

基于加速度预测的异构网络切换算法^①

王良鸿¹, 郑华^{1,2,3,4}, 陈由甲^{1,2,3,4}, 陈顺凡^{1,2,3,4}, 陈荣¹, 余自锋¹

¹(福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)

²(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

³(福建师范大学 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007)

⁴(福建师范大学 智能光电系统工程研究中心, 福州 350007)

摘要: 本文为高速移动终端提供一种基于加速度预测的异构网络垂直切换算法, 使用场景如高速公路的直线路段. 利用加速度预测算法得到下一采样时刻的速度, 将预测速度与采样时间相乘得到终端运动距离, 然后将所得到的运动距离与当前终端的位置进行矢量叠加得到下一时刻的位置. 最后利用距离与信号强度之间的关系分别对下一采样时刻的WIMAX网络和LTE网络的信号强度进行预测. 根据预测到的信号强度, 结合经典的基于驻留时间和迟滞电平算法, 提出了一种有效解决乒乓效应和切换延时的异构网络切换算法. 通过实验可得, 相比较于传统基于驻留时间算法, 本算法在保证信号强度可靠的前提下, 能减少约10%切换的次数, 并降低切换延时.

关键词: 异构网络; 加速度预测; LTE; WIMAX; 切换次数; 切换延时

Vertical Handover Algorithm Based on Acceleration Prediction within Heterogeneous Network

WANG Liang-Hong¹, ZHENG Hua^{1,2,3,4}, CHEN You-Jia^{1,2,3,4}, CHEN Shun-Fan^{1,2,3,4}, CHEN Rong¹, YU Zi-Feng¹

¹(School of Electronic College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

²(Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

³(Fujian Provincial Key Laboratory for Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

⁴(Intelligent Optoelectronic Systems Research Centre, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In this paper, we proposed a vertical handover algorithm based on speed prediction for high-mobility users, such as the scenario of the highway. The algorithm predicts the RSS(received signal strength) of WIMAX and LTE networks in the next time based on the velocity obtained by APA(acceleration prediction algorithm). Velocities are predicted by APA. Then velocities multiply their timeslots to get moving distance respectively. Then current positions are added with moving distances, thus gets next time's positions. Finally distance between AP (access point)and MN(moving node) are calculated by the relationship between distance and present RSS. In the end, the next time's RSS are predicted. Then an effective handover algorithm is proposed using the predicted RSS aiming to reduce the handover times and shorten handover latency. The simulations results indicate that, the proposed algorithm can reduce about 10% handover times and reduce handover latency with sufficient RSS is guaranteed in communication, comparing to the traditional dwell time algorithm.

Key words: heterogeneous network; acceleration prediction; LTE; WIMAX; handover times; latency

当汽车在高速公路上向远离当前连接基站方向行驶时, 由于终端的高速移动, 导致接收到的信号强度急剧下降, 当接收到的信号强度下降到一定程度的时候, 就会出现通信中断. 然后终端等待下一个目标基站的出现, 根据信号强度或者其他的判断因素进行判

决, 并决定是否连接目标基站. 影响连接质量最主要的因素来源于信号强度的下降, 带宽不足, 较高的负载等等. 当前人们了解比较多的无线网络是蜂窝网络(4G,3G,2G)和无线局域网(WLAN). 但是在高速运动的场景下, WLAN显然不适合, WIMAX网络理论上最高

① 收稿时间:2015-10-10;收到修改稿时间:2015-12-03 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005213]

可以支持终端移动速度为 200km/h^[1]。所以本文基于蜂窝网络(LTE)和 WIMAX 网络进行仿真研究。选择笔直高速公路的场景进行仿真的原因是高速公路直线路段限制了速度随机性和方向的随机性,为研究提供方便。

随着通信技术的不断完善和发展,各种各样无线接入技术的产生,丰富了人们的生活。但是由于接口的不同,必然会带来切换问题。切换带来的影响主要有乒乓效应^[2,3]和通信的连续性。当前的切换主要分为两大类,一类称为水平切换,这类的切换主要发生在同类的基站中,例如用户在各个蜂窝网络之间进行的切换;另外一类称为垂直切换^[4],也就是本文所研究的切换方式,该种切换主要是存在于异构网络中。蜂窝网络和 WIMAX 网络这两种不同网络之间的切换就属于一种垂直切换。而我们生活中 WLAN 网络和蜂窝网络之间的切换也是一种常见的垂直切换。当前的垂直切换算法可以分为四大类^[5]:第一,基于信号强度切换算法^[2,3,4,6,7];第二,基于代价函数的切换算法^[8];第三,基于层次分析法^[9];第四,基于神经网络的切换算法^[10]。后三种方法主要的缺点是计算复杂,计算所需要的时间也相对较多,不适合在高速运动的场景下应用,因此本文采用第一种方法。虽然第一种方法考虑的影响因素比较少,信号强度在网络切换中占有较大的比重,但是切换判决的实时性好,因此本文选择基于信号强度进行切换。在文献[2,3]中,作者为了减少乒乓效应,分别提出了基于驻留时间和基于驻留时间算法,但是作者在提出该方法时带有强烈的主观性,现实意义不大。在文献[7]中提出了基于位置信息预测的异构网络切换,作者利用用户的历史位置信息并结合当前的速度对下一时刻的位置信息进行预测,然后通过信号强度进行切换判决。在文献[11]中,作者提出一个新的数学模型,利用边角关系对用户的目标网络的运行时间进行预测,然后将得到的运行时间与切换延时作比较得到网络切换的判决结果。上述文献中,都没有对终端速度的变化有一个很准确的分析,有的只谈论到趋势,带有强烈的主观性;有的则是直接将速度限定在一个固定值,不能反映实际的运动场景。

本文在高速运动场景下,提出了一种基于加速度预测的异构网络切换算法。首先,通过预测终端下一采样时刻的加速度来得到速度,然后将速度与采样时间进行相乘得到下一时刻的移动距离,将其与终端当

前的坐标做矢量叠加得到下一时刻的坐标,即可求得基站与终端的距离,从而预测信号的强度,最后结合信号强度算法进行提前判决。

文章中假定信号强度能在极短的时间内被用户检测到,并且用户的位置能够快速通过 GPS 定位。

1 基于加速度预测的垂直切换算法

1.1 加速度与速度的预测

本文使用的加速度预测算法是基于文献[12]的改进,该算法能够对行驶于高速公路直线路段的终端速度有很好的预测,所以借鉴该方法对模型中的速度进行预测。我们假设期望速度为 80km/h,期望的加速度为 0.15-0.5m/s²。

首先,如下定义加速度^[12]:

$$a = a_{\min} - (a_{\max} - a_{\min})[1 - v/v_e] \quad (1)$$

a 是当前路段的加速度, a_{\min} 是当前路段最小的加速度, a_{\max} 是最大加速度, v 代表当前的速度, v_e 表示在此高速公路上的期望速度。

对上述公式进一步的推导,可以得到如下公式:

$$a = a_{\max} - (a_{\max} - a_{\min})[1 - v/v_e] \quad (2)$$

这里将速度看成是即时速度,用 $v(t)$ 表示。然后令 $k = (a_{\max} - a_{\min})/v_e$ 。则有:

$$a(t) = a_{\min} + (a_{\max} - a_{\min})v(t)/v_e \quad (3)$$

$$\text{即 } v'(t) = a_{\min} + kv(t) \quad (4)$$

对式子(4)解微分方程得到 $v(t)$ 如下:

$$v(t) = \left(\frac{a_{\max}}{k} \right) + ce^{-kt} \quad (5)$$

$$c = \frac{v_0 a_{\min} + (v_e - v_0) a_{\max}}{a_{\max} - a_{\min}} \quad (6)$$

(c 为解微分方程得到的常数)

所以即时加速度可以表示为:

$$a(t) = \left[a_{\max} - \frac{(a_{\max} - a_{\min})v_0}{v_e} \right] e^{-kt} \quad (7)$$

令 $k_0 = a_{\max} - \frac{(a_{\max} - a_{\min})v_0}{v_e} * e^{-kt}$, 通过进一步

演算可以得到下面更加简单的表达式:

$$v(t) = v_0 + k_0 * t \quad (8)$$

从公式(8)可知,如果我们已知初速度和时间我们就可以对下一时刻的速度进行预测。

1.2 位置的预测与终端信号强度的预测

利用预测的速度乘以采样时间可以得到下一时刻终端的移动距离。设当前的位置坐标表示为 $L_n(x_n, y_n)$, 下

一个时刻的位置坐标为 $L_i(x_i, y_i)$ 。以开始运动时的位置为坐标原点, 设 WIMAX 基站坐标为(1, 0)(单位 km), LTE 基站坐标为(2, 0.5)(单位 km)。向左运动规定为正方向, 向右运动规定为负方向, 因此移动终端的位置坐标可以用公式(9)^[13]表示, 其中 t 为采样时间; 终端到 WIMAX 基站的距离 D_i 可用公式(10)表示。

$$L_i=(x_i, y_i)=(x_n \pm v(t)/1000 * t, y_n) \quad (9)$$

$$D_i = \sqrt{(x_i - 1)^2 + (y_i - 0)^2} \quad (10)$$

根据信号强度的计算公式, 考虑到快速衰落效应^[17], 得到预测的信号强度公式^[18]如下所示:

$$RSSW_{n+1} = P_w - W_p \quad (11)$$

其中 P_w 代表传输的功率; L_{wp} 表示自由空间的信号损失, 可由公式(12)表示:

$$L_{wp} = 32.5 + 20 \log f_w + 20 \log D_i \quad (12)$$

其中, f_w 为信道的中心频率; D_i 是下一时刻终端与 WIMAX 基站之间的距离; $RSSW_{n+1}$ 代表终端下一时刻接收到 WIMAX 网络的信号强度。

1.3 切换决策与分析

传统的基于驻留时间算法的中心思想是设置一个时间阈值 T_{th} , 比较当前连接网络信号强度($RSS_{当前}$)和目标网络信号强度($RSS_{目标}$), 当 $RSS_{目标} > RSS_{当前}$ 时开始计时, 等到 $T > T_{th}$, 且 $RSS_{目标} > RSS_{当前}$ 仍然成立时进行切换^[2], 否则不切换。该算法在一定程度上减小了切换的次数, 但是增加了切换延时。因为终端需要在设定的时间内才做出切换的判决, 要是速度快的终端, 长延时会造成通信中断现象。所以针对这个问题本文做出了如下改进:

结合了基于驻留时间和基于迟滞电平算法。当 $RSS_{wimax} \geq RSS_{LTE}$ 时 (RSS_{wimax} 代表接收到的 WIMAX 网络信号强度, RSS_{LTE} 代表接收到的 LTE 网络信号强度), 开始计时。 RSS_{pre_WIM} (RSS_{pre_WIM} 代表预测的接收到的 WIMAX 信号强度) 由加速度预测算法得到。然后比较 RSS_{pre_WIM} 与 RSS_{in} (RSS_{in} 代表由 LTE 网络切换到 WIMAX 网络的信号强度阈值), 如果 RSS_{in} 小于 RSS_{pre_WIM} , 则进行切换, 否则在下次采样再进行这一项操作, 然后让 $T=T+1$, 直到 T 大于 T_{th} , 并且 RSS_{pre_WIM} 大于 RSS_{LTE} 时, 才进行切换的操作。反之, 如果终端由 WIMAX 网络切换到 LTE 网络时, 唯一不同的是比较 RSS_{pre_WIM} 与 RSS_{out} 的大小, 当 $RSS_{pre_WIM} < RSS_{out}$ 时, 则进行切换。否则继续上面的步骤。

根据上述可以得到基于加速度预测的异构网络切换算法流程图, 如图 1 所示。

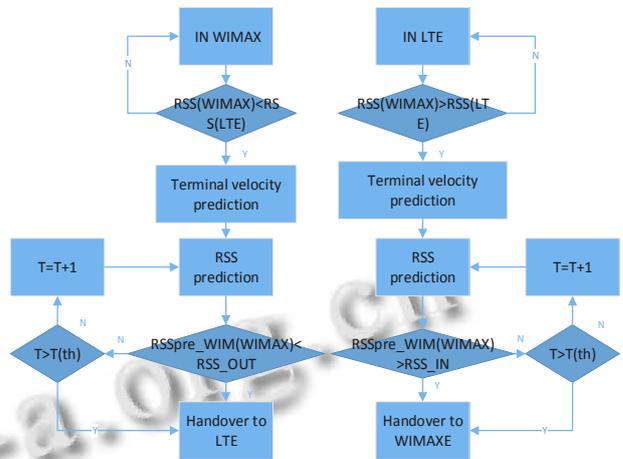


图 1 基于加速度预测异构网络切换算法程序流程图

为了保证速度预测算法的准确性, 首先本文对仿真的场景做了严格的规定, 必须是高速公路的直线路段, 这样可以保证预测的速度不受到方向的影响; 而且处于高速公路上的速度是有规律的, 每一个直线路段上都会有警示牌标明了这段路的最高限速。这意味着车辆在这段路上有一个期望速度, 期望速度的设置也保证了本文对速度预测的准确性。最后是信号强度阈值的设置, 本文将信号强度的阈值设置得比一般的切换来的高, 因为在高速公路这种路段上, 终端运动的速度比较快, 如果将阈值设置过低的话就会导致切换的次数增加。所以通过以上几个关键点的设置, 可以保证本文提出的速度预测算法的准确性。

2 实验仿真与结果分析

2.1 仿真模型的建立

为了评估算法的有效性, 我们根据提出的算法设计了一个场景, 场景中的 WIMAX 基站和 LTE 基站的覆盖范围相互重叠, WIMAX 基站的覆盖范围为 1.5km, LTE 基站的覆盖范围为 2km。拓扑如图 2 所示:

假设终端的初始速度为 40km/h, 移动终端从左往右运动, 首先连接的是 WIMAX 的基站, 然后远离 WIMAX 基站, 进入到 LTE 的范围, 最终脱离当前的基站, 连接到目标基站, 也就是 LTE 的基站。当用户 MN 最终离开两个基站的范围时, 用户 MN 以初始的速度返回。如此往返运动 500 秒。

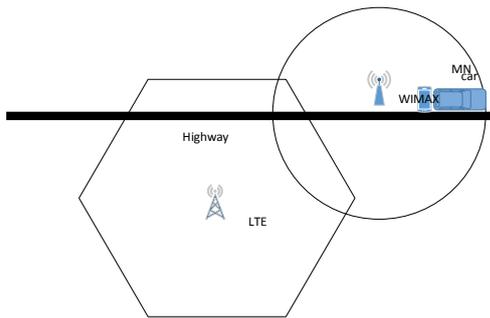


图 2 实验仿真拓扑图

2.2 仿真参数

参数的设置对于仿真结果是极其重要的，驻留时间的设置对于整个切换有重要的意义，驻留时间设置过长会导致用户停留在当前网络太久，过短会增加切换次数。所以本文根据实验的需要，设置仿真试验参数如表 1 所示。

表 1 仿真实验参数

Parameter	Value	Parameter	Value
WIMAX range(km)	1.5	LTE range(km)	3
WIMAX power(db)	30	LTE power(db)	40
Dwell time(s)	3	Sampling time(s)	1

2.3 实验结果和分析

测量通信质量的标准，不仅取决于传输速率，更重要的是传输的连续性。所谓的连续性也就是通信的过程中会不会出现掉线的情况。本文研究的问题就是如何减少网络切换的乒乓效应和降低切换延时。因此本文将新算法与传统算法在切换次数和切换延时两个方面进行比较。

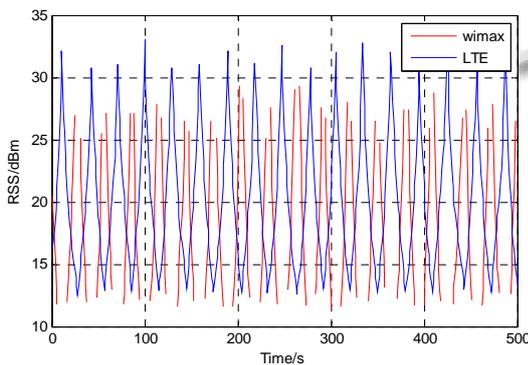


图 3 接收到的 WIMAX 和 LTE 基站的信号强度

从图 3 可以看到，蓝色曲线表示终端接收到的 LTE 网络信号强度；红色曲线表示终端接收到的 WIMAX 网络信号强度。信号强度随着用户 MN 的运动而改变。在一些时刻，曲线会变的不连续，这是因

为用户 MN 运动的范围超出了基站的覆盖范围，所以用户接收不到基站的信号。从图 3 中还可以发现在 4s 和 20s 的地方，接收到两个基站的信号强度是一样的，这个时间点对于切换来说是很重要的，是基于驻留时间计时开始的点。

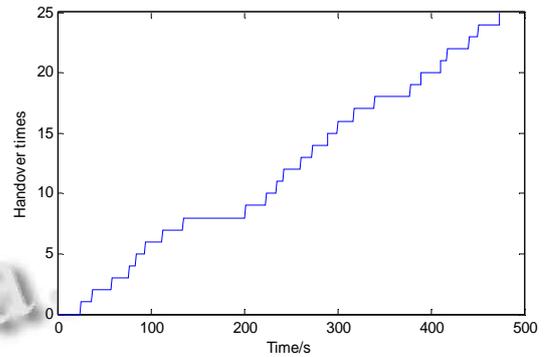


图 4 传统算法的切换次数

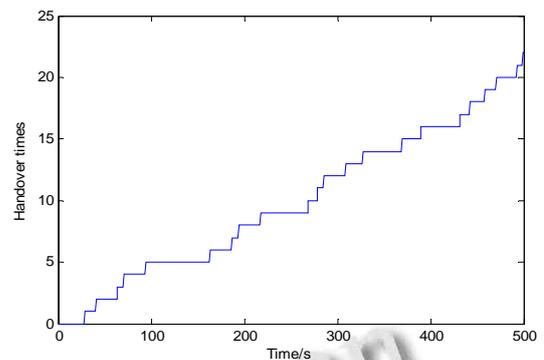


图 5 基于加速度预测算法的切换次数

通过图 4，图 5 的对比可以发现，传统的基于驻留时间的切换算法切换的次数是 25 次，而新提出的基于加速度预测的算法切换的次数为 21 次，当然这切换的过程中，本文已经保证新接入的基站所提供的信号强度足以保证通信质量。

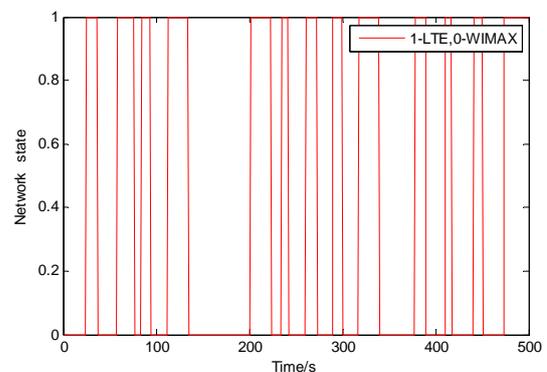


图 6 传统算法切换时刻

由图 6 可以看出,刚开始的用户 MN 连接的是 WIMAX 网络,但是随着用户的移动,接收到的 WIMAX 网络的信号越来越弱,LTE 信号越来越强,用户连接的基站就进行了切换.本文选取一些特殊的时间点,如表 2 所示.

表 2 传统算法切换时刻

		切换时间			
切换类型	LTE TO WIMAX	24	58	83	NULL
	WIMAX TO LTE	38	77	96	NULL

表 2 记录了两种切换.一种是 LTE 网络切换到 WIMAX 网络;另外一种 WIMAX 网络切换到 LTE 网.表中选取了 100 秒以内的切换时刻,在这 100 秒内共发生了 6 次切换,其中 LTE 网络切换到 WIMAX 网络 3 次;WIMAX 网络切换到 LTE 网络 3 次.LTE 网络切换到 WIMAX 网络发生的时刻分别是: 24s, 58s, 83s. WIMAX 网络切换到 LTE 网络发生的时刻分别是: 38s, 77s, 96s.

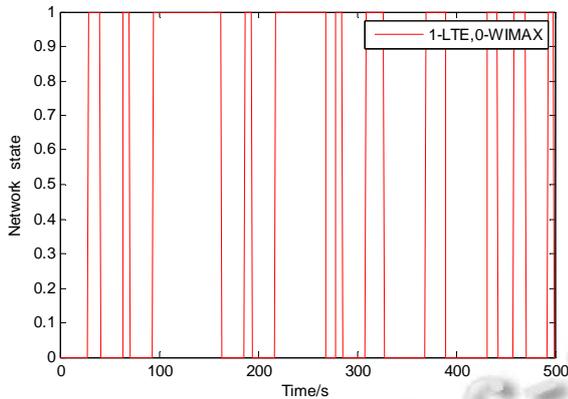


图 7 基于加速度预测算法的切换时刻

表 3 基于加速度算法的切换时刻

		切换时间			
切换类型	LTE TO WIMAX	24	57	96	NULL
	WIMAX TO LTE	38	77	NULL	NULL

表 3 与表 2 一样,选取了 100 秒的采样时间内终端切换的时刻,将表 3 切换时间点与传统的切换时间点进行比较,可以发现同样的 100s 时间内,新算法共产生了 5 次切换,而且部分切换时间点比传统切换算法提前了.如表 3 中 LTE 网络切换到 WIMAX 网络,

在传统算法下,其切换的时刻是 58s,但是在新算法中 57s 就提前进行切换.这是因为本文利用预测加速度来对下一时刻的信号接收强度进行预测,然后做出了提前判决,因此可以减少由于驻留时间算法带来的延时,从而降低终端 MN 在信号不好的网络中逗留的时间,减少通信中断的可能性.

为了进一步评估新算法的性能,本文在 MATLAB 上对两种算法进行仿真,然后比较两种算法在整个仿真周期内切换判决的总体耗时.所用计算机的操作系统是 64 位 Win7 操作系统,配置如下: CPU 型号为酷睿 i5,主频 3.2GHz,内存 4G.仿真结果如表 4 所示.

表 4 新算法与传统算法切换判决总耗时的比较

算法	旧算法	新算法
时间(s)	1.186491	1.444119

从表 4 可以看出,在终端整个仿真周期中,改进后的算法在运算时间复杂度方面,仅仅比传统算法增加了约 0.25 秒,所以在计算复杂度方面本算法没有明显的增加.

3 结论

通过仿真研究发现,本文新提出的基于加速度预测的算法与传统算法相比较,在同样的高速直线路段场景下,只考虑接收信号强度对切换的影响,并通过加速度预测算法,可以减少大约 10%的切换次数,从而减少由于乒乓效应带来的掉线率;不仅如此,新算法还能在降低乒乓效应的前提下,减少由于驻留时间而产生的延时,提高通信质量.

参考文献

- 1 彭木根,李涛,陈宜杰,等.移动 WiMAX 系统的关键技术及未来演进.无线电技术与信息,2007,12:47-54.
- 2 Ylianttila M, Pande M, Makela J, et al. Optimization scheme for mobile users performing vertical handoffs between IEEE 802.11 and GPRS/EDGE networks. Global Telecommunications Conference(GLOBECOM'01). IEEE. 2001, 6. 3439-3443.
- 3 Buddhikot M, Chandranmenon G, Han S, et al. Integration of 802.11 and third-generation wireless data networks. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications(INFOCOM 2003). IEEE Societies. IEEE. 2003, 1. 503-512.
- 4 刘敏,李忠诚,过晓冰,等.基于运动趋势的自适应垂直切换

- 算法及其性能评价.计算机学报,2008,31:112-119.
- 5 Yussuf AA, Hassan WH, Issa S. A review of VHD approaches in next generation wireless networks. 2012 2nd International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications(DICTAP 2012). 2012. 363-367.
- 6 刘敏,李忠诚,过晓冰.一种基于速度感知的垂直切换算法.电子学报,2008,36(6):1198-1201.
- 7 孙博.基于位置信息的异构网络垂直切换算法研究[学位论文].镇江:江苏大学,2008.
- 8 蔡景.一种考虑用户偏爱的无缝切换算法.计算机系统应用,2010,19(3):91-94.
- 9 黄超,程乃平.基于层次分析法的异构网络切换技术研究.现代电子技术,2013,9:13-15.
- 10 夏玮玮,沈连丰.一种基于模糊神经网络的异构网络选择算法.东南大学学报:自然科学版,2010,40:663-669.
- 11 Lee W, Kim E, Kim J, et al. Movement-aware vertical handoff of WLAN and mobile WiMAX for seamless ubiquitous access. IEEE Trans. on Consumer Electronics, 2007, 53(4): 1268-1275.
- 12 林声.基于变加速度的高速公路平直路段运行速度模型优化.北京交通大学学报,2012,36:75-79.
- 13 王亚伟.大学物理学.合肥:中国科学技术大学出版社,2004.
- 14 Stevens-Navarro E, Wong VWS. Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks. Proc. of the 63rd IEEE Vehicular Technology Conference. 2006.
- 15 刘敏,李忠诚,过晓冰,等.异构无线网络中垂直切换算法的评测与改进.软件学报,2007,18(7):1652-1659.
- 16 Chang RS, Leu SJ. Handoff ordering using signal strength for multimedia communications in wireless networks. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2004, 3(5): 1526-1532.
- 17 刘晓杨,谢红.衰落信道的快速跳频通信系统抗干扰分析.电子科技,2013,8:76-79.
- 18 吴文君.蜂窝异构网络的性能分析与优化[学位论文].北京:北京邮电大学,2012.