

802.11 网络中一种自适应的基于预测的平滑切换算法

曾 智¹ 李仁发¹ 文吉刚^{1,2} 谢 颀^{1,2}

(湖南大学计算机与通信学院 长沙 410083)¹ (香港理工大学电子计算学系 香港九龙红石堪)²

摘要 针对 802.11 网络中的平滑切换算法无法适应动态变化的网络环境的缺陷,提出了一种自适应的基于预测的平滑切换算法(adaptive predictive-based smooth handoff, APBSH)。其核心思想是依据当前网络环境的变化预测下一时刻的网络环境(使用扫描紧迫性和数据传输紧迫性两个参数定量表示不同的网络环境),接着依据预测结果自适应调整扫描子阶段和数据传输子阶段的时间,不但将平滑切换控制在与当前连接的接入点(AP)失去连接之前,而且提高了切换时的数据服务质量。从实验结果看出,APBSH 算法较标准的 802.11 切换算法和平滑切换算法,更能适应动态变化的网络环境,确保切换性能的最优化。

关键词 802.11 网络,切换,平滑,自适应,预测

中图分类号 TP393.1 **文献标识码** A

Self-adaptive and Prediction-based Smooth Handoff Algorithm in 802.11 Networks

ZENG Zhi¹ LI Ren-fa¹ WEN Ji-gang^{1,2} XIE Kun^{1,2}

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410083, China)¹

(Department of Computing, The Hongkong Polytechnic University, Hongkong, China)²

Abstract To overcome the smooth scan algorithm's weakness of not adapting to the varied network environment, a self-adaptive and prediction-based smooth handoff (APBSH) algorithm was proposed. The key idea of the algorithm is using the varying recent network environment to predict the next time's (it uses two parameters; the urgent of scan and the urgent of data-transmission to represent different network environment quantitatively), and then self-adaptively choosing the suitable handoff strategy according to the prediction results to accomplish the handoff before losing the connection of the current AP and improve the quality of data service. The experiment shows that APBSH algorithm could accommodate with network environment, assure the Optimization of the handoff's performance and better than standard 802.11 handoff algorithm and smooth handoff algorithm.

Keywords 802.11 network, Handoff, Smooth, Self-adaptive, Prediction

基于 IEEE 802.11 的公共无线局域网(WLAN)系统日益广泛地应用于各地区,如机场、校园、会议中心等。不同于现有的基于蜂窝网的无线网络服务,WLAN 系统可提供高达 11Mb/s(IEEE 802.11b^[1]),54Mb/s(IEEE 802.11a/g^[2,3])甚至 100Mb/s(IEEE 802.11n^[4])的高速网络连接。由于最初设计 WLAN 并不针对主机移动的环境,其应用只局限于简单的文件传输和 Web 网页浏览,因此很多新兴的多媒体应用(如 VoIP、音视频等)在 802.11 网络下的传输服务质量并不理想^[5],特别是在用户切换时质量会更差。所以,研究 802.11 网络中的切换算法对于提高 WLAN 的服务质量,具有重要的意义。

1 相关研究

为了提高 WLAN 的服务质量,人们对切换进行了广泛和深入的研究,如图 1 所示,将切换过程划分为探测、扫描、认证

和重连接 4 个阶段,并提出了一些卓有成效的切换性能优化算法。根据切换算法着重改善的性能,可将现有研究分为两类:以减少切换时数据包延迟(简称切换延迟)为目的的快速切换算法和以减少切换时丢包率为目的的平滑切换算法。

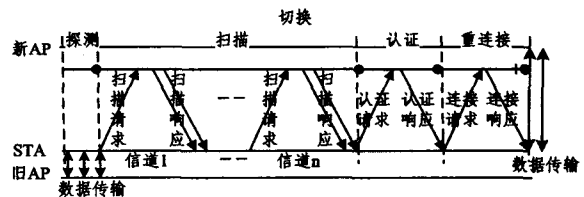


图 1 切换过程

快速切换算法成果较多。由于扫描延迟是切换延迟的主要组成部分^[5],因此减少扫描阶段的延迟十分关键。

直接从调节 802.11 的参数出发,Velayos 等人提出的调谐方案^[6]基于概率分布理论发现切换触发的最佳时机,并采

到稿日期:2008-09-23 返修日期:2008-12-26 本文受国家自然科学基金(60673061)资助。

曾 智(1985-),女,硕士研究生,主要研究方向为无线切换、算法设计,E-mail:zhi.zeng@gmail.com;李仁发(1956-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为嵌入式计算、无线网络;文吉刚(1978-),男,博士生,主要研究方向为分布式计算、P2P 流媒体;谢 颀(1978-),女,博士后,讲师,主要研究方向为无线网络、多网融合。

用实验得出的 $MinChannelTime$ (信道最小等待时间)和 $MaxChannel-Time$ (信道最大等待时间)的最小值,最终减少了扫描延迟。

从减少扫描的信道数来减少扫描时间,文献[7]提出了邻居图修剪方案,基本思想是通过邻居图(NG)和不重叠图(NOG)分别减少扫描的信道总数和各信道上的等待时间。信道覆盖码方案[8]提出的缓存机制实现了信道的选择性扫描。另外还有同步扫描方案[9]和多无线口扫描方案[10]。

虽然扫描延迟占用了总切换延迟的大部分,但是随着安全技术的普及,认证过程日益繁琐,研究减少认证/重连接延迟的切换算法也是非常必要的。FHR^[11]和 PNC^[12]算法均通过预先将广播的认证/重连接与 STA 相关的信息发送给可能切换至的 AP 集,节约了认证过程中资料的发送时间。而两种算法不同的是,前者适用于集中式网络,而后者适用于分布式网络。SNC^[13]作为 PNC 的改进算法,减小了可能切换的 AP 集大小,降低了预发机制信息的负载压力。

相对快速切换来说,平滑切换算法的研究相对冷清。不同于快速切换算法的减短切换的流程,平滑切换则通过改变切换各流程的具体运行方式,来达到减少切换丢包率的效果。研究平滑切换对于对数据包丢失率要求较高的实时应用来说十分关键。

这里具有代表性的研究为 2006 年 Yong Liao 提出的平滑切换算法^[14]。如图 2 所示,其基本思想是将整个扫描阶段切割为多个等长的子阶段,并在相邻两个扫描子阶段之间,切回当前 AP 所在的信道来传输数据。该算法不仅减少了探测过程中数据包延时,满足了多媒体应用的延迟需要,而且有效地减少了延时抖动及数据包丢失,优化了数据服务质量。

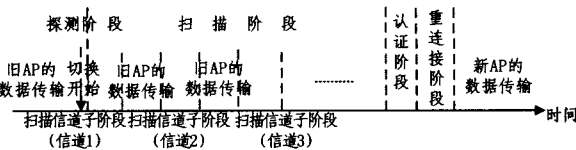


图 2 平滑切换算法的基本原理

然而,目前的平滑切换算法存在一定问题。由于扫描阶段插入了数据传输,因此切换周期很长。虽然为了确保在与当前连接 AP 失去联系前完成切换,该算法采用了阈值的自调节机制:即依据扫描结果的成败增加或减少切换触发阈值。但是,由于这种机制是基于上次扫描的结果,而随着移动设备的不断移动,除非是同次切换的两次扫描,否则两次扫描所处网络环境已完全不同,其调节后的阈值也难适用于此次扫描。因此,该自调节存在严重的滞后性。所以,目前的平滑切换算法不再适应于动态变化的网络环境。

为解决上述问题,本文提出了一种改进的平滑切换算法:自适应的基于预测的平滑切换算法(adaptive predictive-based smooth handoff, APBSH),根据当前网络状况,不断调整切换策略,从而实现切换性能的最优化。该算法的核心思想在于自适应性,为了防止滞后性,具体采用预测的方式实现。

2 算法的基本思想

APBSH 算法针对平滑切换算法中环境自适应机制的滞后性的缺陷,充分利用其分段特点,在扫描阶段使用基于预测的自适应机制自调节各子阶段的历时长短,适应了不断变化

的网络环境。

首先是探测阶段,该阶段是指正确判断开始切换的时机,并最终触发切换的阶段。触发条件采用“网卡的自适应速度低于某个设定的阈值”,阈值依据文献[14]设置为 15。

通过探测阶段,切换正式进入到扫描阶段,此阶段是为了得到可连接 AP 的信息而进行的逐一扫描各信道的过程。不同于传统的平滑扫描方式,自适应平滑扫描通过对网络环境的预测,不但在扫描子阶段前计算出本次所要扫描的信道数,而且在数据传输子阶段前计算出该子阶段的时间,通过对交替出现的两子阶段进行时间控制,确保扫描如期完成的情况下避免不必要的数据包丢失和延迟,以适应网络环境的变化,实现切换性能的最优化。该算法如图 3 所示。

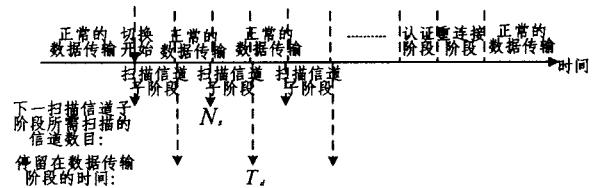


图 3 自适应平滑扫描

3 算法详细设计

本算法基本思想是从预测出发,获得扫描和数据传输的紧迫程度信息。首先阐述预测的基本思想。

3.1 预测的基本思想

预测的目的有两个方面:一是保证在失去当前 AP 的联系前完成切换;二是保证数据服务质量(延迟、丢失等)。在最简单的情况下,所谓预测就是在切换触发时对网络环境进行综合评估。然而,移动设备的移动导致网络环境不断变化,并且平滑切换周期过长,因此将触发时的网络环境作为预测的依据必然存在滞后性。通过观察发现,平滑切换存在分段的基本特征,因此可采用在每个子阶段开始之前进行网络评估来增强预测的实时性。

由于平滑扫描由间隔出现的扫描和数据传输两类子阶段构成,预测也是针对两类不同的阶段分别开展的。针对扫描子阶段,如果网络环境要求切换快速完成,那么不仅只能进行选择性的扫描,而且应该增加各扫描子阶段在整个扫描阶段所占的比重;针对数据传输子阶段,如果数据传输任务加重,由于缓存区容量有限,为了防止大量丢包,那么应该在保证扫描按时完成的前提下,适当增加数据传输子阶段在扫描阶段所占的比重。总的来说,预测应该基于两方面因素:网络环境是否要求切换快速完成和数据传输任务是否加重。对此两方面因素,本文分别定义两个概念:扫描的紧迫性 E_{scan} 和数据传输紧迫性 E_{data} 。

3.1.1 扫描紧迫性

若 STA1 和 STA2 均须切换,且切换 RSSI 的值,但是由于速度差别很大,速度较快的 STA1 比 STA2 扫描的紧迫性更大。进一步分析可得,在 RSSI 相同的情况下,STA 远离覆盖范围中心的速度越快,扫描紧迫性也越大。需要强调的是,此速度并不是移动设备移动的速度,而应该是远离 AP 覆盖范围中心方向上的速度。通过分析,该速度可用 RSSI 的变化率($slope_{RSSI}$)来表示, $slope_{RSSI}$ 由一个时间窗口中的 RSSI 的加权算术平均值计算所得,公式如下:

$$slope_{RSSI} = \sum_{i=1}^{s/2} w_i (r_i - r_{i-1}) / r_i$$

其中,历史 RSSI 值分别被标记为 $r_i, i=1, 2, \dots, s$, 并且越小的序号表示越新的记录。 $w_i, i=1, 2, \dots, s$ 是各历史 RSSI 值的历史权重,越新的信号强度所对应的 w_i 越大。速度越快,扫描紧迫性越大,反之亦然。由此可得: $E_{scan} \propto slope_{RSSI}$ 。

接下来,需要将扫描紧迫性用以上分析得到的两个参考因素定量表示出来,以便自适应算法的执行。由于扫描紧迫性实际上是源于切换的剩余时间,那么扫描紧迫性可用切换剩余时间的倒数来表示。若当前扫描的剩余时间为 t_r ,则扫描紧迫性为:

$$E_{scan} = \frac{1}{t_r} \quad (1)$$

若 $current_{chanl}$ 表示当前扫描完的信道数目, $num_{subscan_{chal}}$ 表示总共需要扫描的信道数目,那么当前剩余任务为:

$$T_r = \frac{current_{chanl}}{num_{subscan_{chal}}} \quad (2)$$

假设在切换的过程中,速度始终为 $slope_{RSSI}$, t_1 时刻的信号强度为 RSSI, t_2 时刻的信号强度就使得 STA 失去了当前 AP 的连接,即此时的 RSSI 为零,那么剩余时间为:

$$t_r = t_2 - t_1 = \frac{(d_2 - d_1)}{slope_{RSSI}} \quad (3)$$

又由于接收机在距离基站为 d 处的接收信号强度可表示为^[15]:

$$RSSI(d) = K_1 - 10n \lg(d) + A \quad (4)$$

这里 K_1 为信号发射功率, n 为传播衰减因子,一般在 2~6 之间,具体的取值应视相应的地形环境而定。 A 为一个取决于阴影效应的随机变量。

由式(1)~式(4)可得剩余时间为:

$$t_r = [10^{(K_1 + A)/10n} - 10^{(K_1 + A - RSSI)/10n}] / slope_{RSSI} \quad (5)$$

由式(1)、式(5)可得扫描紧迫性:

$$E_{scan} = 1/t_r = slope_{RSSI} / [10^{(K_1 + A)/10n} - 10^{(K_1 + A - RSSI)/10n}]$$

3.1.2 数据传输紧迫性

对于数据传输紧迫性,显然吞吐量应该作为一个参考因素。如果 $throughput$ 表示吞吐量,那么 $E_{data} = throughput$ 。在实际操作时,由于在扫描阶段,节点切换到其他的信道上,不方便测量吞吐量,因此通常在数据传输阶段开始的一个小片时间内进行衡量。

3.2 自适应的基于预测的平滑切换机制

假设 STA 当前所在信道为 $Chanl_{now}$, 将要扫描的信道为 $Chanl_{next}$, 信道最大数为 $Chanl_{max}$, 扫描一个信道要花费的时间为 t_c , 缓存总大小为 D , 数据处理速度为 v_d 。为了实现预测机制,本算法在每个子阶段的开始设置了 T_{slice} 段时间用于网络环境的数据采集,然后通过评估得到 E_{scan} 和 E_{data} , 最后分别得到扫描子阶段的单次扫描信道数 N_s 或数据传输阶段的单次时间 T_d 。算法的具体描述如下:

1) $Chanl_{next} = 0$ 。

2) 在信道 $Chanl_{now}$ 上继续传输 T_{slice} 段时间的数据,采集这段时间内 $throughput$ 、RSSI, 并采用 TSWMA^[16] (时间窗口平均线) 进行平滑处理。若 $T_r * t_c \leq E_{scan}$, 则设置 $T_{scan} = \infty$, 并跳至(4), 原因由条件判断得到,与当前 AP 断开前的时间已经不够再插入数据传输了,此时只能为了确保扫描而舍弃有可能突如其来大数据流;否则,继续运行。

3) 根据捕获到的数据计算出 E_{scan} 和 E_{data} , 当前 STA 缓存剩余大小为 D_c , 计算接下来扫描的信道数为: $N_s = \frac{D_c / E_{data}}{t_c}$ 。此公式的含义是通过缓存充满的剩余时间除以扫描一个信道所花费的时间,估算得到再缓存溢出前可扫描的信道数目。若 $N_s \leq 1$, 则 $N_s = 1$, 否则 $N_s = \lceil N_s \rceil$ 。

4) 切换到信道 $Chanl_{next}$, 主动扫描该信道, $Chanl_{next}++$, 若 $Chanl_{next} > Chanl_{max}$, 则转(9); 否则继续运行。

5) N_s-- , 判断 $N_s \geq 0$, 则转(4); 否则继续运行。

6) 切回信道 $Chanl_{now}$ 上传输 T_{slice} 段时间数据, 采集这段时间内 $throughput$ 、RSSI 的历史纪录, 并进行平滑处理。

7) 根据捕获到的数据计算出 E_{scan} 和 E_{data} , 若 $T_r * t_c \leq E_{scan}$, 则设置 $N_s = \infty$, 并跳至(4), 在信道 $Chanl_{next}$ 继续传输数据 T_{slice} , 并转(2); 否则, 继续运行。

8) 根据捕获到的数据计算出 E_{scan} 和 E_{data} , 当前 STA 缓存剩余大小为 D_c , 计算接下来传输数据的时间为: $T_d = \frac{D - D_c}{v_d - E_{data}}$, 并在信道 $Chanl_{now}$ 上继续传输 T_d 段时间数据。

9) 结束平滑扫描, 并进入认证阶段。

4 实验与分析

实验在 NCTUNS^[17] 网络模拟器下模拟了一个无线局域网环境, 如图 4 所示。为了衡量 APBSH 的性能, 分别对 802.11 标准切换、平滑切换算法、APBSH 算法加以仿真实验, 并进行对比评价。

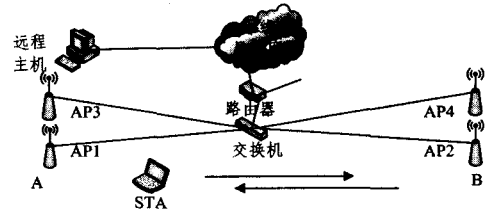


图 4 仿真试验中的无线局域网环境

如图 4 所示, AP1, AP3 工作在 6 号信道, AP2, AP4 则工作在 11 号信道。由于左右 AP 相隔甚远, 因此移动设备在它们之间移动需要进行切换, 并通过拓扑调整使得 STA 的移动范围始终位于 4 个 AP 的覆盖范围之内。实验选择了开放式认证协议作为它的第二层认证协议。STA 在 A, B 间往返移动一次。

表 1 列出了模拟无线局域网环境的主要参数。

表 1 无线网络环境参数

参数	描述	缺省值
Lsim	仿真时间长度	90s
v1	从 A 移动到 B 的移动速度	0.1m/s
v2	从 B 移动到 A 的移动速度	0.7m/s

表 2 列出了算法主要模拟参数。

表 2 算法模拟参数

参数	描述	缺省值
K_1	信号发射功率	15
n	传播衰减因子	4
t_c	扫描一个信道要花费的时间	1.1s
T_{slice}	采集数据的时间片	20ms

使用两个不同的指标评估自适应切换算法的性能: 丢包数和包延迟。丢包数是连续到达的响应包的序号差。图 5

(a)、5(b)、5(c) 横坐标是时间,纵坐标是包延迟,分别给出了 802.11 标准切换、平滑切换算法、自适应平滑切换算法在丢包情况下的对比数据。包延迟是往返时间的一半,图 6(a)、图 6(b)、图 6(c)横坐标是时间,纵坐标是丢包数,分别给出了 802.11 标准切换、平滑切换算法、自适应平滑切换算法在包延迟下的对比数据。

由图 5(a)、图 5(b)、图 6(a)、图 6(b)前一次切换效果比较可得,平滑切换算法较 802.11 标准切换的丢包率和包延迟都有较大改善,那是因为前者在扫描中插入了数据传输,使得数据包的丢失和延迟情况得到了较大缓解。

由图 5(b)、图 5(c)、图 6(b)、图 6(c)比较可得,虽然对于前次切换,两者效果相差无几,然而随着第二次切换的网络环境的较大改变,平滑切换算法失去了其优越性,而 APBSH 算法却没有受到太大影响,这是因为 APBSH 算法能自适应于不断变化的实际网络情况。

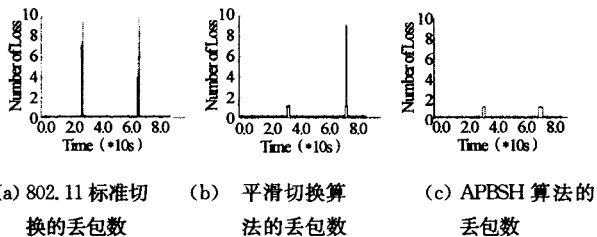


图 5

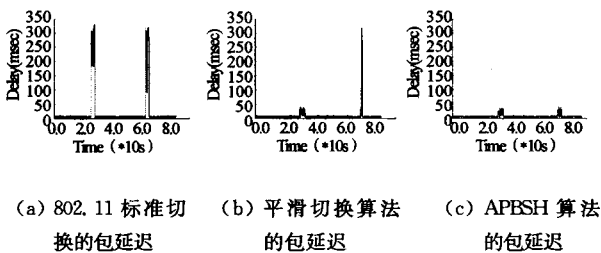


图 6

由此可知,在网络环境相对稳定时,平滑切换算法和 APBSH 算法较标准的 802.11 切换算法,丢包数和包延迟要低很多,并且丢包的抖动也少得多。随着网络环境的变化,APBSH 算法较平滑切换算法的切换性能有一定的改善,说明 APBSH 算法比前两种算法对环境更具有自适应性。

结束语 通过预测的定义,充分挖掘影响切换平滑性和数据服务质量的关键因素,自适应调节平滑切换的进度,不仅减少了数据包的丢失率,而且大幅降低了数据包的延迟抖动,为多媒体实时业务的无线应用提供了技术支持。在本文方法当中,如何将快速切换算法揉合到平滑切换,最终实现无缝切换是值得进一步研究的课题。针对预测的具体方式,借鉴更为复杂而科学的传统预测算法,使得预测更加准确高效也十分必要。

特定的网络环境应该选择特定的平滑扫描进度。如果移动设备当前连接 AP 的信号陡降,则需要马上完成扫描过程,因此必须拉长扫描子阶段,加快扫描完成进度。如果网络中数据传输任务加大,受到缓冲区大小的限制,则需要保证数据包的正常传输,必须拉长数据传输子阶段,适当减慢扫描完成

进度。本文方法提供了扫描进度自调节的灵活度。

参考文献

- [1] IEEE 802.11b. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band[S]. IEEE Standard, Sept. 1999
- [2] IEEE 802.11a. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band[S]. IEEE Standard, Sept. 1999
- [3] IEEE 802.11g. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band[S]. IEEE Standard, June 2003
- [4] IEEE 802.11n. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; Amendment; Enhancements for Higher Throughput[S]. IEEE Standard, Sept. 2007
- [5] Mishra A, Shin M, Arbaugh W. An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process [J]. ACM SIGCOMM Comp. Commun. Review, 2003, 33(2): 93-102
- [6] Velayos H, Karlsson G. Techniques to Reduce IEEE 802.11b MAC Layer Handover Time[C]//Proc. IEEE ICC 2004. 2004
- [7] Shin M, Mishra A, Arbaugh W. Improving the Latency of 802.11 Hand-offs using Neighbor Graphs[C]//Proc. ACM MobiSys 2004. 2004
- [8] Shin S, et al. Reducing MAC Layer Handoff Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs[C]//Proc. ACM MobiWac 2004. 2004
- [9] Ramani I, Savage S. SyncScan: Practical Fast Handoff for 802.11 Infrastructure Networks[C]//Proc. IEEE INFOCOM 2005. 2005
- [10] Brik V, Mishra V, Banerjee S. Eliminating Handoff Latencies in 802.11 WLANs using Multiple Radios; Applications, Experience, and Evaluation [C]//Proc. ACM Internet Measurement Conf. 2005. Oct. 2005
- [11] Pack S, Choi Y. Fast Handoff Scheme based on Mobility Prediction in Public Wireless LAN Systems[J]. IEE Proc. Commun., 2004, 151(5): 489-95
- [12] Mishra A, Shin M, Arbaugh W. Context Caching using Neighbor Graphs for Fast Handoffs in a Wireless Network[C]//Proc. IEEE INFOCOM 2004. 2004
- [13] Pack S, et al. SNC: A Selective Neighbor Caching Scheme for Fast Handoff in IEEE 802.11 Wireless Networks[J]. ACM Mobile Computing and Commun. Review, 2005, 9(4): 39-49
- [14] Liao Yong, Gao Lixin. Practical Schemes for Smooth MAC Layer Handoff in 802.11 Wireless Networks[C]//Proceedings of the 2006 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. 2006
- [15] Gudmundson M. Analysis of handover algorithms[C]//Vehicular Technology Conference. 1991
- [16] Wu Haitao, Tan Kun, Zhang Yongguang, et al. Proactive Scan: Fast Handoff with Smart Triggers for 802.11 Wireless LAN[C]//INFOCOM 2007. 2007
- [17] NCTUns 4.0 Network Simulator and Emulator[OL]. <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/nctuns.html>