

一种基于速度感知的垂直切换算法

刘 敏^{1,3}, 李忠诚¹, 过晓冰²

(1. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190; 2. 联想研究院, 北京 100085; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 未来的 4G 网络不是由单一的接入方式构成, 而是采用不同的无线接入技术的多种网络的融合. 不同网络接入技术间的切换称为垂直切换. 本文提出了一种基于速度感知的垂直切换算法, 不需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, 提高对切换触发时机的准确判断. 该算法可以自动调整以适应不同的节点运动速度, 有效提高垂直切换的效率. 仿真试验表明该算法能有效提高垂直切换的性能.

关键词: 垂直切换; 水平切换; 迟滞电平; 接收信号强度

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372 2112 (2008) 06 1198 04

A Speed Sensitive Vertical Handoff Algorithm

LIU Min^{1,3}, LI Zhong-cheng¹, GUO Xiao-bing²

(1. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. Lenovo Corporate Research, Beijing 100085, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The next generation(4G) wireless network is envisioned as a convergence of different wireless access technologies. A vertical handoff is a handoff between access networks with different wireless technologies. We present a speed sensitive vertical handoff algorithm. No need of the accurate position and speed information of the mobile host, it takes into account the influence of velocity based on the history results of received signal strength measurements. This algorithm can automatically adapt to the mobile host's velocity and improve handoff efficiency. Simulation results show that the proposed algorithm can achieve better performance compared with conventional handoff decision algorithms.

Key words: vertical handoff; horizontal handoff; hysteresis; received signal strength

1 引言

随着移动通信技术的发展, 各种无线接入技术层出不穷, 越来越多的移动主机同时具备多种网络接口. 不同的无线技术的设计目的不同. 例如 IEEE 802.11 和 HiperLAN/2 主要为局域网通信而设计, 而 GSM/GPRS、UMTS 则为广域网通信而设计^[1].

切换指移动主机与其他主机间的当前连接从一个接入点转移到另一个接入点的机制和过程. 当切换发生在同种网络技术下的不同接入点之间时称为水平切换 (horizontal handoff) 或系统内切换 (intra system handoff). 当切换发生在不同网络技术下的接入点之间时称为垂直切换 (vertical handoff) 或系统间切换 (inter-system handoff)^[2]. 不同无线接入技术在频带、带宽、数据传输时延和覆盖范围等方面各不相同, 因而使得垂直切换技术比水平切换技术更具挑战性.

在大多数移动语音和数据网络中都使用从服务连接点和邻近连接点接收的信号强度 (RSS, Received Signal Strength) 来作为切换算法的判定指标^[3]. 为了避免切换当中的乒乓效应, 许多切换算法引入了迟滞电平 (hysteresis)^[4,5] 和驻留定时器 (dwelling timer)^[6-9]. 这些算法虽然避免了乒乓效应, 但由于迟滞电平和驻留定时器往往采用静态的数值和预置的方式, 这种固定且单一的切换时机选择策略在很大程度上推迟了切换触发, 降低了切换效率. 一种更为理想的方式, 是节点能推测下一时刻的接收信号强度, 从而预测切换时机, 这样不仅可以及时地触发切换, 还可提前进行业务流的调整, 减少切换带来的服务质量抖动. 同时, 这种预测算法应与节点自身的运动速度相关, 即做到自动适应不同的速度.

考虑到实际环境中, 节点位置的感知依赖于空间坐标的确定, 而速度的计算, 更需要定期采样坐标的变化. 而 GPS 等定位技术不仅受周围环境的影响, 且在精度、

能量消耗方面都存在较大的问题,目前尚无很好的解决方案.本文提出了一种基于速度感知的垂直切换算法,不需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,提高对切换触发时机的准确判断.该算法可以自动调整以适应不同的节点运动速度,有效提高垂直切换的效率.

2 基于速度感知的垂直切换算法

下文论述将分别以 WLAN 和 UMTS 作为高带宽、低覆盖以及低带宽、高覆盖的无线接入技术的典型代表,来介绍算法的基本原理和切换流程.所提算法同样适用于其他局域网无线接入技术和蜂窝网无线接入技术间的垂直切换.

2.1 现有切换模型

考虑到实际环境中,移动通信网基本上是全覆盖的.因此,现有垂直切换算法一般都只检测 WLAN 的信号强度变化,作为垂直切换触发的基本条件^[10].

当移动节点与 AP 的距离为 d 时, WLAN 的接收信号强度模型为:

$$RSS_W = K_1 - K_2 \log(d) + \Omega(d) \quad (1)$$

其中, K_1, K_2 为路径损失参数, $\Omega(d)$ 为零均值静态高斯白噪声.

令 WLAN 的切换阈值为 RSS_0 , 也就是说当 WLAN 的接收信号强度低于 RSS_0 时, 用户将无法使用 WLAN 进行正常通信. 定义当移动节点与 AP 的距离为 d 时, 其接收到的 WLAN 信号强度与切换阈值的差值为:

$$D_{RSS} = RSS_W - RSS_0 \quad (2)$$

假设 $d = \varphi$ 时, $RSS_W = RSS_0, D_{RSS} = 0$

标准的迟滞电平算法实时采集 D_{RSS} , 当 $-h_y \leq D_{RSS} \leq h_y$ (h_y 为算法中的迟滞电平值) 时, 维持原来的连接; 当 $D_{RSS} > h_y$ 时, 触发从 UMTS 到 WLAN 的切换; 而当 $D_{RSS} < -h_y$ 时, 触发从 WLAN 到 UMTS 的切换.

2.2 基于速度感知的垂直切换算法

在节点的运动过程中, 采用常见的均匀采样来测量 D_{RSS} , 采样的时间间隔为 T .

$$\phi_N = \begin{cases} h_y \cdot \text{sgn}(\phi_{N-1}) + \sum_{i=0}^{P-1} (\omega^i D_{RSS}(N-i)), & h_y \cdot \text{sgn}(\phi_{N-1}) + \sum_{i=0}^{P-1} (\omega^i D_{RSS}(N-i)) \neq 0 \\ \phi_{N-1} & , h_y \cdot \text{sgn}(\phi_{N-1}) + \sum_{i=0}^{P-1} (\omega^i D_{RSS}(N-i)) = 0 \end{cases}$$

在 MMRE 中, 采用了固定值作为速度因子, 其适用范围有限. 本文提出了 MMRE 的改进算法 A-MMRE, 该算法根据 D_{RSS} 采样结果动态调整速度因子, 从而可以自动适应不同的节点运动速度, 提高对切换触发时机的准确判断.

首先, 对式(3)中的切换判断信息进行调整和扩充:

将当前状态下用于切换判断的所有信息描述为(当前为第 N 个采样点):

$$S_N = \left(D_{RSS}(N), D_{RSS}(N-1) \dots D_{RSS}(N-P+1), \omega, \phi_{N-1} \right) \quad (3)$$

其中, $\{D_{RSS}(N), D_{RSS}(N-1) \dots D_{RSS}(N-P+1)\}$ 是最近 P 次 D_{RSS} 采样结果, ω 为速度因子, ϕ_N 为第 N 个采样点所有已知信息 S_N 的函数, 表示第 N 个采样点的网络选择, 具体定义为:

$$\phi_N = \xi(S_N) = \begin{cases} > 0 & \text{选择 WLAN} \\ < 0 & \text{选择 UMTS} \end{cases} \quad (4)$$

$\phi_N = 0$ 为非法状态. S_N 中的 ϕ_{N-1} 为第 $N-1$ 个采样点的网络选择. 因此, 若 N 时刻算法判断需要切换, 则必有 $\phi_N \phi_{N-1} < 0$

我们在文[11]中所提出的 MMRE 算法用如下结果作为对 D_{RSS} 的预测:

$$TD_{RSS}(N) = D \times W \quad (5)$$

其中, $D = \{D_{RSS}(N), D_{RSS}(N-1) \dots D_{RSS}(N-P+1)\}$, $W = \{1, \omega, \dots, \omega^{P-1}\}^T, 0 \leq \omega \leq 1$.

从式(5)中不难看出, 当对速度不敏感时, 可以令 $\omega = 0$ 此时 TD_{RSS} 只是表征当前的位置信息; 当 $\omega > 0$ 时, 其历史位置上的信息就会起作用. 在式(5)中, 当前时刻的信息权重最大, 而历史信息的影响随相应采样点距离当前时刻的时间间隔的增长而降低, 具体权重由 ω 来调节. 当节点运动速度低时, 最近 P 次采样结果所反映的信息的采样位置相对接近. 而当速度高时, 采样点间的位置差会增大, 这从一定程度上反映了速度对切换触发的影响.

当 $\omega > 0$ 时, 式(5)可以表示为

$$TD_{RSS}(N) = \sum_{i=0}^{P-1} \omega^i D_{RSS}(N-i) \quad (6)$$

基于的 ϕ_N 定义和标准的符号函数 $\text{sgn}(X) = \{-1, 0, 1\}$, 可以给出 MMRE 算法的切换条件:

$$\phi_{N-1} \cdot \phi_N < 0 \iff \text{sgn}(\phi_{N-1}) \cdot \sum_{i=0}^{P-1} (\omega^i D_{RSS}(N-i)) > h_y \quad (7)$$

据此可以得到 MMRE 算法中 ϕ_N 的一种表达:

$$S_N = \left(D_{RSS}, D_{RSS}(N-1), \omega(N), TD_{RSS}(N-1), \phi_{N-1} \right) \quad (9)$$

其中, $\{D_{RSS}(N), D_{RSS}(N-1)\}$ 为最近两次 D_{RSS} 采样值. $\omega(N)$ 为第 N 个采样点的速度因子. TD_{RSS} 含义同 MMRE, 为 D_{RSS} 的预测, $TD_{RSS}(N-1)$ 即为上一采样点得到的 D_{RSS} 预测.

本算法根据最近两次 D_{RSS} 采样的结果动态调整速度因子 $\omega(N)$, 并迭代上一采样点的 D_{RSS} 预测计算得到当前时刻的 $TD_{RSS}(N)$, 最后利用 ϕ_{N-1} 迭代计算得到 ϕ_N , 即当前时刻(第 N 个的采样点)的网络选择.

其中, $\omega(N)$ 的计算如下:

$$\omega(N) = \frac{2}{2 \frac{\text{Max}(|D_{RSS}(N)|, |D_{RSS}(N-1)|)}{\text{Min}(|D_{RSS}(N)|, |D_{RSS}(N-1)|)} + (A1)} \quad (A1)$$

其中: $(A1) = 1 - \text{sgn}(D_{RSS}(N) \cdot D_{RSS}(N-1))$ (10)

在式(10)中假定 D_{RSS} 不等于零: 若第 N 个采样点实际采样得到 $D_{RSS}(N) = 0$, 则令 $D_{RSS}(N) = D_{RSS}(N-1)$.

由式(10)不难看出, 当节点在 $d = \varphi$ 的一侧区域内移动时, 有:

$$\omega(N) = \frac{\text{Min}(|D_{RSS}(N)|, |D_{RSS}(N-1)|)}{\text{Max}(|D_{RSS}(N)|, |D_{RSS}(N-1)|)}$$

特殊情况下, 当前时刻节点正好穿越 $d = \varphi$, 即 $D_{RSS}(N)D_{RSS}(N-1) < 0$, 此时有:

$$\omega(N) = \frac{\text{Min}(|D_{RSS}(N)|, |D_{RSS}(N-1)|)}{|D_{RSS}(N) - D_{RSS}(N-1)|}$$

在得到 $\omega(N)$ 的基础上, 可以计算得到 $TD_{RSS}(N)$:

$$TD_{RSS}(N) = \omega(N)TD_{RSS}(N-1) + D_{RSS}(N) \quad (11)$$

综合式(10)、(11)可以看到, 当节点做围绕 AP 的圆周运动时, 或者接近圆周运动时(即径向速度变化小, 前后 RSS 变化较小时), $\omega(N)$ 结果接近 1, 历史采样值在最终的 TD_{RSS} 预测中所占比例较高, 即使在 $-h_y < D_{RSS} < h_y$ 的情况下也可能触发切换; 而当径向速度变化剧烈时, $\omega(N)$ 结果趋于 0, 此时 TD_{RSS} 预测主要由当前时刻的采样结果来确定, 使得本算法能根据径向速度自适应调整速度因子, 进而调整算法的判决条件, 提高算法判断的准确程度. 另外, 本算法的切换判决只需要依据当前和上次 D_{RSS} 采样、上一时刻预测值 $TD_{RSS}(N-1)$ 求取, 计算量小, 不仅节省了移动节点的电源和存储消耗, 也提升了判决算法的时效性.

基于 ϕ_N 的定义, 可以给出 A-MMRE 算法的切换条件:

$$\phi_{N-1} \cdot \phi_N < 0 \iff \text{sgn}(\phi_{N-1}) \cdot TD_{RSS}(N) > h_y \quad (12)$$

据此可以得到 A-MMRE 算法中 ϕ_N 的一种表达:

$$\phi_N = \begin{cases} h_y \cdot \text{sgn}(\phi_{N-1}) + TD_{RSS}(N), & h_y \cdot \text{sgn}(\phi_{N-1}) + TD_{RSS}(N) \neq 0 \\ \phi_{N-1}, & h_y \cdot \text{sgn}(\phi_{N-1}) + TD_{RSS}(N) = 0 \end{cases} \quad (13)$$

3 仿真试验

采用文献[12]中的仿真评价模型分别对 A-MMRE 算法、MMRE 算法、普通的基于迟滞电平的切换算法(下面用 HY 算法代替)以及基于驻留定时器的切换算法

(下面用 DW 算法代替)在 NS2 下进行性能评测. 仿真模型的参数如下: WLAN 的覆盖半径为 $R = 150\text{m}$, AP 的坐标为 $(0, 0)$, 接入带宽为 11Mbps (IEEE 802.11b). UMTS 的带宽为 2Mbps (全区域覆盖). $RSS_0 = 1.5118 \times 10^{-10}$ 瓦, $a = 50\text{m}$, $u = 64.61\text{m}$, $\varphi = 127.279\text{m}$, 采样间隔 $T = 50\text{ms}$, 每次切换需要 2s 的时间开销. HY 算法中的 $h_y = 1.8888 \times 10^{-11}$ 瓦, DW 算法中的驻留定时器为 5s. 本文选择了 $v = 1\text{m/s}$, 2.5m/s , 5m/s , 7.5m/s , 10m/s 等多档速度生成了大量的节点随机运动轨迹(连续 10000s 以上的随机直线运动). 假定无背景流量, 在移动节点上运行速率为 2.67Mbps 的某 UDP 业务流. 仿真结果如图 1 至图 2 所示. 除平均吞吐率外, 引入“命中率”(MR, Matching Ratio)^[11]作为一个新的评价指标.“命中”是指根据算法选择的网络为节点当前最佳的网络选择.“命中率”指单位时间内算法累计命中的时间长度.

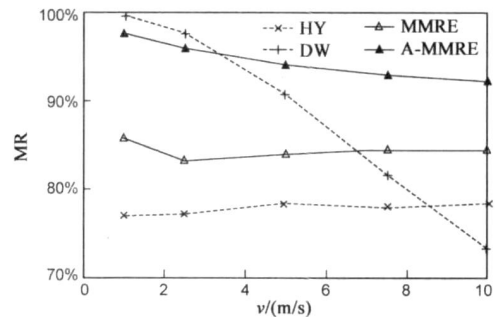


图 1 MMRE、A-MMRE、HY、DW 算法的命中率对比

从图 1 可以看出, 在低速 ($v = 1\text{m/s}$, $v = 2.5\text{m/s}$) 情况下, HY 算法的命中率比较低而 DW 算法命中率很高, A-MMRE 和 MMRE 算法的命中率高于 HY 算法而低于 DW 算法. 其中 A-MMRE 的命中率高于 MMRE, 略低于 DW. 随着速度的提高, DW 算法的命中率大幅下降, 并最终低于其余三种算法. 当 $v = 10\text{m/s}$ 时, 4 种算法的命中率分别为 HY MR = 78%, DW MR = 73%, MMRE MR = 84%, A-MMRE MR = 92%.

由图 2 可知, A-MMRE 算法的平均吞吐率最优. 4 种算法的平均吞吐率随速度的提高都会有所下降, 其中 DW 算法的下降幅度最大. 综合图 1、图 2, A-MMRE 算法的整体性能优于其余 3 种算法.

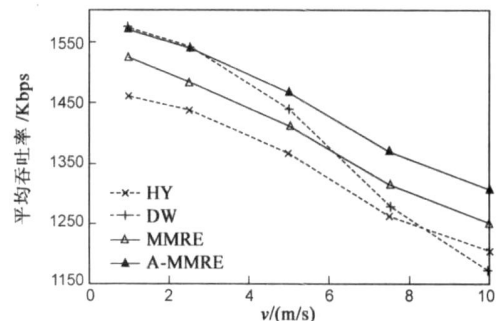


图 2 MMRE、A-MMRE、HY、DW 算法的平均吞吐率对比

4 结论

本文提出了一种适合异构无线网络环境的垂直切换算法, 该算法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, 通过推测下一时刻的接收信号强度来提高对切换触发时机的准确判断. 该算法可自动调整以适应不同的节点运动速度, 有效提高垂直切换的效率.

参考文献:

- [1] W T CHEN, J C LIU, H K HUANG. An adaptive scheme for vertical handoff in wireless overlay networks[A]. Proc ICPADS 2004[C]. California, USA: IEEE Computer Society, 2004. 541 - 548.
- [2] F Siddiqui, S Zeadally. Mobility management across hybrid wireless networks: Trends and challenges[J]. Computer Communications, 2006, 29: 1363- 1385.
- [3] K Pahlavan, P Krishnamurthy, A Hatami. Handoff in hybrid mobile data networks[J]. IEEE Pers Commun, 2000, 7(2): 34 - 47.
- [4] N Zhang, J M Holtzman. Analysis of handoff algorithms using both absolute and relative measurements[J]. IEEE Trans Vehicular Technology, 1996, 45(1): 174- 179.
- [5] P Marichamy, S Chakrabarti, S L Maskara. Performance evaluation of handoff detection schemes[A]. Proc IEEE TENCON 2003[C]. Taj Residency, Bangalore: IEEE Computer Society, 2003. 643- 646.
- [6] A Hatami, P Krishnamurthy, K Pahlavan, M Ylianttila, J Makela, R Pichna. Analytical framework for handoff in non homogeneous mobile data networks[A]. Proc IEEE PIMRC' 99[C]. Osaka, Japan: IEEE Computer Society, 1999. 760- 764.
- [7] M Ylianttila, M Pande, J Makela, P Mahonen. Optimization scheme for mobile user performing vertical handoffs between IEEE 802. 11 and GPRS/ EDGE networks[A]. Proc IEEE Globecom01[C]. San Antonio, Texas: IEEE Computer Society, 2001. 3439- 3443.
- [8] M Ylianttila, J Makela, P Mahonen. Supporting resource allocation with vertical handoffs in multiple radio network environment[A]. Proc. IEEE PIMRC 02[C]. Lisbon: IEEE Computer Society, 2002. 64- 68.

- [9] H Park, S Yoon, T Kim, J Park, M Do, J Lee. Vertical handoff procedure and algorithm between IEEE 802. 11 WLAN and CDMA cellular network[A]. Proc. 7th CDMA International Conference[C]. Seoul, Korea: Springer, 2002. 103- 112.
- [10] C W Lee, L M Chen, M C Chen, Y S Sun. A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile IPv6[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(11): 2118- 2128.
- [11] M Liu, Z C Li, X B Guo. An efficient handoff decision algorithm for vertical handoff between WWAN and WLAN[J]. J Comput Sci&Technol, 2007, 22(1): 114- 120.
- [12] M Liu, Z C Li, X B Guo, E Dutkiewicz, M H Wang. SAVA: a novel self adaptive vertical handoff algorithm for heterogeneous wireless networks[A]. Proc. IEEE Globecom 2006: WLC14 4 [C]. San Francisco, USA: IEEE Computer Society, 2006. 1- 5.

作者简介:



刘 敏 女, 1976 年 10 月生于河南省临颖市. 现为中国科学院计算技术研究所副研究员、博士研究生. 主要研究领域为移动 IP、移动切换及网络测量.

E-mail: liumin@ict.ac.cn



李忠诚 男, 1962 年 11 月生于黑龙江省哈尔滨市, 现为中国科学院计算技术研究所研究员、博士生导师. 主要研究领域为下一代互联网.

E-mail: zeli@ict.ac.cn



过晓冰 男, 1977 年 1 月生于浙江省绍兴市. 主要研究领域为普适计算与设备协同.

E-mail: guoxba@lenovo.com