第 35 卷 第 2 期 计 算 机 工 程 2009 年 1 月
Vol.35 No.2 Computer Engineering January 2009
·网络与通信· 文章编号：1000—3428(2009)02—0089—03 文献标识码：A 中图分类号：TP301.6

基于动态 Cache 的无线局域网快速切换算法

倪维国[1,2]，董永强[1,2]，张 聪[1,2]
(1. 东南大学计算机科学与工程学院，南京 210096；2. 东南大学计算机网络和信息集成教育部重点实验室，南京 210096)

摘 要：BSS 切换产生的时延和抖动会严重影响实时语音等实时业务的性能。为了提高用户获得的网络性能，该文提出一种基于动态阈值的切换触发机制，可以在保证切换灵敏度的前提下解决频繁切换的问题，在此基础上设计实现一种基于动态 Cache 机制的快速切换算法。实验结果表明，该算法可有效地减小切换时延，性能优于静态 Cache 机制。

关键词：无线局域网；IEEE 802.11 协议；快速切换

Fast Handoff Algorithm for WLAN Based on Dynamic Cache

NI Wei-guo[1,2], DONG Yong-qiang[1,2], ZHANG Cong[1,2]
(1. School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096;
2. Key Laboratory of Computer Network and Information Integration(Southeast University), Ministry of Education, Nanjing 210096)

【Abstract】 Real-time voice service is negatively influenced by the delay and jitter caused by Basic Service Set(BSS) handoff. This paper proposes a new handoff triggering mechanism with dynamic threshold, which is sensitive to signal variance while eliminating the Ping-Pong handoff effect. In order to achieve higher network performance, a fast handoff algorithm based on dynamic Cache is presented. Experimental result demonstrates that the algorithm effectively reduces handoff latency and outperforms other algorithms based on static Cache.

【Key words】 WLAN; IEEE 802.11 protocol; fast handoff

目前，基于IEEE 802.11b/g[1]协议的无线局域网(WALN)得到了广泛的部署和应用，WLAN上的实时应用如基于SIP协议的语音应用越来越受重视。无线站点(Station)在AP间移动时会进行BSS(Basic Service Set)切换，从而产生切换时延，造成数据包的丢失、延迟和抖动，无法满足一些时延敏感的实时应用要求，所以，有必要对BSS切换进行优化，减小时延，提高用户获得的网络性能。

1 BSS 切换触发和切换过程

1.1 切换触发

当 Station 发现所关联 AP 的无线链路质量严重下降时，须触发 BSS 切换，目前有 2 种触发方式：(1)如果 Station 在连续几个周期里没有收到来自关联 AP 的 Beacon 帧；(2)关联 AP 的信号强度 *RSSI*(Received Signal Strength Indicator)值小于一个既定阈值。触发方式(1)发生在 Station 即将离开 AP 的覆盖范围且信号非常微弱的情况下，此时所产生的数据包抖动是 VoIP 等实时应用无法忍受的；触发方式(2)可以灵敏地触发切换，但 *RSSI* 值具有时变性和不确定性，根据某一时刻的 *RSSI* 值触发切换往往造成频繁切换。

1.2 切换过程

BSS 切换过程可以分为 3 个阶段：探寻(scan)，认证(authentication)和关联(association)。3 个阶段时延的总和就是 BSS 切换的总时延。因为复杂的认证机制所带来的时延很大，所以目前对 BSS 切换算法的研究都假定认证采用 Open 或 Shared Key 方式，本文保留这一假设。

在BSS切换过程中，探寻阶段所产生的时延最大[2-3]，为了进一步减小切换时延，可以结合Cache机制：保留一个可能切换到的临近的AP信息表。在发生切换时先对Cache中的AP进行认证和关联，如果与其中一个AP关联成功，则不需要探寻过程；如果都失败了，再重新开始探寻过程。Cache的有效性非常重要，一般通过主动探寻(active scan)方式对其进行维护。目前的代表性的BSS切换算法有被动探寻(passive scan)方式[4]和主动探寻方式[5-7]。这些方法在网络拓扑相对简单和较少移动的情况下表现较好，但是这些算法中所维护的Cache在所有内容失败前相对固定，在网络情况复杂和移动环境下，性能会下降。

2 基于动态阈值的切换触发机制

针对实时应用的需求，本文提出了一种基于动态阈值的切换触发方式。为了克服 RSSI 的时变性和不确定性，设计了如下平滑处理方式：

$$RSSI_{t+1} = RSSI_t \times \alpha + Sample_{t+1} \times (1-\alpha)$$

其中，t+1 时刻的 *RSSI* 值由 t 时刻的 *RSSI* 值、t+1 时刻的采样值 *Sample* 和一个参数 α 确定，$0<\alpha<1$。但仅对 *RSSI* 值进行平滑处理并不能完全消除频繁切换，所以，本文提出了一种基于动态阈值调整的切换触发机制。首先定义 3 种阈值：(1)*normal_Threshold*：Station 和 AP 在正常通信情况下 AP 的 *RSSI* 下限值；(2)*prime_Handoff_Threshold*：主切换触发阈值；(3)*second_Handoff_Threshold*：次切换触发阈值。三者的大小关系为：*normal_Threshold* > *prime_Handoff_Threshold* > *second_Handoff_Threshold*。在 Station 的运行过程中，切换触发阈值按照如下条件进行设置和调整：

基金项目：国家自然科学基金资助重大项目(90604003)
作者简介：倪维国(1982－)，男，硕士研究生，主研方向：高性能计算机网络，无线/移动网络；董永强，讲师、博士；张 聪，硕士研究生
收稿日期：2008-07-20 **E-mail：**max_nwg@seu.edu.cn

(1)初始时的切换触发阈值设定为 *prime_Handoff_Threshold*；

(2)当成功切换到某一 AP 上时，将切换触发阈值调整为 *second_Handoff_Threshold*；

(3)直到关联 AP 的 *RSSI* 值不小于 *normal_Threshold* 时，将切换触发阈值调整为 *prime_Handoff_Threshold*。

这种切换触发机制既能保证足够的灵敏度，又能有效地解决频繁切换问题。

3 基于动态 Cache 机制的快速切换算法

为获得较好的可扩展性和可部署性，本文提出的切换算法只在 Station 上实现，无须对 AP 进行改进。

3.1 信道区分选择

IEEE 802.11b/g 协议规定的 11 个可用信道(channel)中只有 3 个完全不相交叠：1, 6 和 11，其余信道都有部分重叠，彼此干扰，影响通信质量。在 WLAN 部署中，AP 工作信道都会从 1, 6 和 11 中选择，基于上述考虑，把信道区分为：(1)Persistent Channel Set(简称为 P_chan_set)：1, 6, 11 信道；(2)Dynamic Channel Set(简称为 D_chan_set)：除 1, 6, 11 外的其余信道。

对这 2 个信道集合有区别地进行处理，P_chan_set 中的信道保持不变；D_chan_set 的信道数量会随主动探寻的结果动态变化。在某个信道上主动探寻驻留时间由 2 个参数决定：最小信道时间 *minChanTime* 和最大信道时间 *maxChanTime*。如果在最小信道时间内没有收到任何 AP 的 Probe Response 帧，且该信道属于 D_chan_set，将该信道从集合中删除；如果在最小信道时间内收到应答，则继续等待到最大信道时间。

3.2 动态 Cache 更新

1.2 节中的切换算法普遍存在一个问题：Cache 内容在失败之前相对固定，维护 Cache 只是更新某时刻 Cache 中 AP 的 *RSSI* 值。这种机制在图 1 所示的情况下效率很低：Station 沿图示轨迹由 A 向 B 移动，在 A 处时，与 AP2 关联，由于 Station 不在 AP4 的覆盖范围内，Cache 表里只有 AP1 和 AP3；更新 AP 时也仅仅更新 AP1, AP3 的信息，但当移动到 AP2 的边缘、进入 AP4 的范围发生切换时，Cache 表项中 AP1, AP3 已经失去有效性(超出了它们的覆盖范围)，与其关联会失败，必须重新进行 AP(AP4)发现工作。Cache 在维护时需要开销，所以，提高 Cache 的效率尤为重要。

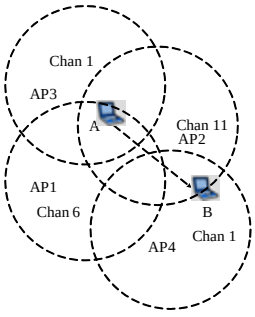

图 1 Cache 失败的场景

本文提出了一种动态 Cache 机制，Cache 中内容随着维护时的探寻过程动态变化。在维护过程中，如果在某一信道上发现新的 AP 且比 Cache 中相同信道上的 AP 性能更好，则用新的 AP 替换 Cache 中的同信道 AP；如果获得的 AP 在 Cache 中已经存在，则更新相应的信息。对于图 1 所示场景，在 A 处发现 3 个信道上有 AP 存在，根据动态 Cache 策略，在移动过程中更新 Cache 时，在信道 1 上会发现 AP4，用其替换 Cache 中同信道上的 AP3。在切换发生时，Cache 中已经有 AP4，所以，不会产生 Cache 失败的情况，提高了 Cache 的效率。

3.3 快速切换算法

快速切换算法 DCS-DC(Differentiated Channel Selection with Dynamic Cache)在切换发生时先检查 Cache，如果 Cache 内容非空，则挑选一个 AP 进行关联。如果关联成功，则调整切换触发阈值；如果关联失败，则挑选 Cache 中的下一个 AP，直到关联成功或者 Cache 中所有内容都失败为止。若 Cache 内容为空，则重新进行一般的主动探寻过程。

```
While (网卡活动){
 平滑处理 RSSI 值;
 If (RSSI 小于切换触发阈值)   &&  当前为 RUN 状态){
    While (Cache 中还有 AP 存在)
    {    选择一个 RSSI 最大的 AP(i);
        和 AP(i)关联;
     If (和  AP(i)关联成功){
    切换触发阈值调整为 second_Handoff_Threshold;
      break;   }
   else{   将 AP(i)  信息从 Cache 中删除;
  If (Cache 为空){
       重置 D_chan_set 信道集合;
  启动一般探寻过程;
  将探寻结果放入 Cache; }   } } }
  else If (RSSI  大于  normal_Threshold
         &&  当前为 RUN 状态)
   切换触发阈值调整为 prime_Handoff_Threshold; }
```

4 实验与结果分析

在移动终端上对上述切换触发机制和快速切换算法进行了原型系统的开发实现，并在实际部署的 WLAN 环境中进行了测试和分析。

4.1 实验环境和相关设置

实验环境 WLAN 中 AP 工作信道设置为 1,6 和 11，本实验用到了其中的 6 个 AP，其结构见图 2。

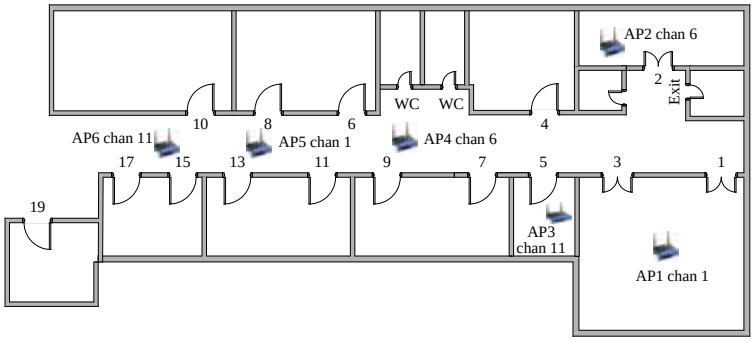

图 2 实验环境 WLAN 结构

Station 为一台 HP nc4200 笔记本电脑，操作系统为 Linux(内核 2.6.15)，配备 TP-Link WN510G 54 Mb/s Cardbus 无线网卡。选择开源的 Madwifi-ng 驱动进行开发，在终端实现了快速切换算法，采取定时机制对 Cache 进行动态更新，维护周期为 30 s。

4.2 实验和分析

为了模拟 VoIP 数据流，本文利用 Linux 中的 Ping 命令

每隔 20 ms 向对端节点(有线网络中的一台主机)发送 ICMP 请求，接收返回的 ICMP 应答，记录每个 ICMP 往返时延。在对端节点，通过 ethereal 软件获取数据包并进行处理，计算出每个 ICMP 请求到达的间隔。为了获得可靠的实验数据，实验一般在干扰源相对较少的周末或者晚上进行，并且保证每次的移动速度相近、路线一致。

实验结果如图 3、图 4 所示。

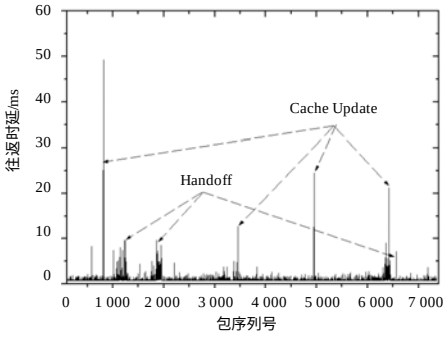

图 3　DCS-DC 算法 ICMP 往返时延

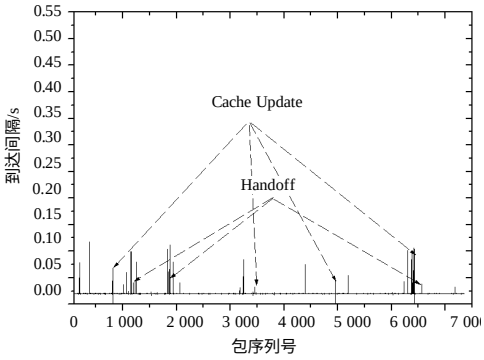

图 4　DCS-DC 算法 ICMP 请求到达间隔

从图 3 可以看出，切换发生在无线链路质量降低时，表现为 RTT 时延的增加。另外，每次 Cache 更新所产生的时延在 50 ms 以下，平均为 30 ms 左右。由于提高了 Cache 的效率，平均切换时延在 10 ms 左右，获得了较好的切换性能。图 4 反映了数据包在对端的到达情况，在发生 3 次切换的情况下，抖动数据包在所有交互的数据包中约占千分之一。

为了与静态 Cache 的性能进行比较，本文实现了静态的 Cache 维护策略。Cache 的维护同样使用定时机制。与某一 AP 成功关联后，从其余发现的 AP 中选择 2 个构建 Cache。实验结果如图 5、图 6 所示。

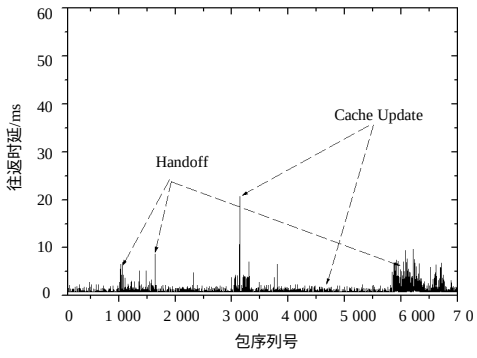

图 5　静态 Cache 下 ICMP 往返时延

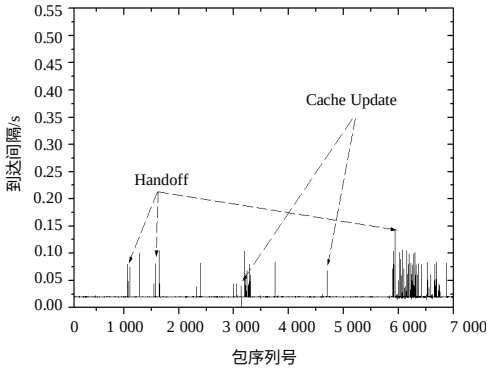

图 6　静态 Cache 下 ICMP 请求的到达间隔

从图 5 可以看出，Cache 维护所带来的时延比 DCS-DC 算法小，这是因为 Cache 中只有 2 项(当前关联 AP 不在 Cache 中)，而 DCS-DC 算法的 Cache 一般有 3 项。对于静态 Cache，虽然在第 3 次切换发生之前已经进行了 2 次 Cache 更新，但在切换发生时，Cache 中的 2 项先后关联失败，重新启动一般探寻发现过程，带来了较大的时延(图 5)和抖动(图 6 中为 150 ms 左右)。DCS-DC 算法在第 3 次切换发生时与动态 Cache 中的 AP 成功关联，所产生的时延和抖动较小，效果优于静态 Cache。另外，在非切换发生时刻出现了偶然的延迟和抖动增加，这在一定程度上反映了无线信道的不稳定性。

5　结束语

本文针对实时应用，提出了一种新的 BSS 切换触发机制，在考虑灵敏性的同时有效避免了频繁切换。设计实现了基于动态 Cache 机制的快速切换算法，经实验验证，本算法不仅有效减少了切换时延，而且性能优于静态 Cache。将来的工作主要是研究复杂认证方式下的快速切换问题。

参考文献

[1] IEEE Standard 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications[S]. 1999.

[2] Shin M, Mishra A, Arbaugh W. An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2003, 33(2): 93-102.

[3] Velayos H, Karlsson G. Techniques to Reduce the IEEE 802.11b Handoff Time[C]//Proc. of IEEE International Conference on Communications. [S. l.]: IEEE Press, 2004.

[4] Ramani I, Savage S. SyncScan: Practical Fast Handoff for 802.11 Infrastructure Networks[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM'05. San Diego, La Jolla, USA: IEEE Press, 2005.

[5] Shin M, Mishra A, Arbaugh W. Improving the Latency of 802.11 Hand-offs Using Neighbor Graphs[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. Boston, USA: [s. n.], 2004.

[6] Park S, Kim H, Park C, et al. Selective Channel Scan for Fast Handoff in Wireless LAN Using Neighbor Graph[C]//Proceedings of ITC-CSCC'04. Toyota, Japan: [s. n.], 2004.

[7] Liao Yong, Gao Lixin. Practical Schemes for Smooth MAC Layer Handoff in 802.11 Wireless Networks[C]//Proceedings of the 2006 International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Washington, USA: IEEE Computer Society, 2006.