LTE 中一种基于负载均衡的自优化切换算法

刘 俊[1],张 博[2],谭盛彪[2],李 云[2]
(1.重庆邮电大学数理学院,重庆 400065;2.重庆邮电大学无线网络技术研究所,重庆 400065)

摘 要: 在 3GPP LTE 自组织网络(SON)中,面向整体切换性能的自优化算法明显优于面向个别性能的算法.本文针对 EWPHPO 算法无法对小区负载进行动态调整,也无法对单个过载小区的切换参数进行及时调整,从而导致掉话率等指标不能得到有效控制的问题,提出了兼顾整体切换性能和负载均衡的 WPLBHO 算法.通过仿真并与 EWPHPO 算法在相同环境下的仿真结果进行比较,我们的算法在保持切换失败率基本不变的情况下,使掉话率降低约 20%、乒乓效应降低约 5%,从而使系统整体切换性能(HP)提升约 25%;同时,使系统平均过载时间下降近 50%.因此我们的算法使系统整体性能得到了明显改善.

关键词: 长期演进;自优化;切换;负载均衡
中图分类号: TN911.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013) 11-2144-05
电子学报 URL: http://www.ejournal.org.cn **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.11.005

A Self-Optimization Handover Algorithm Based on Load Balancing for LTE Networks

LIU Jun[1], ZHANG Bo[2], TAN Sheng-biao[2], LI Yun[2]
(1. *College of Mathematics and Physics, Chongqing University of Post and Telecommunications, Chongqing* 400065, *China*;
2. *Wireless Network Technology Laboratory, Chongqing University of Post and Telecommunications, Chongqing* 400065, *China*)

Abstract: In the self-organizing network (SON) of 3GPP LTE, the algorithms dynamically adjusting many parameters together are better than those adjusting only one parameter. EWPHPO algorithm can not dynamically adjust the handover parameters and the load of the individual cell timely, which causes the dropping probability not to be controlled effectively. In this paper, the WPLBHO algorithm was suggested to improve the EWPHPO algorithm in order to solve these problems. The numerical results were given and compared with those from the EWPHPO algorithm under the same simulation conditions. It is shown that the dropping probability and the ping-pang ratio decrease about 20% and 5%, respectively, but the handoff failure rate hardly vary. Then the total performance of the system increases about 25%. On the other hand, the average load time decreases about 50%. These show that the total performance of the system is evidently improved through our algorithm.

Key words: long term evolution(LTE); self-optimization; handover load balance

1 引言

3GPP LTE(Long Term Evolution)项目是 3G 的演进[1],这种以 OFDM(正交频分复用)为核心的技术使蜂窝系统性能得到大幅度提升[2].移动运营商在网络标准化阶段为节约成本又提出 SON[3](Self-organizing Network)的概念,LTE 切换自优化是 SON 概念中的重要组成部分[4,5].系统掉话率、切换失败率以及乒乓效应发生概率是切换过程中重要的性能指标,自优化的目的是使这三个参数尽量减小,但不当的切换参数选择会使其增加[6].同时,如果过多用户切换到相同小区,使小区发生过载,同样会导致以上性能指标的明显增加.

由于不同系统性能指标总是相互关联或影响,最佳的设计角度应从系统整体性能出发,有侧重地降低一些能够降低系统通话质量的指标.文献[7]中提出切换参数优化的加权性能提升算法(Enhanced Weighted Performance Based Handover Parameter Optimization Algorithm,以下简称 EWPHPO).该算法是多性能优化机制,从系统整体角度出发,规定优化区域包括若干小区,可以根据不同的系统需求,设置参数门限,动态调整切换参数,降低

收稿日期:2013-01-04;修回日期:2013-05-10;责任编辑:马兰英
基金项目:国家自然科学基金(No.61071118,No.60702055);重庆市自然科学基金(No.cstcjjA40039,No.cstc2010BB4405)

掉话率、切换失败率及乒乓效应发生率.但 EWPHPO 有明显的缺陷,比如在个别小区发生过载时,如果系统还是从整体性能指标出发,就不能对该小区进行负载调整,该小区有限的系统资源无法满足大量的用户需求,造成掉话率的升高以及切换失败次数的增加,而邻近小区可能存在资源的空闲,造成资源浪费.

基于以上原因,本文在 EWPHPO 算法基础上,提出基于负载均衡机制的切换自优化算法——WPLBHO (Weighted Performance Algorithm Based on Load Balance for Handover Optimization)算法,兼顾整体和各优化小区的实际负载情况,达到进一步更优化的目的.

2　系统性能指标

在切换过程中,如果目标 eNB(演进型 NodeB, Evolved NodeB)信号质量发生变化,即 SINR(信干噪比, Signal to Interference plus Noise Ratio)低于最低要求,使用户无法接入目标 eNB,就会造成切换失败(HOF).通信环境的变化或者发生过早或过晚切换会导致上述现象,当切换失败发生时,用户会尝试接回源 eNB.如果无法回接,则又会造成用户的掉话(RLF).如果两个 eNB 之间迟滞因子太小或者信号强度不稳定又会造成用户在两个 eNB 之间的反复切换,即乒乓效应(HPP).乒乓效应也是导致系统掉话率升高的重要原因之一[8].

掉话是指无线链路连接失败引起的通话终止,是衡量系统切换性能的重要指标,如何降低掉话率一直是各种优化方案的首要目标.引起掉话的原因很多,比如信号强度因为环境原因不能满足通信需要,切换过程中发生回切失败等,在这里只讨论由于切换所引起的掉话.通常我们用以下公式计算上述系统性能指标,其中切换失败数包括过早、过晚切换发生的掉话次数和切换过程因系统资源不能满足接入发生的回切数,乒乓切换的判定是根据在判定时间内是否发生回切,后文仿真涉及到的判定时间为 5s,系统整体切换性能 HP(Handover performance)如下:

$$HP=\frac{\omega_{RLF}\dfrac{\text{掉话次数}}{\text{通话接通次数}}+\omega_{HOF}\dfrac{\text{切换失败数}}{\text{切换总数}}+\omega_{HPP}\dfrac{\text{乒乓切换发生数}}{\text{切换总数}}}{\omega_{RLF}+\omega_{HOF}+\omega_{HPP}} \tag{1}$$

其中 ω_{RLF}、ω_{HOF}、ω_{HPP}分别为掉话率,切换失败率,乒乓效应发生概率的加权系数.三者可以根据操作者要求进行配置.通常最侧重的优化指标系数设置为最大,侧重级别较低的指标系数最小,中间级别指标系数为 1.需指出,三个加权系数不能差别过大,如果单纯追求一项的过渡优化,可能会导致其他两项的升高,即使系数较小,会造成 HP 整体上居高不下,不利于系统整体切换性能的改善.以建议值 2、1、0.5 分别对 ω_{RLF}、ω_{HOF}、ω_{HPP}三者进行赋值为例,这种赋值表明优化侧重于降低掉话率,切换失败率可以得到抑制,对降低乒乓效应发生概率要求较低[9].切换失败率,乒乓效应发生率,掉话率三者不仅都和触发时延及迟滞因子密切相关,而且又相互影响.比如降低 TTT(触发时延, Time to trigger)虽然可以减少由过晚切换引起的掉话,但是却可能使乒乓效应发生率升高,导致系统掉话率升高.对三者的优化必须根据不同网络的系统要求进行调整.

在进行优化的同时,还需同时关注整个系统过载时间,长期过载会造成整个系统的性能下降[10],通过统计系统平均过载时间 T_P 来检测系统负载分配情况,本文优化的目标是使系统 HP 能够尽可能降低的同时,使 T_P 尽可能减小.T_P 表达式为:

$$T_P=\frac{\text{系统检测小区整体过载时间}}{\text{检测小区数}} \tag{2}$$

3　WPLBHO 算法

在因 $A3$ 事件发生切换的过程中,迟滞因子(hysteresis)起到减少乒乓切换发生的缓冲作用;触发时延(TTT)在切换过程中决定了切换的时机.EWPHPO 算法中,迟滞因子设置在 0 到 10dB 之间,以步长 0.5dB 进行变化.根据 3GPP 协议规定,共有 16 个参考值:0、0.040、0.064、0.080、0.100、0.128、0.160、0.256、0.320, 0.480、0.512、0.640、1.024、1.280、2.560、5.120s.因此,由迟滞因子和触发时延组成的参数优化选择就有 336 组(以下用 HOP 表示一组组合).如图 1 所示,通过仿真遍历这些组合可以看出,不同 HOP 的组合对整个切换性能 HP 的影响很大,主要原因是由于不同系统间的通信环境是不同的,即使在同一系统下用户移动情况都是时刻改变的[11],TTT 设置过小,会造成系统的过早切换,过大则又会造成过晚切换,而迟滞因子的设置大小又直接影响到乒乓效应的发生情况,图 1 中峰值较高的部分即为 HOP 组合不合理所引起,最优的 HOP 组合往往是在几个HOP之间选择,形成一个HOP的集合,如图1

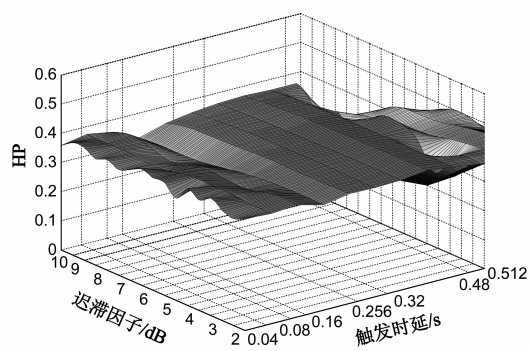

图1　不同HOP组合对系统性能HP的影响仿真结果

中峰值较低区域,动态调整 HOP 使其能够持续保持在这个集合中是本算法的主要思想之一.

如图 2 所示,在 EWPHPO 算法优化过程中 HOP 是不断有方向性更新的,两个参数可以分别按步长 0 或 1 同时进行更新,但必须同方向,目的是找出一组最接近理想的参数组合能使系统的 HP 始终保持减小的趋势,其中更新的路线可能是斜线方式或者折线方式,斜线方式的优点在于对系统的影响较快,但由于起始点的选择可能有偏差导致系统无法达到最优点;折线方式可以遍历整个区域,但是整个优化需要时间过长.为了方便与 EWPHPO 算法进行比较,以下讨论和仿真过程以斜线优化方式为例,初始点为整个待选区域中心点(5,0.32).

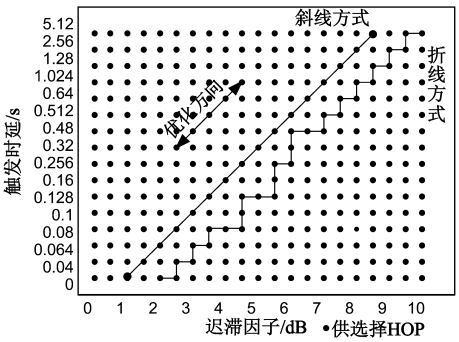

图2 EWPHPO算法HOP优化路径方式

关于方向的选择,如图 3 所示,迟滞因子,触发时延可以分别左右双向选择.选择好初始 HOP 组合后(这里以(5,0.32)为例).HOP 会以向左或向右同向更新,每次更新可以选择两者同时更新一个步长,更新方向会在特定条件下发生改变:依据不断统计 HP 值,当更新后的 HP 值大于前一 HP 值一个百分比时,HOP 更新方向进行改变.这个百分比称为 Performance Degradation Percentage (PDP)[12],即

$$\mathrm{PDP}=\frac{\mathrm{HP_{NEW}}}{\mathrm{HP_{OLD}}} \tag{3}$$

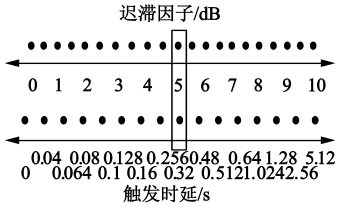

图3 斜线优化方式示意图,中心点(5,0.32)

针对 EWPHPO 算法的缺点,本文提出一种新的优化算法——WPLBHO 算法.在利用 EWPHPO 算法进行切换优化的同时,结合负载均衡算法.不但可以从系统整体角度调整切换参数,而且可以兼顾各小区负载状况,避免因小区过载引起的掉话率和切换失败率的升高.具体算法流程如图 4.

如图 4 所示,优化算法开始后,在规定间隔时间内对各切换性能指标进行采样处理[13],并判断各小区是否过载.若过载,则启动负载均衡算法,开始算法循环计时 COUNTER,如果在计时过程中有三次连续未过载,即 NEVER_OVERLOAD_COUNTER = 3,则结束负载均衡算法.

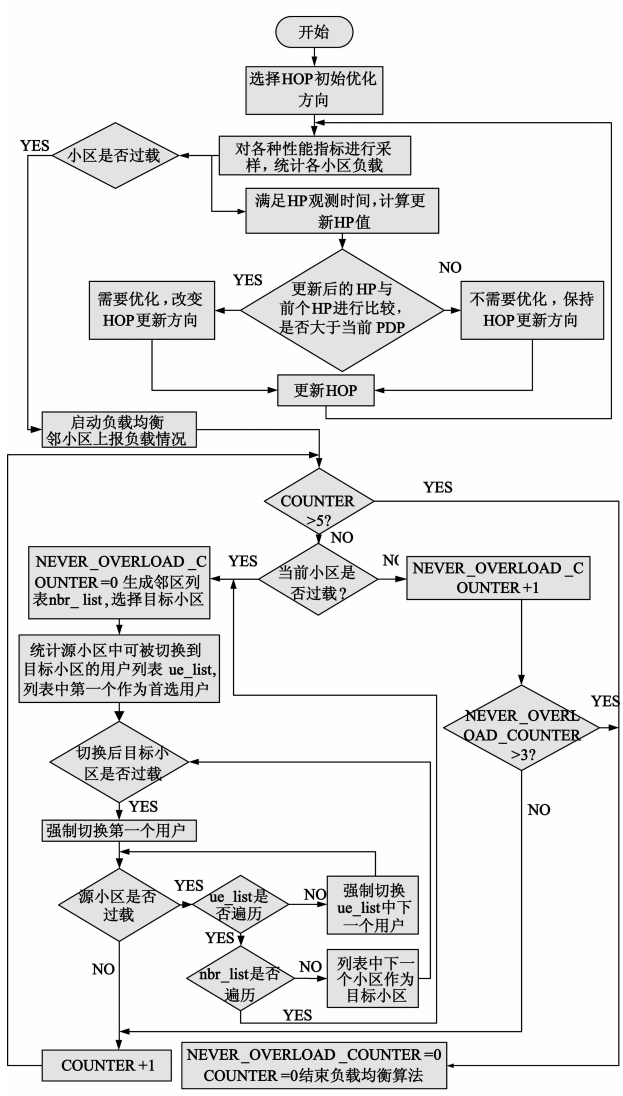

图4 WPLBHO算法流程图

在负载均衡算法中,首先统计过载小区的邻近小区负载情况生成列表 nbr_list[14,15],取负载最小的邻近小区作为目标小区,然后统计可切换到该目标小区的用户列表 ue_list,取接收信号功率最佳的 ue 作为首选切换用户进行切换,结束后重新检测源小区负载情况,如果继续过载,则从 ue_list 中选择下一个接收信号最佳 ue 进行切换;如果 ue_list 已经遍历,则选择 nbr_list 中下一个负载最小小区作为目标小区,重复上述过程;

如果 nbr_list 已经遍历,则重新统计邻近小区负载情况生成新的 nbr_list,重复上述过程,直到源小区负载低于设计门限,则完成一个 COUNTER 周期.当 COUNTER = 5 时,结束负载均衡算法[16].

在对各小区切换性能指标采样处理后,计算 HP,并与上一周期内 HP 做比较,若大于 PDP%,则改变 HOP 更新方向,否则继续保持原方向进行更新.

4　仿真结果及分析

如图 5 所示,首先建立 19 个 eNB,让 150 个用户在仿真范围内自由移动,在 20s 内取随机时长设定呼叫等待或通话服务时间,每 10s 统计一次 HP 更新值,为方便与文献[7]中 EWPHPO 算法进行比较,ω_{RLF}、ω_{HOF}、ω_{HPP}分别取值 2、1、0.5.初始 HOP 取图 1 中心点(5,0.32),初始 HOP 会影响系统起始性能,但随着优化的继续 HOP 不会影响整个仿真结果.同时统计各小区过载 T_P 时间.

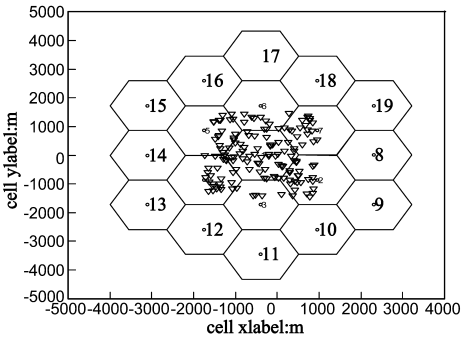

图5　仿真拓扑

设定小区带宽为 5MHz,当呼叫遇到 eNB 资源不足时转为等待状态,当用户接受服务 eNB 的 SINR 小于 -8dB超过 1s 时,判定为掉话;当用户完成切换后 5s 内又切回上一服务 eNB 时,判定为产生乒乓.当各小区负载超过资源块 75% 时判定为过载状态,仿真时间为 1000s,采用 Hata 衰落模型[17].

下面分别用 EWPHPO 算法和 WPLBHO 算法对系统进行优化仿真并比较相应的仿真结果.

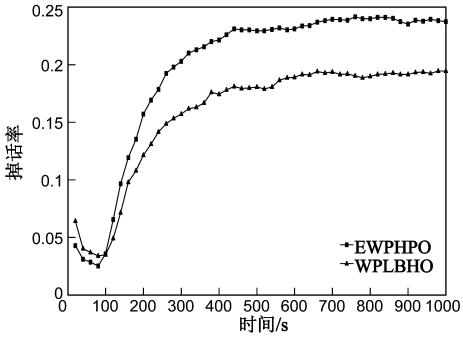

图6　EWPHPO算法和WPLBHO算法对应的掉话率

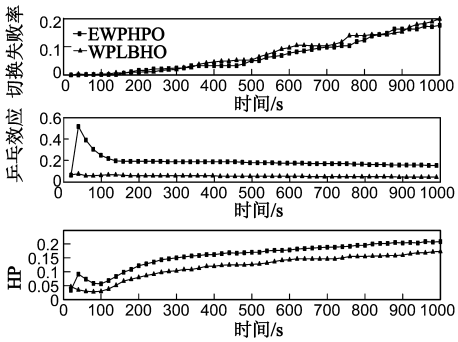

图7　采用EWPHPO算法和WPLBHO算法对应的切换失败率、乒乓效应及HP

由于 ω_{RLF}、ω_{HOF}、ω_{HPP}分别取 2、1、0.5,因此两种算法均侧重考虑掉话率.从图 6 中可以看出,在仿真开始阶段,由于 HOP 初始更新方向不准确,在 WPLBHO 算法下,掉话率前期略高于 EWPHPO 算法,且二者因为初始呼叫用户的过于集中在 1 号小区,无线资源受限导致掉话率分别为 0.04,0.075;当 100s 后,由于负载均衡算法的启动,WPLBHO 算法对应的掉话率明显低于 EWPHPO 算法;400s 后系统吞吐量达到稳定,掉话率开始趋于平稳,且始终低于 EWPHPO;至仿真结束阶段 WPLBHO 算法对应的掉话率约为 0.190,低于 EWPHPO 算法的 0.235 近 20%.这表明掉话率权重系数在 2 附近增大或缩小都不影响优化目的,即系数的可调整性良好.

从图 7,仿真结束时 WPLBHO 算法对应的切换失败率略高于 EWPHPO 算法约 0.025,即基本保持不变;EWPHPO 算法对应的乒乓效应在起始阶段出现一个明显峰值.原因在于仿真初始阶段呼叫用户过于集中造成了用户的接入拥塞,HOP 初始方向的不准确及仿真初始阶段的掉话率,导致了 HOP 更新方向的频繁调整.由于乒乓效应对迟滞因子的取值极为敏感,从而导致了峰值的出现.而 WPLBHO 算法下乒乓效应明显降低约 5%且始终保持平稳,表明 WPLBHO 算法可及时调整过载小区的无线资源且在极端环境下具有更好的稳定性.在实际通信中,一般更强调掉话率的改善,因此这两种算法中掉话率的权重均稍高为 2.综合考虑上述因素,WPLBHO 算法与 EWPHPO 算法相比更能改善系统的整体切换性能.原因在于,由式(1),整个优化仿真阶段的表征整体切换性能的 HP 基本全部低于 EWPHPO 算法.约在 400s 后系统趋于稳定,HP 分别约为 0.16 和 0.12,即优化幅度约为 25%;另一方面,从统计得出的各小区平均过载时间 T_P 来看,EWPHPO 算法下检测的小区内平均过载时间为 85.14s,而 WPLBHO 算法下仅为 43.57s.因此,采用 WPLBHO 算法,系统小区平均过载时间下降了近 50%,极大地优化了系统负载分配,从而提升了系统性能.

5 结论

本文的 WPLBHO 算法在考虑系统整体性能的同时,兼顾了小区负载及其均衡状况.与 EWPHPO 算法相比,WPLBHO 算法在保持系统切换失败率基本不变的情况下,明显降低了掉话率和乒乓发生率,因此使系统整体切换性能指标 HP 下降约 25%,从而明显改善了系统的整体切换性能.同时,基于本算法,系统的平均过载时间下载近 50%.因此,本文提出的 WPLBHO 算法既可明显改善系统的整体切换性能,也能明显降低系统的过载时间,从而明显地改善了系统的整体性能.

参考文献

[1] 刘宝玲,陶小峰,张平.同频分布式 FUTURE TDD 第四代移动通信系统[J].电子学报,2007,35(6A):131 – 135.
Liu B L, Tao X F, Zhang P. Single frequency distributed FUTURE 4G TDD mobile communication system [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(6A): 131 – 135. (in Chinese)

[2] 朱近康.未来移动通信的技术挑战和解决方案 [J].电子学报,2004,32(S1):6 – 10.
Zhu J K. Technical challenge and revolution of future mobile communications [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(S1): 6 – 10. (in Chinese)

[3] 3GPP. TS 32.500, Self-organizing networks (SON) concepts and requirements [S]. 2009.

[4] Hu H L, Zhang J, Zheng X Y. Self-configuration and self-optimization for LTE networks [J]. Communications magazine, IEEE, 2010, 48(2): 94 – 100.

[5] 3GPP. TR36.902, Self-configuring and self- optimizing network use cases and solutions[S]. 2010.

[6] Lin C C, Sandrasegaran K, Reeves S. Handover algorithm with joint processing in LTE-advanced [A]. IEEE 2012 9th ECTI-CON [C]. New York: IEEE Press, 2012. 1 – 4.

[7] Balann I, Jansen T, Sas B, et al. Enhanced weighted performance based handover optimization in LTE [A]. Future Network & Mobile Summit[C]. New York: IEEE Press, 2011. 1 – 8.

[8] 贾宗璞,王红梅,刘淑芬.乒乓切换在移动 IPv6 扩展协议中的性能分析[J].电子学报,2009,37(3):592 – 597.
Wu Z P, Wang H M, Liu S F. Performance analysis of ping-pong handover for mobile IPv6 extensions [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(3): 592 – 597. (in Chinese)

[9] Jansen T, Balan I, Turk J, et al. Handover parameter optimization in LTE self-organizing networks[A]. Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd [C]. New York: IEEE Press, 2010. 1 – 5.

[10] 盛洁,唐良瑞,郝建红.异构无线网络中基于业务转移和接入控制的混合负载均衡[J].电子学报,2012,41(2):321 – 328.
Sheng J, Tang L G, Hao J H. Hybrid load balancing algorithm based on service transformation and admission control in heterogeneous wireless networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 41(2): 321 – 328. (in Chinese)

[11] Cheng M, Fang X, Luo W. Beamforming and positioning-assisted handover scheme for long-term evolution system in high-speed railway [J]. IET Communications, 2012, 6(15): 2335 – 2340.

[12] Balan I M, Sas B, Jansen T, et al. An enhanced weighted performance based handover parameter optimization algorithm for LTE networks [J]. EURASIP Journal on wireless communications and networking, 2011, 2011(1): 98.

[13] 王志国.LTE 中的负载均衡研究[D].北京:北京邮电大学,2011.29 – 32.

[14] Yuan S, Tao L, Win M Z. Neighboring cell search for LTE systems [J]. IEEE transactions on wireless communications, 2012, 11(3): 908 – 919.

[15] Lim J, Hong D. Management of neighbor cell lists and physical cell identifiers in self-organizing heterogeneous networks [J]. Journal of Communications and Networks, 2011, 13(4): 367 – 376.

[16] 梁楚.LTE 系统中负载均衡机制的研究 [D].武汉:武汉邮电科学研究院,2011.28 – 39.

[17] Piro G, Grieco L A, Boggia, et al. Simulating LTE cellular systems: An open-source framework [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(2): 498 – 513.

作者简介

刘 俊 男,1974 年 8 月出生于贵州省毕节市.重庆邮电大学教授、博士、硕士生导师.主要从事物理电子学方面研究.
E-mail: liujun@cqupt.edu.cn

张 博 男,硕士,1986 年 12 月出生于吉林省梅河口市.毕业于重庆邮电大学通信与信息工程学院.主要研究方向为无线网络技术.
E-mail: xuan7xuan_lg@yahoo.com.cn