

# 代价函数权值可变的自适应的速度异构无线网络垂直切换算法

谢显中,肖博仁,马 彬,高 川

(重庆邮电大学宽带接入网络研究所,重庆 400065)

**摘 要:** 利用移动车载终端的测速功能,针对移动 WiMAX 网络支持高速移动的特点,本文提出了一种在异构无线网络中的基于车载终端的代价函数权值可变的自适应垂直切换算法.该算法使用速度自适应策略克服了网络发现阶段采用测量网络的接收信号强度这种固定且单一的网络发现方式带来的缺点,提高了候选网络集更新速度,改进了高速移动用户网络发现的时机;进一步,在切换判决阶段使用代价函数权值可变的垂直切换算法,综合考虑了接入网络和用户的多种属性,选取代价函数值最大的网络为切换的最佳网络.仿真结果表明,本文算法可以有效地提高网络更新速度,降低网络阻塞率,减少切换次数,保证切换的有效性和公平性.

**关键词:** 异构网络;垂直切换;速度自适应;代价函数;权值优化

**中图分类号:** TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 10-2417-05

## Cost Function Weight-Variable and Speed-Adaptive Vertical Handoff Algorithm for a Vehicle Terminal in Heterogeneous Wireless Networks

XIE Xian-zhong, XIAO Bo-ren, MA Bin, GAO Chuan

(Institute of Broadband Access Technologies, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** Considering velocity-measure capabilities of vehicle terminals and high-speed mobile supporting features of WiMAX network, this paper proposes a speed adaptive vertical handoff algorithm with variable weight cost function for a vehicle terminal in heterogeneous networks. The proposed algorithm uses speed adaptive strategy in the discovery phase of vertical handoff, which overcomes the drawbacks of the fixed and single network discovery methods by the received signal strength. Moreover, a cost function weight-variable algorithm is used during handoff decision, which selects the network with the maximum cost function value as the handoff network. Simulation results show that the proposed algorithm can effectively improve the update rate, lower the blocking probability, reduce the switching frequency, ensure effectiveness and fairness of vertical handoff.

**Key words:** heterogeneous network; vertical handoff; speed adaptive; cost function; weights optimization

## 1 引言

智能化交通系统是国家信息化建设的重要组成部分,是一个融合 2G、3G、LTE、WLAN、WiMAX 等多种接入类型的异构通信网络,垂直切换<sup>[1,2]</sup>是保证具有多模通信功能的无线车载终端能够在各种可得到的异构无线网络间无缝移动,从而为用户出行带来实时便捷的交通及通信信息服务.

垂直切换过程一般包括三个阶段:网络发现阶段、切换判决阶段、执行切换阶段,其中前面两个阶段最为关键.网络发现阶段决定目标网络的高效发现和网络扫描的时机选择策略;切换判决阶段的判决算法直接关系到垂直切换的有效性和可靠性,影响用户的服务质量(Quality of Service, QoS)和网络性能.

目前,针对网络发现阶段的研究基本都采用在固定的采样时间内均匀测量网络的接收信号强度(Received Signal Strength, RSS),满足某种条件后将该网络定为目标候选网络,如文献[3]提出的基于固定门限的 RSS 切换算法,缺点是由于用户的高速移动,用户已经进入新的网络,但还未将该网络加入目标网络集的现象,推迟了网络发现的时机,降低了切换效率<sup>[4]</sup>.针对切换判决阶段的算法主要分为四类:(1)用户接收到来自各网络基站的信号强度为参考对象,当信号强度满足某种条件时作出切换决定;(2)基于模糊逻辑的多目标判决算法,结合网络性能和用户特性作出垂直切换判决<sup>[5]</sup>;(3)基于多因素决策的判决算法,根据接入网络的特性、业务类型及移动性等用户特性作出垂直切换判决<sup>[6]</sup>;(4)基于代价函数的垂直切换判决算法,根据各网络的接收

信号强度、网络带宽、用户业务类型、业务的服务费用、连接时延等性能指标来设定代价函数,确定切换的最佳目标网络<sup>[7~9]</sup>.

以上四种方法中,代价函数方法综合考虑了接入网络和移动终端的众多特性,可以较好地保证切换的有效性和可靠性,是目前垂直切换判决算法的主要研究方向.文献[10]给出了一种基于速度感知的垂直切换算法,不需要确切的节点坐标和速度信息,利用接收信号强度的历史测量数据来表征节点运动速度的影响,但是不同无线接入技术在频带、带宽、数据传输时延、覆盖范围和业务的实时性等方面各不相同,仅以网络的信号接收强度为垂直切换判决指标,显然不能保证切换的公平性和有效性.文献[11]将检测与估值方法引入到垂直切换问题中,给出了基于终端决策的自适应预测理论的垂直切换算法,但在切换模型中,移动终端以固定周期接收服务网络和候选网络的信息,对于高速移动的用户,用户已经进入了新的网络却未能及时将该网络加入候选网络集,推迟了网络发现的时机,另外,由于各种网络的最大使用带宽以及为用户提供的可用带宽和允许时延的取值范围均不同,因此,以网络提供的可用带宽和允许时延之和表征接入网络的业务质量,当候选网络业务质量的预测结果高于服务网络的预测结果时就触发切换,不能保证切换的公平性和有效性.

本文以移动 WiMAX 网络和蜂窝网络构成的异构网络为基础,针对两者都支持高速移动的特点,结合移动车载终端的测速功能,提出一种在异构无线网络中的基于车载终端的代价函数权值可变的自适应垂直切换算法,根据用户的移动速度自适应调整网络发现的时机和自适应地更新候选网络集,根据代价判决函数切换到最佳网络.仿真表明,本文算法能高效的更新目标网络集,有效降低网络阻塞率,减少切换的“乒乓效应”,较好地保证了切换的有效性和公平性.

## 2 垂直切换参数

垂直切换参数主要包括:归一化的候选网络带宽、归一化的 RSS、归一化的时延、通信业务的服务费用、用户通信设备功耗等,其定义和含义如下:

由于不同无线网络的最大使用带宽以及为用户提供的可用带宽取值范围均不同,因此,在垂直切换判决过程中,为保证切换的公平性和有效性,将各网络带宽归一化后选择归一化带宽作为目标网络切换判决的带宽参数.根据文献[12]带宽归一化定义为

$$B_{Gi} = \frac{B_{if}}{B_i} \quad (1)$$

其中,  $B_{if}$  为网络  $i$  的可用带宽,  $B_i$  为网络  $i$  的总带宽,

$B_{Gi}$  为网络  $i$  的归一化带宽.

RSS 反映了用户到网络接入点之间的通信链路质量.由于各种无线网络的发射功率和网络的覆盖范围相差较大,导致用户设备接收到来自基站(Base Station, BS)的 RSS 也差别较大.为实现 RSS 公平有效的比较,应根据各网络的接收功率门限和最大发射功率值进行 RSS 的归一化.文献[12]给出了网络  $i$  归一化的 RSS 为

$$S_i = \frac{P_i^c - P_i^{th}}{P_i^{\max} - P_i^{th}} \quad (2)$$

其中,  $S_i$  为网络  $i$  的归一化信号接收强度;  $P_i^c$  为用户从网络  $i$  接收到的当前信号强度;  $P_i^{th}$  为网络  $i$  的功率接受门限;  $P_i^{\max}$  为网络  $i$  中 BS 最大发射信号强度.

不同网络的资源管理机制不同,产生的连接时延也就不同.文献[13]给出了归一化的时延回报函数为

$$D_{Gi} = \begin{cases} 1, & D_i \leq D_{\min} \\ \frac{D_{\max} - D_i}{D_{\max} - D_{\min}}, & D_{\min} < D_i < D_{\max} \\ 0, & D_i \geq D_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $D_i$  为目标网络  $i$  的连接时延;  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$  分别为移动用户连接所允许的最小和最大时延,  $D_{Gi}$  为目标网络  $i$  的归一化连接时延.

通信业务的服务费用是指用户需要为通信服务支付的费用开销,用户在不同的网络中提供类似服务时,会倾向于选择定价更低的网络.

用户设备在不同的网络中进行通信是会消耗不同的功率.在选择目标切换网络时,如果设备功耗作为重要考虑因素,用户将倾向于选择功耗低的网络.

## 3 权值可变的自适应切换算法

### 3.1 车载终端移动速度的测量

考虑到用户无论是在铁路线还是公路线上快速移动,就其整个运动过程而言是变速运动,因此关键是获取移动节点在固定采样周期内的平均速度.

利用车载终端自身的测速功能在周期  $T_s$  内获取  $N$  个瞬时速度样值,对  $N$  个样值的瞬时速度取均值,该均值就是移动节点的平均速度.在工程应用中,  $T_s$  可依情况取值.假设采样周期为  $T_s$ ,则移动节点的平均速度  $\bar{V}$  为

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} V_j, \quad j=0, \dots, N-1 \quad (4)$$

式(4)中,  $V_j$  为移动节点的第  $j$  个样值速度.

### 3.2 网络集更新时间的自适应策略

垂直切换过程中,根据用户的移动速度的快慢调整目标候选网络集的更新时间,给出策略函数为

$$\Delta T = T_{\min} + (T_{\max} - T_{\min})(1 - r)^n \quad (5)$$

式(5)中,  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  分别为移动用户执行垂直切换的最小允许时间和最大允许时间,  $V_{\max}$  为当前服务网络所能支持的移动用户的最大速度值. 时间自适应因子  $r = \bar{V}/V_{\max}$ . 显然,  $0 \leq r \leq 1$ .  $\bar{V}$  是移动用户在采样周期  $T_s$  内的平均速度, 其值由式(4)计算得出.  $n$  是指数因子, 根据实际需要取不同值.

当用户高速移动时, 也就是  $\bar{V}$  越大,  $r$  越大,  $\Delta T$  就越小, 能以较快速度更新目标候选网络集, 避免出现因为用户的高速移动, 用户已经进入新的网络, 但是还未将该网络加入目标网络集的现象, 从而保证移动用户在不同网络间快速无缝移动.

### 3.3 候选网络集的速度自适应更新策略

假设候选网络  $i$  的容量用信道数表示, 该网络下 BS 的总信道数设为  $C_{ii}$ , 已经占用的信道数为  $C_{oi}$ , 移动用户接入所需要的信道数为  $C_m$ .  $R$  为该 BS 的信道占用率, 则  $R = (C_m + C_{oi})/C_{ii}$ .

设  $M$  为允许的最大信道占用率. 用户接收到的候选网络  $i$  的 BS 信号强度为  $RSS_i$ , 候选网络  $i$  的 BS 信号强度门限值为  $RSS_i^{th}$ , 信号强度滞后余量为  $\Delta H_{dB}$ . 候选网络集里能容纳的网络总个数为  $N_i$ , 已经占用的个数为  $N_o$ .

#### (1) 网络扫描机制

移动终端不需要扫描信息的交互就能按时间  $\Delta T$  一直测量当前服务网络和邻区网络 RSS.

#### (2) 加入一个网络到候选网络集

当  $RSS_i \geq RSS_i^{th} + \Delta H_{dB}$ , 且  $N_o < N_i$  时, 则有:

若  $R < M$ , 表明候选网络  $i$  存在空闲信道, 能为用户提供服务, 则允许该网络  $i$  加到候选网络集里.

若  $R \geq M$ , 表明候选网络  $i$  没有空闲信道, 不能为用户提供服务, 则拒绝该网络  $i$  加入候选网络集.

#### (3) 从候选网络集里删除一个网络

即使  $RSS_i \geq RSS_i^{th} + \Delta H_{dB}$ , 但是网络  $i$  的负载过重时, 即  $R > M$ , 那么就从网络集里删除网络  $i$ .

#### (4) 替换候选网络集里的一个网络

当  $RSS_i \geq RSS_i^{th} + \Delta H_{dB}$ , 而且大于候选网络集里信号强度最小的网络的信号强度, 如果候选网络集里网络个数已满, 就根据策略(2)进行替换.

### 3.4 权值可变的代价函数切换判决算法

现有的基于代价函数的垂直切换算法多采用固定权值, 本文给出一种权值可变的垂直切换算法代价函数, 描述为

$$C = \sum_i (C_B B_{Gi} + C_S S_i + \frac{C_D}{D_i} + \frac{C_C}{C_i} + \frac{C_p}{p_i}) \quad (6)$$

式(6)中:  $B_{Gi}$ ,  $S_i$ ,  $D_i$ ,  $C_i$ ,  $p_i$  分别为第  $i$  个网络的归一化带宽、归一化信号接收强度、归一化连接时延、通信服

务费用、用户设备功耗;  $C_B$ ,  $C_S$ ,  $C_D$ ,  $C_C$ ,  $C_p$  分别为上述各参数的权值.

式(6)中各权值的具体确定, 可以根据不同网络和用户的业务特性, 结合模糊逻辑理论得到优化权值. 具体方法: 将参数  $B_{Gi}$ ,  $S_i$ ,  $D_i$ ,  $C_i$ ,  $p_i$  经过模糊器后得到的模糊逻辑量定义为低(L)、中(M)、高(H)三种级别, 对应每个参数的权值定义为低(L)、中(M)、高(H)三种级别. 如将网络  $i$  的归一化带宽  $B_{Gi}$  的模糊逻辑量分为高带宽、中带宽、低带宽, 则该网络的归一化带宽  $B_{Gi}$  的权值就对应应有高权值( $C_{BH}$ )、中权值( $C_{BM}$ )、低权值( $C_{BL}$ ), 假如归一化带宽  $B_{Gi}$  经过模糊器后得到的逻辑量级别为高带宽, 则该参数的权值就选取为高权值( $C_{BH}$ ), 其他参数权值的确定类似.

图 1 是基于模糊逻辑理论的权值优化的代价函数判决法的模型原理图. 根据算法代价函数(6)和上述权值的优化确定方法, 用户可计算出目标候选网络集里的各个网络的代价函数值  $C$ , 选取代价函数值  $C$  最大的网络作为切换的最佳目标网络.

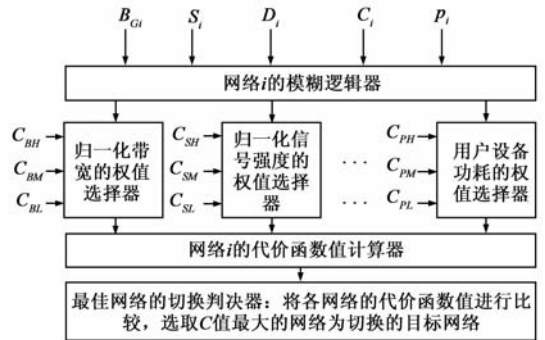


图1 权值优化的代价函数判决法的模型图

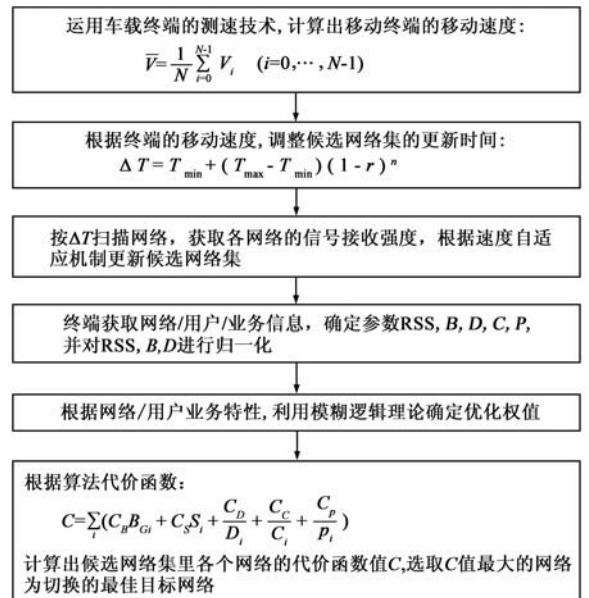


图2 垂直切换算法流程图

归纳本文提出的基于车载终端的权值可变的垂直自适应的垂直切换算法,图2是其实现流程图。

### 4 性能仿真及参数分析

本文以移动 WiMAX、TD-SCDMA 和 WCDMA 构成的异构网络为网络模型,使用 NS-2 和 matlab 联合仿真评估车载终端从当前 WiMAX 服务网络沿移动 WiMAX、TD-SCDMA 和 WCDMA 网络构成的混合网络的圆形边界作变速运动过程中的垂直切换性能,网络拓扑结构如图3所示,所有节点设置在区域  $2000 \times 2000m^2$ .垂直切换过程的状态转换如图4所示。

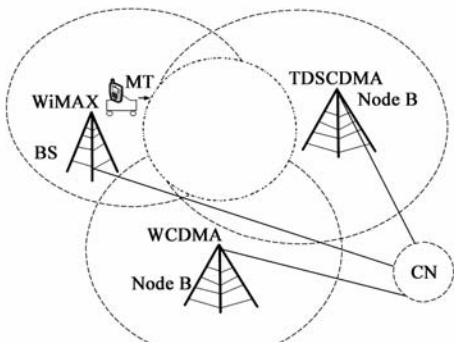


图3 异构网络环境

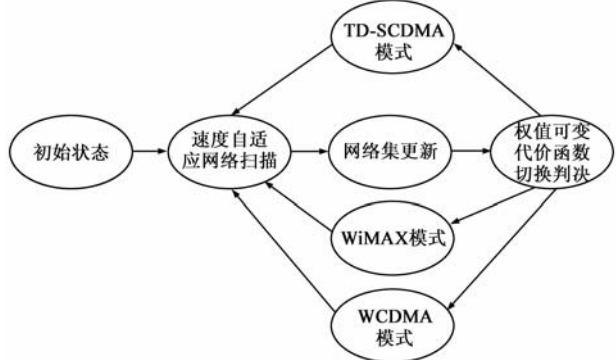


图4 垂直切换过程的状态转换图

TD-SCDMA 和 WCDMA 的覆盖半径是 700m, WiMAX 的 BS 的覆盖半径是 500m, 在 CN 与 MN 之间建立 UDP 连接, 并在其上建立一个恒定比特速率的数据流, 每个包的大小为 1000Byte. 将本文提出的切换算法与传统的基于固定门限的 RSS 切换算法 (F-RSS) 进行比较, 仿真分析了影响算法性能的三个指标: 网络集更新速度的提高率、切换次数和网络阻塞率。

#### 4.1 网络集更新速度的提高率分析

依据 802.16e 标准, 适当设置了当前 WiMAX 服务网络的参数  $T_{max}, T_{min}, V_{max}, D_{min}, D_{max}$ , 利用 Matlab 仿真对比分析了本文算法和固定门限的 RSS 算法的网络集更新速度的提高随移动速度  $V$  和指数  $n$  之间的关系。

图5曲线4表明, 固定门限的 RSS 切换算法是以固

定周期扫描来发现网络, 其网络更新速度不会随终端移动速度的变化而变化. 而本文算法在网络发现阶段能随终端移动速度自适应地快速发现网络, 图5曲线1、2、3表明, 随着用户移动速度的加快, 时间自适应因子  $r$  增大, 目标候选网络集的更新速度加快. 另外, 当用户移动速度一定时, 随着指数  $n$  增大, 网络集更新速度也随之加快. 图5中曲线1、2、3的  $n$  值分别取 8、3、2.

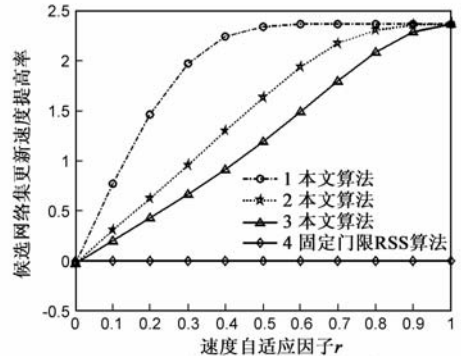


图5 网络集更新速度的提高率

#### 4.2 切换次数分析

设定  $RSS_i^{th} = -80dB, \Delta H_{dB} = 10dB$ , 切换过渡区为 100m 内。

如图6所示, 1表示移动终端在 WiMAX 网络中进行业务服务, 2表示移动终端在 WCDMA 网络中接收业务服务, -1表示在移动终端在 TD-SCDMA 网络中接收服务. 设定图3中圆形边界的每段弧线“- · -”为 100m, 起始位置为零. 图6表明, 固定门限的 RSS 切换算法在过渡区切换频繁, 在 WiMAX 与 TD-SCDMA 网络过渡区发生了3次切换, 在 TD-SCDMA 与 WCDMA 网络过渡区发生了4次切换, 在 WiMAX 与 WCDMA 网络过渡区发生了5次切换; 而本文算法综合考虑了接入网络、用户和业务的多种属性后做出切换, 能够有效地减少不必要的切换次数, 避免了频繁切换的“乒乓效应”, 但切换发生在固定门限的 RSS 切换算法的最后一次切换之后, 在圆形边界 350m 左右的位置, 所以本文算法带来了一定的切换延时。

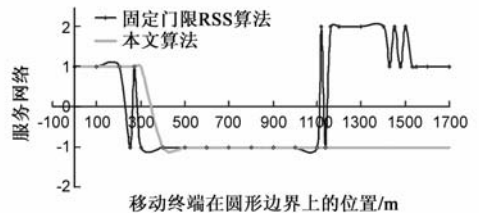


图6 切换次数

#### 4.3 网络阻塞率分析

由图7可以看出, 由于固定门限的 RSS 切换算法在过渡区切换过于频繁, 故而系统的负载加重, 使得网络阻塞率较高. 而本文提出的算法在切换判决现阶段综

合考虑了接入网络和用户的多种属性,减少了不必要的切换,较好地保证切换的有效性和公平性,很好地抑制了“乒乓效应”,从而使得阻塞率有一定的改善。

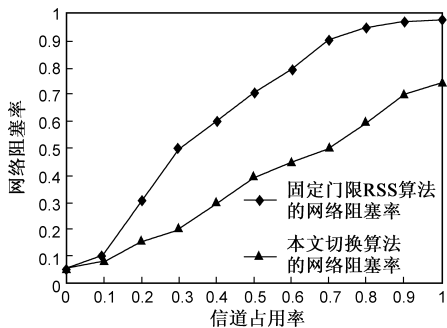


图7 WiMAX切换到TDSCDMA的网络阻塞率

## 5 结束语

下一代异构无线通信网络融合了 2G、3G、LTE、WLAN、WiMAX 等多种类型的接入网络,为了实现异构无线网络间的无缝移动技术,本文提出了一种在异构无线网络中的基于车载终端的代价函数权值可变的自适应垂直切换算法,对于无线通信网络应用于智能化交通系统具有现实意义.该算法根据用户的移动速度自适应地更新候选网络集,根据目标判决函数切换到最佳网络.仿真表明,该算法提高了网络集的更新速度,在保证切换的公平性和有效性的前提下,提高了切换的性能。

## 参考文献

[1] Steem M, Katz R. Vertical handoffs in wireless overlay networks[J]. *Mobile Networks and Applications*, 1998, 3(4): 335 - 350.

[2] Hongyan Bing, Cheng He, Lingge Jiang. Performance analysis of vertical handoff strategy for heterogeneous overlay network [J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2004, 13(4): 623 - 628.

[3] Zhang N, Holtzman J M. Analysis of handoff algorithms using both absolute and relative threshold [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1996, 45(1): 174 - 179.

[4] LIU M, et al. Performance analysis and optimization of handoff algorithms in heterogeneous wireless networks [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2008, 7(7): 846 - 857.

[5] 刘侠, 蒋铃鸽, 何晨. 一种基于模糊逻辑的预判决辅助垂直切换算法 [J]. *电子学报*, 2007, 35(10): 1989 - 1993.

LIU Xia, et al. A novel vertical handoff algorithm based on fuzzy logic in aid of pre-decision method [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, 35(10): 1989 - 1993. (in Chinese)

[6] ZHANG Q, GUO C X, et al. Efficient mobility management for vertical handoff between WWAN and WLAN [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2003, 41(11): 102 - 108.

[7] YANG K, GONDAL I, QIU B. Multidimensional adaptive SINR based vertical handoff for heterogeneous wireless networks [J]. *IEEE Communication Letters*, 2008, 12(6): 438 - 440.

[8] LEE S Y, SRIRAM K. Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(2): 865 - 881.

[9] 刘敏, 李忠诚, 等. 基于运动趋势的自适应垂直切换算法及其性能评价 [J]. *计算机学报*, 2008, 31(1): 112 - 119.

LIU Min, LI Zhong-Cheng, et al. A movement trend based self-adaptive vertical handoff algorithm and its performance evaluation [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2008, 31(1): 112 - 119. (in Chinese)

[10] 刘敏, 李忠诚, 过晓冰. 一种基于速度感知的垂直切换算法 [J]. *电子学报*, 2008, 36(6): 1198 - 1201.

LIU Min, LI Zhong-cheng, GUO Xiao-bing. A speed sensitive vertical handoff algorithm [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2008, 36(6): 1198 - 1201. (in Chinese)

[11] 孙岩, 马华东. 一种基于终端决策的自适应垂直切换算法 [J]. *铁道学报*, 2006, 28(6): 59 - 63.

SUN Yan, MA Hua-dong. A terminal-decision based adaptive vertical handoff algorithm [J]. *Journal of the China Railway Society*, 2006, 28(6): 59 - 63. (in Chinese)

[12] SHEN W, ZENG Q A. Cost-function-based network selection strategy in integrated wireless and mobile networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(6): 3778 - 3788.

[13] SONG W, ZHUANG W H, CHENG Y. Load balancing for cellular/WLAN integrated networks [J]. *IEEE Network*, 2007, 21(1): 27 - 33.

[14] 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.

JIA Zong-pu, WANG Hong-mei, et al. Performance analysis of ping-pong handover for mobile IPv6 extensions [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2009, 37(3): 592 - 597. (in Chinese)

## 作者简介



谢显中 男, 1966 年出生, 四川人. 博士, 重庆邮电大学教授, 主要研究方向为移动通信技术、通信信号处理.

E-mail: xiexianzhong\_cn@gmail.com

肖博仁 男, 1976 年 4 月出生, 江西赣州人. 重庆邮电大学硕士研究生. 主要研究方向为个人通信.

E-mail: lxr7698@163.com