



LTE-Advanced 系统中的移动顽健性优化技术研究^{*}

胡荣贻, 彭木根, 张洪岩, 李 远

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室 北京 100876)

摘 要:网络自优化技术目前成为移动通信网络性能研究的热点。随着移动通信技术和业务的飞速发展,移动顽健性日益成为用户体验关注的重点,尤其是移动蜂窝通信网络中的切换失败、用户掉话、通信质量差等一系列问题。为解决此类切换带来的用户体验和系统移动顽健性下降问题,针对一种面向切换事件和切换场景的移动顽健性优化算法(MRO 算法),以用户掉话率作为性能评价标准,分别在同构和异构网络下,综合考虑切换事件和不同切换失败场景(过早切换、过晚切换、乒乓切换)的特点优化调整切换参数,并采用系统级仿真进行了性能比较。仿真结果表明,加入 MRO 算法后,同构场景的掉话率从 10.9%下降到 6.2%,异构场景的掉话率从 11.3%下降到 6.3%,整体性能得到大幅提升。

关键词:切换自优化;移动顽健性优化算法;系统级仿真

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.05.015

Mobility Robustness Optimization in LTE-Advanced System

Hu Rongyi, Peng Mugen, Zhang Hongyan, Li Yuan

(Key Laboratory of Universal Wireless Communications of Ministry of Education, Beijing
University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Self-optimization network has already become the hotspot of the mobile communication study. With the rapid development of mobile communication technology, mobility robustness has increasingly been focused on by of the users, especially the problems such as the handover failure, users' dropped calls and poor communication quality of the mobile cellular communication network. In order to improve users' experience and communication robustness, an algorithm was proposed, by which the mobility robustness was improved and handover parameters were optimized, taking consideration of the characteristics of handover events and different handover failure scenarios like early handover, late handover and ping-pong handover. The rate of users' dropped call was taken as the performance indicator, and the performances through system-level simulation were analyzed. Simulation results show that, owing to the mobility robustness optimization algorithm, dropped call rate is absolutely reduced from 10.9% to 6.2% in the homogeneous network and from 11.3% to 5.3% in the heterogeneous network, and the overall performance has been highly improved.

Key words: handover optimization, mobility robustness optimization algorithm, system-level simulation

^{*} “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.2011ZX03003-002-01),国家自然科学基金资助项目(No.61222103),北京市自然科学基金资助项目(No.4131003),北京市科技新星合作项目(No.xxhz201201),新世纪优秀人才支持计划资助项目

1 引言

为适应下一代宽带移动通信系统的技术和业务需求,IMT-Advanced 系统引入了网络自组织技术,提高了网络的自组织能力,简化了无线网络设计和网络运维,实现了网络的自配置、自优化和自治愈^[1]。

网络自优化技术从网络的整体性能提高出发,通过监测网络性能指标的变化和异常事件的发生发现网络问题,并通过自动调整基站(base station,BS)相关参数,达到减少干扰、优化网络性能的目的。在传统的 2G/3G 系统中,切换(handover,HO)参数在基站初始化配置后很少调整,即使进行调整也很难有效避免“过早/过晚切换”、“不必要切换”、“切换到错误目标小区”等不利事件的发生。切换问题将导致用户掉话、数据丢失、系统资源浪费,是目前网络问题中亟需解决的关键任务。

因而,展开切换自优化的研究和标准化^[2]工作具有重大意义。切换自优化是指用户设备(user equipment,UE)在不同的蜂窝小区之间切换和重选时的性能优化,以实现无损、无缝连接,降低中断时间和数据损失。其中,移动顽健性优化(mobility robustness optimization,MRO)技术是目前移动网络背景下技术研究的热点和突破的难点。

目前 3GPP 对切换自优化的标准化工作已经由同构网络(homogeneous network, HomoNet)拓展到异构网络(heterogeneous network, HetNet)。3GPP RAN2 组展开了对异构网络下切换自优化及相关问题的研究,获取了更多切换问题和潜在的增强方法,以支持异构网络下的无缝切换。不同于同构网络中宏小区(macro cell)间的切换问题,异构场景中引入了大量的低功率节点(如微基站(pico base station,pico BS)、家庭基站、中远程射频点(remote radio head,RRH)),部署在宏小区边缘以增强覆盖或者部署在宏小区中心以增强容量。这些异构节点的静态或不同密度的随机部署,给 HetNet 带来了在与 HomoNet 中传统宏基站(macro base station, macro BS)间切换时更多的移动性问题。

因此,需要提出一种更高效的切换自优化方法,改善同构和异构网络下系统的整体性能。以前针对 LTE-Advanced 蜂窝网络的移动顽健性优化方案^[3],大多存在以下问题:不同的切换失败场景分别孤立地对切换参数(如切换门限或触发时间)进行调整;缺乏对用户体验质量的考虑,结果中仍面临掉话率高、资源浪费严重等问题,对

系统整体性能的改善不够明显。而本文将提出面向切换事件和切换场景的 MRO 算法,以用户掉话率作为系统性能的评价标准,提出联合不同切换场景的切换参数调整方案,综合考虑所有可能的切换场景的发生概率和特征,改善系统的整体性能;并通过系统级仿真比较加入 MRO 算法前后的性能差异。仿真结果证明,同构和异构场景下,加入 MRO 技术使整体网络的掉话率大大降低,保证了切换的成功,降低了中断时间和数据损失,系统整体性能大幅提高,更好地满足了网络自优化,以实现无损、无缝连接。

2 系统模型

切换问题主要导致用户掉话、数据丢失、系统资源浪费等,可采集的性能指标^[5]包括切换失败率 P_{HOF} 、乒乓切换率 P_{HPP} 、拥塞率 P_c 、UE 掉话或切换失败后重建到源小区或目标小区的数目(N_s 或 N_t)等;而用户掉话率最能直观地反映系统通信服务质量和用户体验状况。

本文将以“用户掉话率”作为性能评价指标,通过采集用户掉话情况对比分析加入 MRO 算法前后的性能差异。用户掉话率 P_{DC} 的表达式为:

$$P_{\text{DC}} = \frac{N_d}{N_a + N_d} \quad (1)$$

其中, N_d 为发生链路失败的次数, N_a 为没有发生链路失败的次数。

本文提出了一种面向切换事件和切换场景的切换自优化方案,该方案根据切换事件和不同切换场景的特点,进行切换参数的优化调整。

LTE-Advanced 系统切换过程主要包括切换测量、切换判决、切换执行 3 个部分。本文提出的切换自优化方案中,具体切换事件(A3)通过采集测量用户参考信号接收功率(RSRP)的变化来判断;RSRP 采用平均接收功率,当一个触发时间(TTT)内都满足式(2)的切换“判决准则”时,执行切换,并更新源小区和目标小区基站的用户列表;否则,不执行切换。

$$RSRP_t > RSRP_s + HOM \quad (2)$$

其中, $RSRP_s$ 表示源小区的参考信号接收功率, $RSRP_t$ 表示目标小区的参考信号接收功率,切换参数 HOM 表示切换滞后差值。

下面分别针对同构和异构两种场景^[4],综合考虑不同的切换问题场景进行建模。在同构或异构场景中,不论源



小区和目标小区的基站是宏基站还是微基站,切换问题场景都主要考虑过早切换、过晚切换、乒乓切换3种。其特点分别如下:过早切换时,切换参数设置过小,UE受快衰等因素影响,切换入目标小区时间内发生掉话或切换失败,重建至源小区,重建到源小区的数目 N_s 要大于重建到目标小区的数目 N_t ;过晚切换时,切换参数设置较大,目标小区信号质量很好并且源小区信号质量较差,但还没有满足切换条件,导致UE发生掉话并重建到目标小区,重建到源小区的数目 N_s 要小于重建到目标小区的数目 N_t ;乒乓切换指切换参数设置较小外加地形地貌和快衰等因素的影响,UE短时间内在源小区和目标小区间不断进行切换,最终导致UE发生掉话或切换失败。

同构网络场景的蜂窝小区中只有macro BS和宏小区用户(macro UE, MUE),用户移动带来的小区间切换只有macro BS和macro BS之间的一种情况,即宏基站到宏基站(macro to macro, M2M)。切换问题也只对应如图1~图3所示的3种场景。

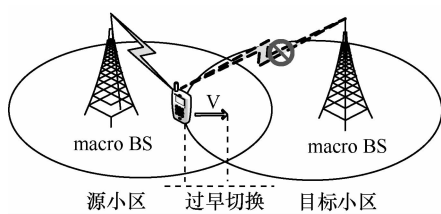


图1 过早切换

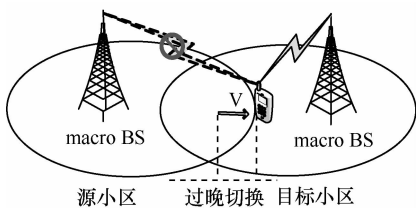


图2 过晚切换

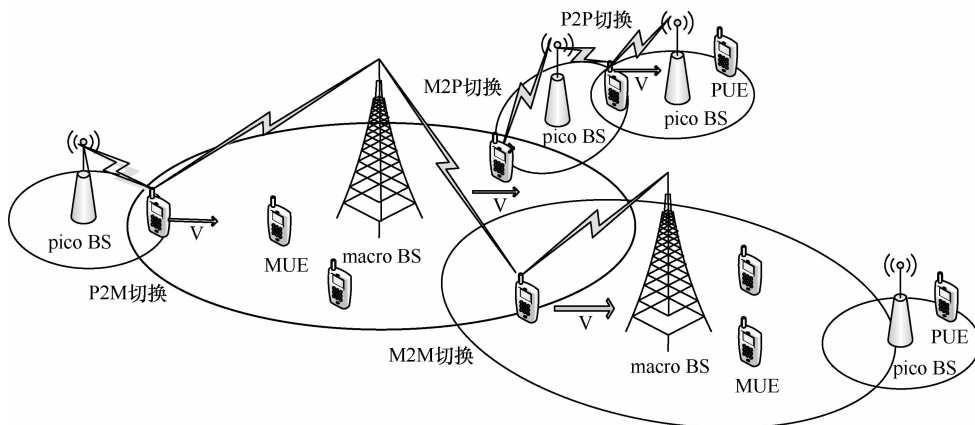


图4 异构场景下的切换

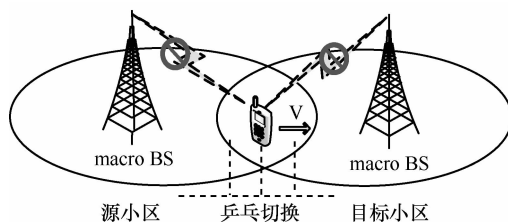


图3 乒乓切换

同构场景下,判断3种切换问题场景的方法^[5]如下。

- 过早切换: $P_{\text{HOF}} + P_{\text{DC}} > P_{\text{失败门限}}$, $N_s > N_t$, $P_{\text{HPP}} < P_{\text{HPP门限}}$, $P_c < P_{\text{c门限}}$ 。
- 过晚切换: $P_{\text{HOF}} \leq P_{\text{失败门限}}$, $P_{\text{DC}} > P_{\text{DC门限}}$, $N_s < N_t$, $P_{\text{HPP}} < P_{\text{HPP门限}}$, $P_c < P_{\text{c门限}}$ 。
- 乒乓切换: $P_{\text{DC}} + P_{\text{HOF}} > P_{\text{失败门限}}$, $P_{\text{HPP}} > P_{\text{HPP门限}}$, $P_c < P_{\text{c门限}}$ 。

异构网络场景^[6]中引入了微小区(pico cell),每个扇区的边缘增加了一个微基站(pico BS),即宏基站和微基站数目相同。HetNet场景下,小区间的切换情况包括如图4所示的4种:宏基站到宏基站、宏基站到微基站(macro to pico, M2P)、微基站到微基站(pico to pico, P2P)、微基站到宏基站(pico to macro, P2M)。

异构场景下的切换问题场景更加复杂,过早、过晚、乒乓切换理论上在M2M、P2M、M2P、P2P切换时均有发生,与同构场景中M2M切换的3种切换问题场景类似。不同的是,M2M、P2M、M2P、P2P切换时,对应的切换门限和判断条件也有所不同:由于低功率节点pico BS比macro BS发射功率和覆盖范围小,微小区用户(pico UE, PUE)的RSRP相对MUE较低,所以M2M、P2M、M2P和P2P切换的判断门限设置依次减小,因而分别对应发生的3种切换问题场景(过早、过晚、乒乓切换)的判断门限 $P_{\text{失败门限}}$ 、 $P_{\text{DC门限}}$ 、 $P_{\text{HPP门限}}$ 等设置也依次降低。

3 MRO 算法

同构和异构网络下, MRO 算法的切换参数自优化方案基本一致, 但异构网络下的 MRO 算法更加复杂, 这是由于异构网络下切换事件和切换问题场景更加复杂。

3.1 同构场景

同构场景中, 依据平均统计的切换失败场景和掉话率的总体情况, 不断对整体网络中所有 macro BS 的切换参数进行切换优化调整。每隔一个调整周期 T , 对不同的切换失败场景(过早切换、过晚切换、乒乓切换)及发生比率判断比较后, 对 HOM 和 TTT 进行切换自优化调整。一个调整周期内的具体 MRO 算法流程如图 5 所示。

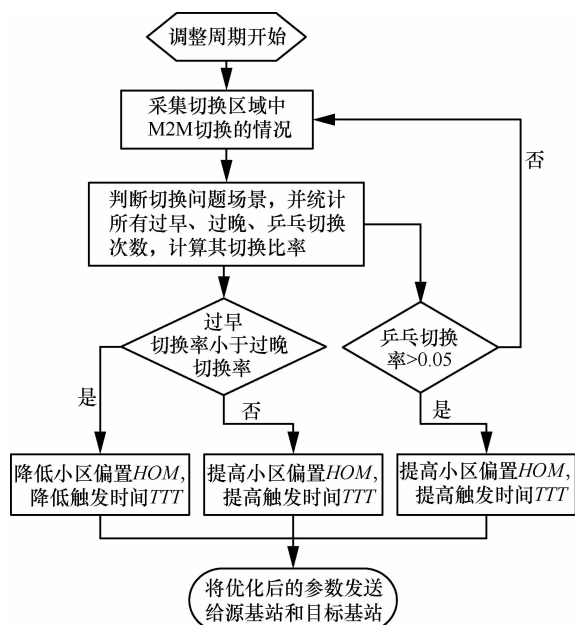


图 5 同构场景 MRO 算法流程

首先, 利用系统在每个调整周期 T 内采集的切换性能指标, 判定当前切换问题是哪种类型的切换。同构场景中仅存在 M2M 切换, 分别统计对应的 3 种切换问题场景(过晚、过早、乒乓切换)的次数, 并计算其占所有切换场景(包括切换成功场景和切换问题场景)的比率, 得到过早切换率 P_{early} 、过晚切换率 P_{late} 、乒乓切换率 $P_{pingpong}$ 。然后, 根据切换问题场景的分布统计情况, 在每个调整周期内对 HOM 和 TTT 的具体优化调整方法如下所述。

- 若判断过早切换率大于过晚切换率, 即 $P_{early} > P_{late}$, 对所有基站切换参数进行调整, 同时降低小区偏置门限 HOM 和触发时间 TTT 。
- 若判断为过早切换率不大于过晚切换率, 即 $P_{early} \leq$

P_{late} , 对所有基站切换参数进行调整, 同时降低小区偏置门限 HOM 和触发时间 TTT 。

- 对于乒乓切换场景, 独立于过早或过晚切换场景进行调整。若乒乓切换率 $P_{pingpong} < 0$, 则不进行调整; 否则对所有基站切换参数进行调整, 同时提高小区偏置门限 HOM 和触发时间 TTT 。

最后, 每个调整周期完成后, 将优化的切换参数反馈给所有的源基站和目标基站。另外, 调整过程中如果 HOM 或 TTT 已到达预设门限, 则及时上报给源基站和目标基站。

3.2 异构场景

图 6 所示的异构场景中, 由于加入了微基站导致需要判断的切换失败场景更加复杂, 切换区域除 M2M 切换与同构场景一致外, 还包括 M2P、P2M、P2P 切换; 4 种切换情况分别对应的 3 种切换问题场景(过晚、过早、乒乓切换)需要设置不同的判断门限, 然后分别统计后求和。所以, 异构场景下的 MRO 算法流程与同构场景下的基本一致, 只是切换问题场景的统计判断不同。

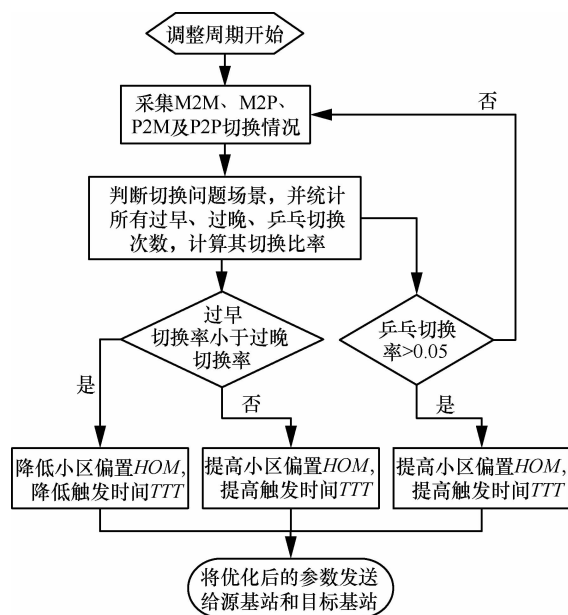


图 6 异构场景中 MRO 算法流程

对于 M2M 切换, 异构场景中对应的切换门限设置与同构场景中一致, 3 种问题切换场景判断和统计方法相同; 对于 P2M、M2P 和 P2P 切换, 由于 pico BS 功率和覆盖范围相对 macro BS 较小, M2P、P2M 和 P2P 切换判断略有不同, 门限值设置相对 M2M 较小, 对应的 3 种切换问题场景(过晚、过早、乒乓切换)的门限也较 M2M 依次降低。



分别统计 M2M、P2M、M2P 和 P2P 切换区域内的过晚、过早、乒乓切换次数并求和,然后统计所有切换中过晚、过早、乒乓切换的比率(P_{late} 、 P_{early} 、 P_{HPP})。不同切换问题场景所占比率,反映着异构场景中切换失败和用户掉话问题的总体特征。

针对异构场景中统计的 P_{early} 、 P_{late} 、 P_{HPP} 情况,对应执行切换参数调整方案,其方法也与同构场景一致。同样,所有切换区域(包括 M2M、P2M、M2P 和 P2P 切换)的优化切换参数需反馈给相应的 macro BS 或 pico BS。

4 仿真与分析

4.1 仿真场景设定

本节的仿真基于符合 3GPP 规范定义的 TD-LTE-Advanced 下行系统级仿真平台^[6]。分别对同构和异构网络加入 MRO 算法和无 MRO 算法情况下的移动顽健性进行系统级仿真,仿真参数设置见表 1。

表 1 仿真参数设置

仿真参数	参数取值	
	同构网络	异构网络
载频	2.0 GHz	2.0 GHz
带宽	10 MHz	10 MHz
网络拓扑	19 小区,3 扇区/小区, macro	19 小区,3 扇区/小区, macro 和 pico
小区半径	288 m	288 m
用户部署	40UE/扇区,随机分布	40UE/扇区,随机分布
业务模型	full buffer	full buffer
移动速度	30 km/h	30 km/h
初始 TTT 值	480 ms	480 ms
调整周期 T	1 s	1 s

4.2 结果与性能分析

(1) MRO 算法对用户掉话率的影响

从图 7 结果明显可知,加入 MRO 算法后的用户掉话率整体大幅下降,同构场景下从 10.9%降到 6.2%;异构场景下从 11.3%降到 6.3%。总体上来说,由于 MRO 算法的加入,掉话率有 40%~50%的降低,系统整体性能得到大幅改善,也证明了本文的 MRO 算法对掉话和数据丢失等用户体验品质有明显改善,意义重大。

异构场景的掉话率比同构场景更高,而 MRO 算法在异构场景下带来性能改善的增益更大。这是因为异构网络比同构网络增加了 pico BS,会使切换问题更加复杂化,因为除了 macro BS 间的切换,还有 pico BS 与 macro BS、pico

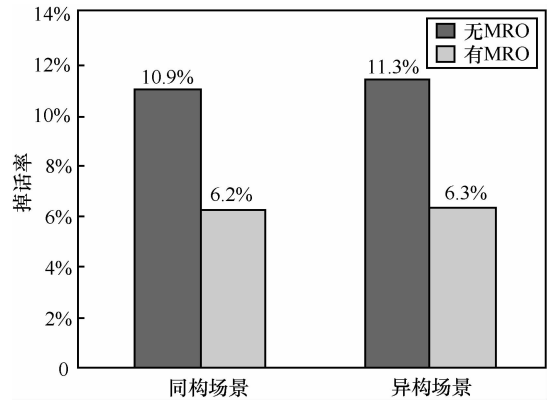


图 7 用户掉话率

BS 与 pico BS 间的切换,所以异构场景的掉话率相对高;而本文的 MRO 算法联合考虑了所有不同的切换场景的分布概率和切换特征,因对异构场景下的掉话率优化效果比同构场景更明显,带来的性能增益相对更高。

(2) MRO 算法对异构场景中切换失败率的影响

关于 MRO 算法对异构场景的优化效果,分别统计了 4 种切换类型(M2M、M2P、P2M 和 P2P)的掉话率,即切换失败率。如图 8 所示,没有加入 MRO 算法时,M2M 切换失败率比例约为 10.84%,P2M 约为 0.46%;加入 MRO 算法后,M2M 切换失败率约为 6.14%,P2M 约为 0.15%,M2P 和 P2P 切换没有发生。这是由于微基站的功率和覆盖面积远小于宏基站,用户很少移动到 pico BS 覆盖区域,随机分布在 pico BS 的用户也较少,由 pico BS 切换到 macro BS 的发生次数较少而且 P2M 的切换成功率很高,失败率仅为 0.15%;而又因用户快速移动经过 pico BS 覆盖区域时间很短,用户仍连接在信号较好的 macro BS 下,由 macro BS 切换到 pico BS、pico BS 切换到 pico BS 甚至没有发生,对应切换失败率无统计值。

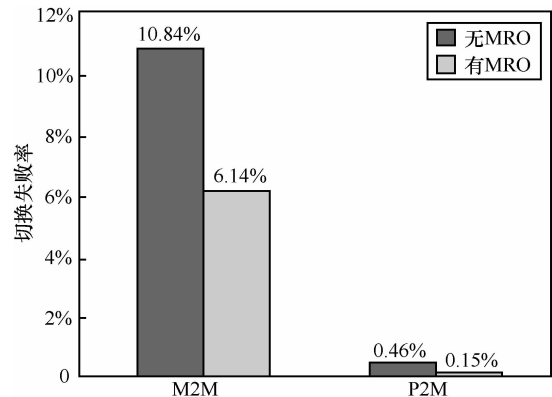


图 8 异构场景中的切换

可见异构场景中,用户掉话绝大部分是 M2M 切换失败引起的,其切换失败率也比另外 3 种切换 (M2P、P2P 和 P2M) 大很多。明显地,加入 MRO 算法后,M2M 和 P2M 切换失败率均大幅降低,其中 M2M 切换失败率降低了约 4.7%,是异构场景切换优化性能增益的最主要部分。所以,异构场景下的切换优化其实主要优化 M2M 切换,优先改善宏基站间切换性能和掉话情况,这点与同构网络类似。

(3) MRO 算法对过晚切换率和过早切换率的影响

从图 9 和图 10 中可以看出,无论在同构场景还是异构场景中,过晚切换率比过早切换率大很多,同构场景中的过晚切换率 (10.7%、5.3%) 远大于过早切换率 (0.2%、0.9%); 异构场景中过晚切换率 (10.2%、5.1%) 远大于过早切换率 (1.1%、1.2%)。原因是用户过早切换时,目标小区由于信号较弱无法与 UE 进行同步,UE 会重新与源小区同步,但不会掉话,只会引起切换失败;而对于过晚切换,因为目标基站的信号质量较好,同步成功几率很高,但掉话率会较高。这里,MRO 算法主要考虑过晚和过早切换的影响,因为乒乓切换率过低,优化效果不突出,因此此处不做统计分析。

从仿真结果明显发现,MRO 算法对过晚切换的优化

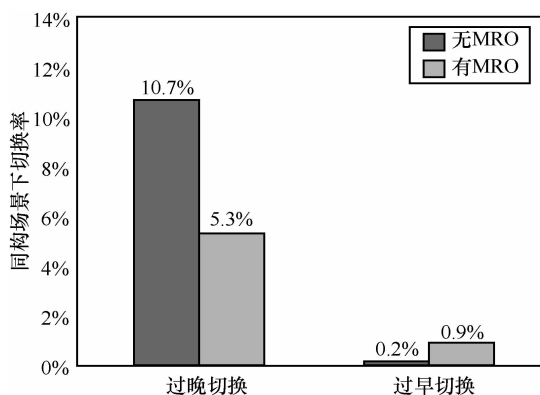


图9 同构场景下过晚切换率和过早切换率对比

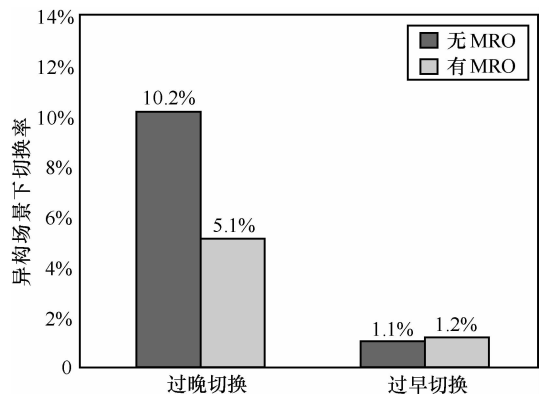


图10 异构场景下过晚切换率和过早切换率对比

效果远大于过早切换,同构和异构场景中的过晚切换率分别降低 5.4% 和 5.1%,而过早切换率均稍有增加。这是由于用户快速移动过程中信道条件变化较快,而切换参数设置偏大,源小区信号质量相比目标小区较差,但还没有满足切换条件,大部分用户发生过晚切换,导致 UE 发生掉话; MRO 算法主要是对过晚切换率多大于过早切换率的情况进行参数优化调整,适当调整降低切换参数 (TTT 、 HOM) 使过晚切换率大大降低而过早切换率略有上升,总体上大幅降低了用户掉话率,整体性能取得明显的增益。

5 结束语

本文针对 LTE-Advanced 蜂窝网络移动顽健性问题提出了综合考虑切换事件和切换场景的 MRO 算法,给出了同构和异构网络下的用户掉话率等性能的改善方案。仿真结果表明:加入 MRO 算法,整体用户掉话率都大幅降低,同构和异构网络下的性能均有 40%~50% 的相对增益,带来了系统移动顽健性的大幅提高,降低了用户通信中断时间和数据丢失,用户体验质量得到了有效保障,很有实际意义。

本文的切换自优化方案,有效地克服了以前移动切换方案中很少考虑用户体验品质、移动顽健性差的缺点。本文的仿真场景设置经过了简化,实际网络部署中的切换问题将更加复杂^[7]。为进一步提高完善目前移动通信网络的整体性能,SON 的自优化进程仍有很多地方值得突破、提高。

参考文献

- Peng M G, Ding Z G, Zhou Y Q. Advanced self-organizing technologies over distributed wireless networks. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2012
- 3GPP TR 36.839. Mobility Enhancements in Heterogeneous Networks, 2012
- 金圣晓,陈琛,胡宏林.异构网中移动顽健性优化技术仿真研究.中兴通讯技术,2013(2):21~25
- David L P, Ismail G, Chu X L. Mobility management challenges in 3GPP heterogeneous networks. IEEE Communications Magazine, 2012,50(12):70~78
- Feng C J, Ji X D, Peng M G. Handover parameter optimization in self-organizing network. ICCTA 2011, Beijing, China, 2011: 500~504
- 3GPP TR 36.814. Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, 2011
- 魏焱,彭木根,王文博. IMT-Advanced 系统的网络自组织协议流程和技术性能.电信科学,2011,27(4):30~36

(下转第 112 页)