宏—宏的切换次数随着 Bias 的增大而减小,因为小基站的有效覆盖范围增大,使很多宏—宏之间的切换转变成宏—微之间的切换,因此宏—微切换次数和微—宏切换次数都随着 Bias 的增加而增加^[6]。同时,小基站覆盖范围变大也使得微—微之间的切换次数增加,但由于小基站的密度有限,微—微切换始终是系统中切换的极少数,只有在高密度小基站下,微—微切换性能

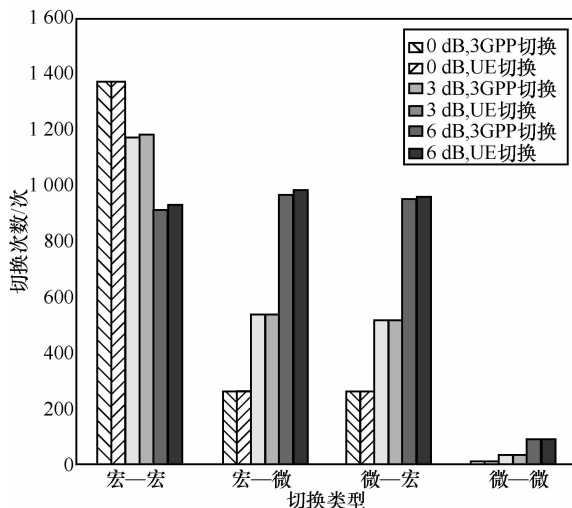


图 6 切换次数及分布

才足够重要。

仿真结果还可以看出,不管是 3GPP 的传统切换方式还是本文提出的 UE 切换方式,在各种场景下它们的切换次数都几乎相同,极少的数量差异可以认为是仿真误差,不具有统计意义。

4.3 切换失败率

仿真结果显示,本文提出的 UE 级切换方案显著降低了 UE 切换失败率。如图 7 所示,随着 Bias 的增加,宏—宏之间的切换情况并未有太大变化,但传统 3GPP 切换方式的切换失败率明显高于本文的 UE 级切换方案,由于 UE 级切换方案中,UE 在测到目标小区信号接收强度大于本小区一定门限后,立即由 UE 触发向目标小区发起切换请求,最终由目标小区直接向 UE 发起消息,接纳 UE,由于网络的响应消息由目标小区发送,而目标小区此时的信号质量远好于源小区,因此发送的成功率就非常高^[7];而传统方案中 UE 获得测量信息后,需要继续在源小区逗留较长时间后,再由源小区向 UE 发送切换命令,此时 UE 会更加远离源小区,源小区的信号质量迅速下降,传递切换命令的可靠性也迅速下降,导致切换命令发送不成功而切换失败。

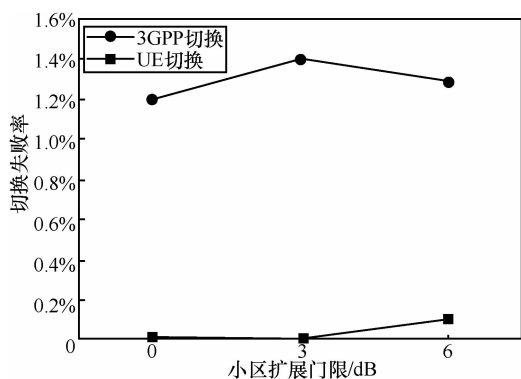


图 7 宏—宏切换失败率

在 HetNet 中,宏—微之间的切换失败率随着 Bias 的增加而减小,如图 8 所示。原因是 UE 在由宏基站向微基站切换时,在源小区的 UE 信号质量变差,切换命令传输困难,而随着 Bias 的增加,UE 将提前从宏基站向微基站切换,此时在源宏小区的信号质量更好,切换失败率反而降低。但当 Bias 为 6 dB 时,由于过早切入目标小区,此时目标小区的信号不稳定,容易造成在目标小区的切换命令传输失败,这一点也在 UE 级切换方式上得到体现^[8]。在 Bias 较小的场景下,UE 级切换方式几乎没有切换失败,而 Bias 增大时,在目标小区出现了少量的切换失败;但此时 UE 级切换方式的总失败次数仍然远小于传统方式。

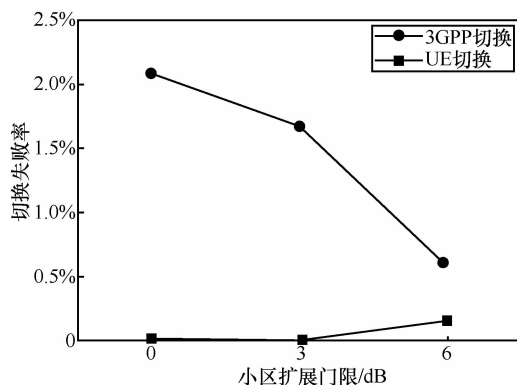


图 8 宏—微切换失败率

微基站到宏基站的切换更能说明 UE 级切换方式的优点,在传统切换方式下,微—宏切换是失败风险最高的一种切换类型(由于微—微切换的占比很低,本文不考虑微—微切换的情况),并且该类切换失败率就随着 Bias 的增加而显著增加,如图 9 所示;而在 UE 级切换方式下,切换失败率一直保持在很低的水平,即便 Bias 为 6 dB 时,仍然表现出极强的切换顽健性。

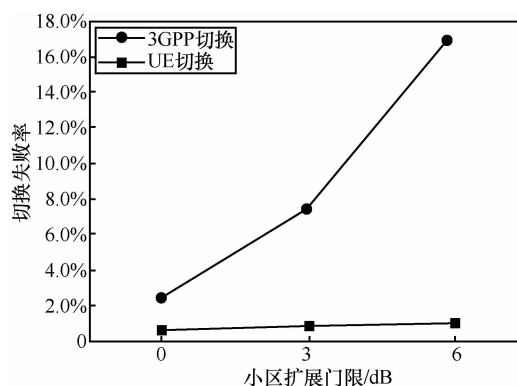


图 9 微—宏切换失败率

5 结束语

在 HetNet 场景下,传统 3GPP 切换方式的切换性能很难得到保证,特别是在微基站到宏基站切换时,切换失败率较高,并且该失败风险随着微基站 CRE Bias 的增大而显著上升;本文提出的 UE 级切换方案,将切换过程中的重要命令由源小区转移到目标小区,由于一般目标小区具有比源小区更强、更稳定的信号质量,因此显著降低了切换失败率,提升了 HetNet 场景下的切换顽健性,同时,并未显著增加切换次数。

此外,用户面的中断时延为切换过程中的另一重要指标,其显著影响 UE 的感受,因此进一步研究两种切换方式下切换 UE 的用户面中断时延指标,是未来的工作方向。

(下转第 172 页)



为复杂,需通盘考虑 IPv4 和 IPv6 的协议特点,运营商、互联网内容提供商专业人员若囿于 IPv4 配置经验,往往会引起 IPv6 的 MTU 问题。根据本文分析,因存在一定技术和应用限制,单纯依靠现有的某个方案并不能彻底解决问题。就城域网运营商而言,现阶段可在综合考虑网络设备功能、性能、安全因素的前提下,结合多种方案,多管齐下,尽可能避免因 MTU 问题导致分组丢失和网络转发性能下降问题。在一个城域网内可考虑适当放大相关设备的 MTU 设置值,优先确保本地网络不会成为 MTU 瓶颈。从长远来看,标准化组织、研发机构和相关厂商应考虑对相关 MTU 处理机制作进一步开发完善,理想中的 MTU 处理机制应该同时满足以下要求:

- 应能同时解决 IPv4、IPv6 的 MTU 问题;
- 应能同时作用于 TCP 和 UDP 等各类协议数据分组;
- 不应采用分段方式增加路由器的处理负担;
- 解决 MTU 问题不能引发新的不可控的安全问题。

就第 3.2 节的方案来看,当特定 ICMP 数据分组能顺利穿越整个网络的情况下,若能彻底解决引发的各类安全问题,也许改良后的路径 MTU 发现方案就能成为一种较为理想的方案。另一方面,ICP、操作系统、终

端、应用软件厂商应充分考量双栈环境下 MTU 问题的复杂性,在彼此负责的段落内为 IPv4 和 IPv6 设置更为合理的 MTU 值,既减少问题出现的几率又确保数据分组的转发效率。

参考文献

- 1 RFC2460. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, 1998
- 2 RFC4459. MTU and Fragmentation Issues with in-the-Network Tunnel, 2006
- 3 RFC4638. Accommodating a Maximum Transit Unit/Maximum Receive, 2006
- 4 RFC2461. Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6), 1998

[作者简介]



颜永明,男,中国电信股份有限公司上海分公司总工程师室高级工程师、数据专业主管,主要研究方向为数据通信。

(收稿日期:2014-08-27)

(上接第 155 页)

参考文献

- 1 胡荣贻,彭木根,张洪岩等. LTE-Advanced 系统中的移动顽健性优化技术研究. 电信科学, 2013, 29(5):84~89
- 2 祝炜凯,赵竹岩,康剑锋等. 基于实际城区场景的 TD-LTE 异构网络性能研究. 电信科学, 2012, 28(9):47~51
- 3 余翔,张丽,王蓉. LTE-A 中异构网络的切换分析. 电讯技术, 2014, 54(1):89~96
- 4 3GPP TR 36.814. Further Advancements for E-UTRA Physical layer Aspects (Release 9), 2011
- 5 Triantafyllou D, Passos N, Kaloxylas A, et al. Coordinated handover initiation and cross-layer adaptation for mobile multimedia systems. IEEE Transactions on Multimedia, 2009, 11(6): 1131~1139
- 6 3GPP TS 36.331. E-UTRA Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 9), 2010
- 7 Hui G, Legg P. Soft metric assisted mobility robustness optimization in LTE networks. Proceedings of International Symposium on Wireless Communication Systems, Paris, France, 2012: 1~5
- 8 Barbera S, Michaelsen P, Säily M, et al. Mobility performance of

LTE co-channel deployment of macro and picocells. Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Shanghai, China, 2012: 2863~2868

[作者简介]



陈国平,男,南京信息职业技术学院讲师,中兴通讯学院兼职高级培训师,主要研究方向为移动通信、通信与信息系统。



杜庆波,男,南京信息职业技术学院教授,主要研究方向为移动通信技术、网络通信。

(收稿日期:2014-04-30)