

一种基于 Layer 2 Trigger 的移动 IPv6 快速切换方案的研究及实现^{*})

林涛 孙向辉 侯自强

(中国科学院声学研究所网络与数字信号处理技术研究中心 北京100080)

摘要 基本移动 IPv6 的切换时延很大,不能满足语音、视频等实时业务的要求。为此,IETF 制定了快速移动 IPv6 草案,但是该草案在基于 IEEE 802.11b/a 协议的无线局域网中很难实现。在该草案基础上,本文提出了一种基于 Layer 2 Trigger 的移动 IPv6 快速切换方案,利用链路层信号和快速 RA 机制有效地减少了切换时延。我们在基于网络处理器的路由器和 Linux 主机上实现了此方案。测试结果表明,本方案具有较低的切换时延;另外,由于隧道操作由硬件高速实现,因此切换前后的端对端时延抖动很小。

关键词 移动 IPv6, WLAN, 快速切换, 网络处理器

Research and Implementation of Mobile IPv6 Fast Handoff Based on Layer 2 Triggers

LIN Tao SUN Xang-Hui HOU Zi-Qiang

(Engineering Research Center of Digital Signal Processing, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences
Beisihuan West Street, Haidian District, Beijing 100080)

Abstract Because of high latency handoff, Mobile ipv6 can't meet demands for real-time services such as VoIP, video. For this, IETF proposed fast Mobile IPv6 draft. However, it is difficult to implement the draft in IEEE 802.11b/a WLAN environment. In this paper, we propose a new low latency handoff method based on the draft, where link layer trigger signal and fast RA are jointly used to decrease handoff delay. We also implement the method by using access router based on network processor and Linux machines. Finally, experiment results show that the system can achieve low latency handoff and low fluctuate of end to end latency.

Keywords Mobile IPv6, WLAN, Fast handoff, NP

1 前言

上世纪90年代中期,因特网凭借 WWW、E-mail 等免费业务掀起了一场数字化革命,极大地改变了人们的生活方式。如今随着计算机技术和通信技术的发展,笔记本电脑、个人数字助理(PDA)、手机等移动设备日益增多,人们已经不满足于仅在固定地点接入因特网,而是期望一种无处不在(Ubiquitous)的接入方式。基于 IEEE 802.11b/a 协议的无线局域网(WLAN)技术提供了一种低功耗、高数据传输率的无线接入手段,适应了无线接入的需求,但是却存在一些问题。WLAN 利用 MAC 层和物理层技术可以完成越区切换,即同一网段的不同无线接入点(AP)之间的切换,但对于跨网段的切换却无能为力。这是由于在 TCP/IP 协议中,使用包含本机和通信对端(CN)的 IP 地址和端口号的套接口对来标志一个连接。当移动节点(MN)移至另一子网时,为保证可达性 MN 会获取一个新的 IP 地址。MN 使用新 IP 地址继续与 CN 通信,会导致 MN 的 TCP 连接复位。

为解决上述问题,IETF(Internet Engineer Task Force)提出了 Mobile IP^[1]协议。在 Mobile IP 协议中,移动性问题被视为寻址和路由的问题。其思想是 MN 同时使用两个地址:家乡地址和转交地址。在网络层使用转交地址,以保证报文的

可达性;在传输层及以上的应用层使用家乡地址,以保证 TCP 连接。Mobile IP 在网络层解决移动性问题,一方面使得移动性对上层协议透明,另外独立于下面的物理承载网络。Mobile IPv6 借鉴了 Mobile IPv4 的主体思想,并具备了 IPv6 的优势,如自动配置、安全性等。

如上所述,Mobile IPv6 在设计时并没有考虑二层特性,这虽然保持了接入媒质的无关性,但也导致了切换时延非常大,不能满足如视频、音频等实时通信的要求;如果传输层协议是 TCP 时,会大大降低 TCP 的吞吐量。

为此,IETF 又提出了 Fast Mobile IPv6^[2]草案。该草案指出,通过某种外部事件,如链路层信号或者基于可用带宽、网络价格等因素的策略,在链路层切换没有进行之前触发网络层的切换过程,从而减小切换时延。在 WLAN 作为接入网络的情况下,主要是由二层信号触发三层切换,以下用 L2 Trigger 来表示这种信号。如果接入路由器(AR)具备报文缓存功能,那么将不仅能实现快速切换,甚至还可以实现无缝(Seamless)切换。实际上,该方案基于以下两点假设:

- MN 能够预测即将进行的链路层切换,即产生 pre-trigger 信号;
- MN 在真正的链路层切换前能够知道即将切换到哪个 AP,以及该 AP 所连接的 AR 的 IP 地址。

^{*} 基金项目:中科院知识创新项目(KGCX2-SW-102)。林涛 博士研究生,研究方向为移动 IP、移动互联网、嵌入式操作系统。孙向辉 博士研究生,主要研究方向为 IPv6、网络协议。侯自强 高级研究员,博士研究生,主要研究宽带网络和无线通信技术。

在草案中并没有对上述两点的实现进行说明, 这为协议实现带来很大的难度。尤其是第二个假设, 在当前的 802. 11b/a 协议下很难实现。

Hidetoshi Yokota^[3]等人将 AP 和一种专用的 MAC 网桥设备联合起来使用, 使得切换时间减少到几乎等同于链路层的切换时间, 大大减少了切换时延, 但却是以增加设备复杂度和网络成本为代价。Terry Cornall^[4]等人通过 L2 Trigger 和快速 RA 等改善标准 Mobile IPv6 的切换过程, 在信令报文传输时间可以忽略的情况下明显降低了切换时延。若 MN 距离家乡代理(HA)、CN 比较远时, 这时信令报文传输过程也会引入相当大的时延。

在本文中, 依据 IETF 的 Fast Mobile IPv6 草案, 提出了一种基于 L2 Trigger 的快速切换方案, 并且使得基于网络处理器的接入路由器(AR)上的隧道相关操作由硬件实现, 充分发挥 NP 的性能优势和灵活性。由于快速切换在移动节点和接入路由器之间进行, 因此切换时延与 MN 和 HA、CN 的距离无关。本文的第 3 部分, 将对链路层和网络层的切换过程、时延分别进行分析; 在第 3 部分, 详细阐述了快速切换方案; 在第 4 部分中将介绍本方案的实现, 其中重点描述了接入路由器的实现, 最后对实验系统进行测试、分析。

2 切换过程和时延分析

根据移动 IP 协议, 当移动节点跨网段移动时, 会依次进行链路层和网络层的切换。链路层切换是指移动节点与当前 AP 断开到与新 AP 建立连接的过程。在 IEEE 802. 11^[5]系列 WLAN 协议中, 该过程实质上是在 MN 和 AP 之间交互一系列的管理帧(Frame)。当链路层切换完成以后, MN 根据移动检测算法, 判断发生了三层切换, 然后就开始配置转交地址、绑定更新等过程。

2.1 WLAN 无线设备的链路层切换

随着 MN 位置的变化, 无线链路质量如信号强度、信噪比等参数可能会下降。当链路质量下降到某一特定的阈值时, 无线设备会启动链路切换过程。从这时起一直到链路切换结束, 上层网络应用程序将不能正常收发报文, 这就是链路层切换所引入的时延。链路切换可以大致分为三个步骤, 它们分别是: 信道扫描(Scan)、认证(Authentication)和重协商(Reassociation), 下面分别进行介绍。

•信道扫描: 存在两种扫描方式, 即主动方式和被动方式。在被动方式中, MN 侦听 AP 周期性广播的信标(Beacon)帧(间隔一般为 100ms)。在主动方式中, MN 主动发送探测请求(Probe Request)帧, 如果 AP 收到则发送探测应答(Probe Response)帧, MN 据此判断所扫描的信道是否有 AP 存在。这样, MN 依次扫描 WLAN 所有可用信道, 并将探测到的 AP 根据链路质量按照优先级排列。最后选取链路质量最好的 AP 作为待接入 AP, 以进行下面的认证。

•认证: 在有线网络中, 物理位置的局限性可以防止未授权的接入。802. 11 希望通过认证这一过程来完成类似的功能。

•重协商: 在该步骤中, 一方面在 MN 和 AP 之间协商数据传输率等信息, 另一方面完成 MN 和 AP 之间的位置关系映射。MN 完成认证后, 发送重协商请求(Reassociation Request)帧, AP 收到后进行相应的处理, 然后返回重协商应答(Reassociation Response)帧。至此, 链路层切换完成。

MN 收到重协商应答帧, 标志着链路层切换完成。因此, 可以将收到该帧作为触发网络层切换的事件, 即 L2 Trigger,

在本文的后部分将对 L2 Trigger 作进一步介绍。

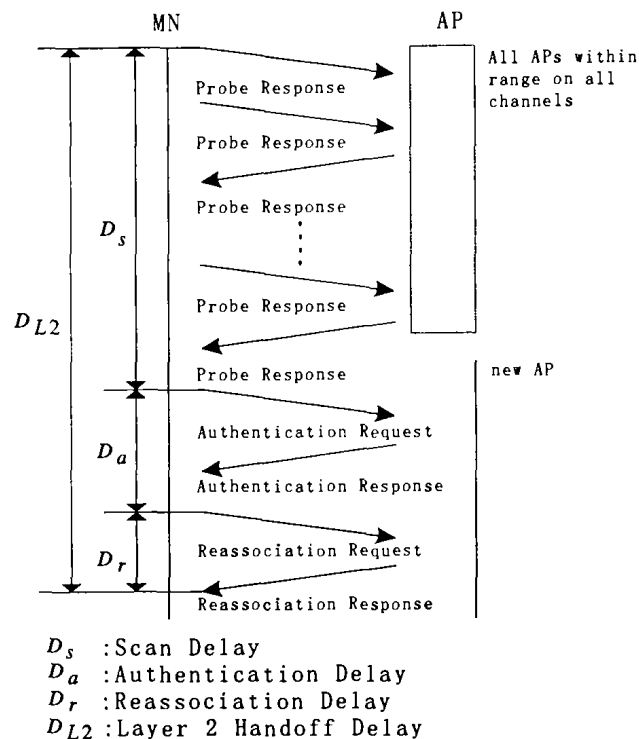


图1 链路层切换时序图

如图1所示, 链路层切换时延由上面三个步骤引起的时延组成, 其中信道扫描的时延最大, 至少占链路层切换总时延的 90%^[6]。链路层时延因无线设备而异, 采用 Lucent 无线网卡, Cisco AP 时, 链路层时延在 120ms 左右。

2.2 网络层切换

如上所述, 网络层切换主要包括三个步骤: 移动检测、地址配置和绑定更新。

2.2.1 移动检测 在移动 IPv4 中, 主要存在两种移动检测算法——惰性小区切换(LCS)和迫切小区切换(ECS)。LCS 算法规定, 只有当缺省路由器的生存期(其典型值为路由器公告间隔的 3 倍)过期后, 才切换至新发现的路由器; ECS 则是只要收到新的路由器公告(RA), 就进行切换。这两种算法同样适用于移动 IPv6, 只是在移动 IPv6 中 LCS 的判断依据不再是路由器的生存期, 而是路由器的可达性信息。在文[1]中提出两种可达性判断方法, 一种是根据路由器公告中的公告间隔选项, 如果在几个路由器公告间隔时间内没有收到路由器公告, 就认为该路由器不可达; 另一种是进行邻居不可达检测(NUD)。

显然, 和 LCS 相比, ECS 具有更小的时延。但是在有些情况下, ECS 算法的切换性能并不好, 例如移动节点进入基站 BS1 和 BS2 的信号重叠区后又返回的移动过程中, ECS 算法就会出现 Ping-Pong 切换。

下面我们分析在 IPv6 中 ECS 移动检测算法的时延。IPv6 路由器组播路由器公告的时间间隔应该是 $[R_{min}, R_{max}]$ 之间的一个随机数^[7], 则 ECS 延时的平均值 $\overline{L_{ECS}}$ ^[8]为:

$$\overline{L_{ECS}} = \frac{R_{max}^3 - R_{min}^3}{3(R_{max}^2 - R_{min}^2)} \quad (1)$$

假设 $R_{max} = nR_{min}$, 其中 $n > 1$ 。上式可以进一步简化为:

$$\overline{L_{ECS}} = \frac{(n^2 + n + 1)}{3(n + 1)} R_{min} \quad (2)$$

由上式可知, 为了减小移动检测时延, 就需减小路由公告的最小间隔 R_{min} 。虽然在移动 IPv6 中规定 R_{min} 为 0.05s, 但这

将消耗更多的网络带宽,尤其对于无线链路。因此我们假设 R_{min} 、 R_{max} 分别为 1s 和 1.5s, 则 $\overline{L_{ECS}}$ 为 633ms。

2.2.2 地址配置 当移动检测判断发生了三层切换, 移动节点将根据收到的 RA 报文配置新的转交地址(nCoa)。为了避免地址冲突, 在使用 nCoa 之前要进行重复地址检测(DAD)。根据 RFC2462, 由于 MN 要连续发送若干个邻居请求报文, DAD 至少需要 1秒^[9]。

2.2.3 绑定更新 该过程的时延主要由两个因素决定: MN 与 HA/CN 的距离、网络拥塞状况, 因此具有一定的不确定性。

2.3 切换时延

整个切换时延 D_{HO} 由链路层切换时延和网络层切换时延组成:

$$D_{HO} = D_{L2} + D_{MD} + D_{AC} + D_{BU} \quad (3)$$

其中, D_{L2} 表示链路层切换时延, D_{MD} 、 D_{AC} 、 D_{BU} 分别表示移动检测、地址配置和绑定更新引入的时延。根据前面的分析, 主要的时延开销在于移动检测和地址配置, 另外如果 MN 距离 HA、CN 较远时绑定更新报文的传输开销也不能忽略。通常为了不影响通话质量, IP 语音电话(VoIP)的双向时延要求在 400ms 以内。因此, 基本移动 IP 的切换方案显然不能满足语音等实时应用的需求。

3 基于 L2 Triggers 的快速切换

和 IETF 的 Fast Mobile IPv6 草案相比, 我们通过 L2 Trigger 和快速路由器公告显著地减小了移动检测过程的时延。在下文中, 将对快速切换过程进行详细介绍。

虽然在 IEEE 802.11 网络中实现真正的 Pre-Trigger 比较困难, 但是其他的链路事件也可以有效地改善切换性能。如 2.1 节所述, 当 MN 收到 Reassociation-Response 时, 表示链路切换已经完成, 因此把该帧作为 Link-Up Trigger, 触发网络层进行移动检测。

MN 收到上述的 L2 Trigger 信号后, 立即发送路由器请求(RS)报文进行移动检测。为了避免冲突, 即如果一条链路上存在多个路由器, 这些路由器同时响应 RS, RFC2462 规定路由器在发送 RA 报文前应随机延迟 0s 到 0.5s。James Kempf^[10] 等人提出了一种快速 RA 方案, 即在一条链路上允许有一个路由器不进行上述延时, 而是立即发送 RA。在本方案中, 借鉴了这种作法。为区别于其他 RA 报文, 我们把此快速 RA 机制下发送的路由器公告报文称为 FRA。

在快速切换过程中, 为了在 AR 之间建立双向隧道, MN 需要知道 AR 的全局 IPv6 地址。因此, 通过修改路由器公告发送程序, 使之在 RA 的前缀选项中包含 AR 的全局地址。

MN 维护两个变量: cAR-addr、aAR-addr。其中, cAR-addr 表示 cAR 的全局 IPv6 地址, cAR 是指 MN 当前连接的接入路由器。aAR-addr 表示 aAR 的全局 IPv6 地址, aAR 是指 MN 在其链路上已经完成向 HA 注册过程的接入路由器。

当 MN 收到 FRA 后, 将其中包含的 IP 地址(记为 nAR-addr)依次与 cAR-addr、aAR-addr 比较。由此可大致分为以下三种切换情景。

3.1 cAR-addr=nAR-addr

该情景表示 AP1、AP2 属于同一个网段, 因此虽然发生了链路层切换, 但并没有网络层切换。这时, MN 不进行任何处理。

3.2 CAR-addr≠nAR-addr aAR-addr≠nAR-addr

该情景又可以分为两种情况: 典型切换和三方切换。二者的处理基本类似, 下面着重介绍典型切换的情形。

3.2.1 典型切换

如图 2 所示, 典型切换表示 MN 由 AP1 移动至 AP2, 并且滞留在 AP2 直至完成整个注册过程。图 3 是 MN 在典型切换时的时序图, 如图所示, MN 收到 FRA 后, 根据上述的移动检测算法判断发生了三层切换, 因此向 aAR 发送快速绑定更新(FBU), 该报文包含在 aAR 链路上配置的转交地址 aCoa 与 nAR 的地址——nAR-addr。aAR 收到 FBU 报文后, 把 MN 的 aCoa 和 nAR-addr 绑定在一起, 使得 aAR 截获所有目的地址是 aCoa 的数据包, 通过隧道封装后发送到 nAR。之后 aAR 发送切换初始化(HI)报文到 nAR。

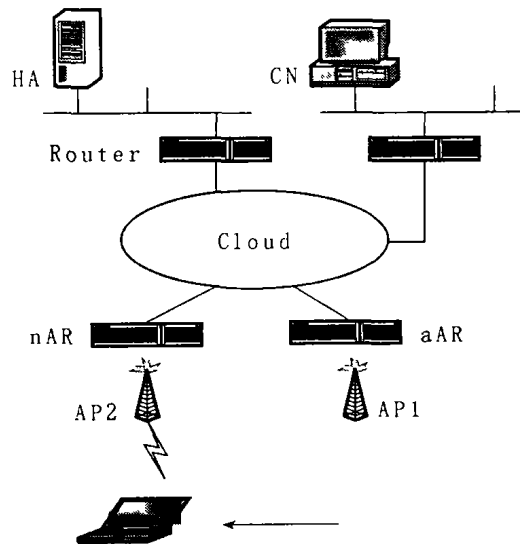
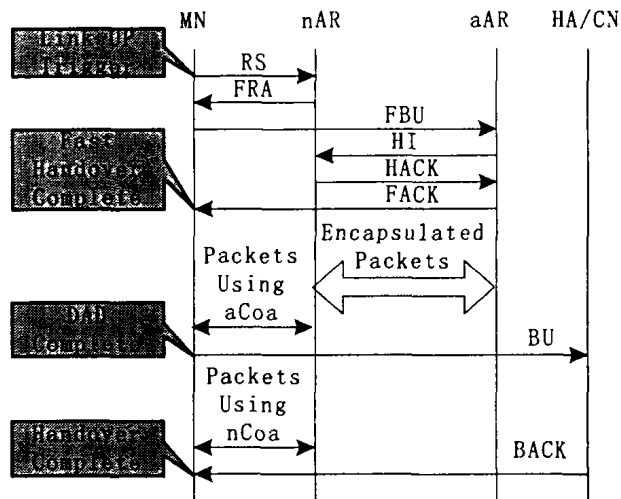


图2 典型切换情景

HI 报文的目的是通知 nAR 建立双向隧道, 以便 MN 可以继续用 aCoa 保持原有的通信。另外 nAR 还要为 aCoa 添加一条特定主机路由, 使得经 aAR 封装的目的地址为 aCoa 的报文在 nAR 处解封封装后能够正确地转发至 MN。nAR 建立隧道、主机路由后, 向 aAR 发送切换应答(HACK)报文。



注: 实线表示信令报文
虚线表示数据报文

图3 典型切换的时序图

如果 HACK 报文表明 nAR 已成功建立了隧道和主机路由, 则 aAR 为之前建立的隧道添加相应的路由表项, 然后向 MN 发送快速绑定更新应答(FACK)报文。MN 收到 FACK,

标志快速切换过程完成。此后, MN 可以继续使用 aCoa。

当 MN 收到 FRA 报文后, 同时开始配置新的转交地址 nCoa, 然后再执行 DAD 过程。DAD 完成后, MN 就可以用 nCoa 作为源地址进行正常通信, 如向 HA、CN 发送绑定更新 (BU) 报文进行注册等。当 MN 收到来自 HA 的绑定更新应答 (BACK) 报文, 整个注册过程完成。

3.2.2 三方切换 是指 MN 有由 aAR 移动至 pAR, 在 pAR 处还没有完成整个注册过程, 就又移动至另一个接入路由器 nAR, 然后在 nAR 完成了注册。

三方切换的基本过程与正常切换类似, 区别在于 aAR 收到 FBU 后, 不仅向 nAR 发送 HI 报文请求建立隧道, 还要向 pAR 发送 lifetime 为 0 的 HI 报文请求其删除之前建立的隧道。

3.3 cAR_addr ≠ nAR_addr
aAR_addr = nAR_addr

该场景表示在两个 AP 之间发生了 Ping-Pang 切换, 即 MN 由 aAR 移动至 nAR, 在 nAR 还没有完成注册就又立即返回 aAR。

出现这种情况后, MN 向 aAR 发送 lifetime 为 0 的 FBU 报文。aAR 收到后一方面删除隧道, 令一方面为 MN 建立正常的路由。此后, aAR 就可以正常转发 MN 的报文。

4 快速切换方案的实现及性能分析

在本节中, 将首先介绍实验系统, 并着重介绍在基于网络处理器的 AR 上快速切换相关操作的实现, 最后对实验系统的切换性能进行分析、讨论。

4.1 实验系统

基于赫尔辛基大学(芬兰)MIPL 项目组开发的移动 IPv6 (版本号为 0.9.2), 我们编写了快速切换相关代码, 使之支持快速切换功能。在本实验系统中, HA 除了作为移动主机的家乡代理外, 还是家乡网络的缺省网关。为了更接近实际运行网络, 在 AR 和 HA 之间放置一台 FreeBSD 路由器。AR 是我们实验室和其它单位联合研制的基于 Vxworks 操作系统的 IPv6/IPv4 宽带接入路由器。WLAN 接口卡采用 Lucent 出品的 Orinoco 无线网卡, AP 采用 Intel 产品。

表1 实验系统中的设备配置

类型	操作系统	主频/内存
MN	Linux 2.4.18	1.0G/128M
HA/CN	Linux 2.4.18	1.8G/256M
Router	FreeBSD 4.6	1.8G/256M

4.2 支持快速切换的接入路由器

IPv6/IPv4 宽带接入路由器的内部结构大致包括三部分: 网络处理器、CPU 和交换结构。网络处理器是为高效处理网络流量而优化设计的专用处理器, 具有高处理速度和可编程性, 通过和协处理器的配合使用, 可以取得高转发性能和业务的高度灵活性。因此网络处理器/协处理器主要负责数据层面功能, 如数据包的实时处理、路由查询等; CPU 负责控制层面功能, 如网络管理、路由维护等; 交换结构则实现数据包的调度和高速转发。

在本实现中, CPU 和网络处理器进行以下功能划分: 快速切换信令报文, 如 FBU、HI 等, 由 CPU 完成, 而报文的隧道封装/解封由网络处理器完成。这样, 将较为复杂的隧道操作由网络处理器处理, 可以充分发挥网络处理器的性能和灵活性。

在实验系统中, 接入路由器的主控 CPU 频率为 266M, 网络处理器主频为 400M。

4.3 性能分析

在本方案中, 总的切换时延 D_{HO} 可以表示为:

$$D_{HO} = D_{L2} + D_{MD} + D_{FBU} \quad (4)$$

其中, D_{L2} 、 D_{MD} 仍然分别表示链路层切换时延和移动检测时延, D_{FBU} 是从 MN 发送 FBU 到收到 FACK 之间的时间。

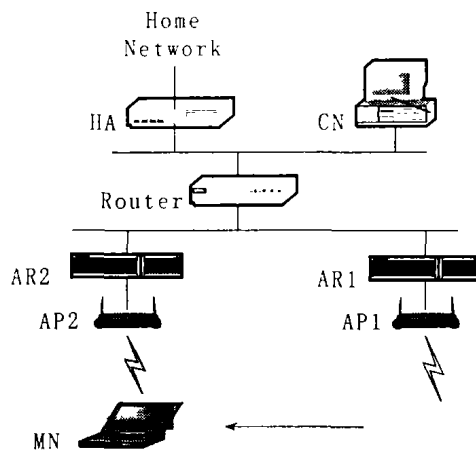


图4 实验系统示意图

我们对各项时延进行测试。链路层切换时延 D_{L2} 的测试方法如下: CN 以 10ms 的间隔向 MN 发送 Echo Request 报文, 当 MN 由 AP1 移动至 AP2 时, 由于 AP1、AP2 属于同一网段, 因此仅发生链路切换, 通过统计 MN 的丢包数, 可以粗略估计 D_{L2} 。测试其余各项时延的网络拓扑如图 4 所示, 这时 AP1 和 AP2 位于不同的网段, 当 MN 由 AP1 移动至 AP2 时会发生网络层切换, 然后根据信令报文之间的时间间隔可以测出各项时延。接入路由器发送 RA 的最小间隔和最大间隔分别为 1s、1.5s。测试结果如表 2 所示, 表中各项为多次测试的平均值, 其中 MIPv6 表示基本移动 IPv6 方案, FMIPv6 表示基于我们实现的方案。

表2 两种方案中的各项时延比较(单位: msec)

	D_{L2}	D_{MD}	D_{AC}	D_{BU}/D_{FBU}
MIPv6	116	732	2.6	0.6
FMIPv6	116	12	NO	39

从表 2 可以看出, 由于在快速切换方案中采用了 L2 Trigger 和快速 RA 机制, FMIPv6 的移动检测时延 D_{MD} 明显低于 MIPv6。在 MIPL 的基本移动 IPv6 实现中, 当 MN 收到一个新的 RA 报文后, DAD 检测和发送 BU 报文同时进行, 因此 MIPv6 的地址配置时延 D_{AC} 可以忽略。而在 FMIPv6 中, MN 移动至新的网络后, 暂时仍用之前的转交地址通信, 因此快速切换期间并不需要配置新的地址, 也就不存在 D_{AC} 。表中 FMIPv6 的 D_{FBU} 比 MIPv6 的 D_{BU} 大了很多, 这是由于 AR 对 FBU 报文的处理比 HA 对 BU 报文的处理复杂, 另外我们采用的接入路由器的主控 CPU 性能相对较低。但是当 MN 距离 HA 较远时, 基本移动 IP 中 BU/BACK 报文的传输将会引入一定的时延, 而在本方案中则不存在这样的问题。

快速切换完成后的一段时间, MN 使用原来的转交地址进行通信。这时 aAR 和 nAR 需要对这些报文进行 IPv6 隧道封装和解封装操作, 这样就会在 MN 和 CN 之间引入端对端时延。AR 的隧道操作的效率决定了时延的大小, 因此我们也进行了相应的测试。测试方法与上面类似, 使 CN 以 10ms 间

(下转第 45 页)

QoS 参数进行了定义,但强调的重点有所不同。这是因为 ITU-T 的定义来源于对数据网络(包括 ATM、帧中继等)性能参数的研究,而 ATM 和 IP 网有着本质的不同:IP 网是分片的且无连接。测量有很多分类标准。常用的是按照测量过程中是否向网络中发送探测包,分为主动测量和被动测量。主动测量适合对端到端的 QoS 参数进行测量,而被动测量通常用于与网元相关的度量值。在实际的测量过程中,具体采用哪种测量方法,要视实际情况而定。QoS 测量的应用是多方面的,其中 QoS 性能评估和网络推测是其主要的应

参考文献

- 1 ITU-T Recommendation I350. General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDN. March 1993
- 2 ITU-T Recommendation I380. Internet protocol data communication service-IP packet transfer and availability performance parameters. Feb. 1999
- 3 Paxson V, Almes G, Mahdavi J, et al. Framework for IP performance metrics. FRC2330, IETF, May 1998
- 4 Mahdavi J, Paxson V. IPPM metrics for measuring connectivity. RFC2678, IETF, Sept. 1999
- 5 Almes G, Kalidindi S, Zekauskas M. An one-way delay metric for IPPM. RFC2679, IETF, Sept. 1999
- 6 Almes G, Kalidindi S, Zekauskas M. A round-trip delay metric for IPPM. RFC2681, IETF, Sept. 1999
- 7 Almes G, Kalidindi S, Zekauskas M. An one-way packet loss metric for IPPM. RFC2680, IETF, Sept. 1999
- 8 Demichelis C, Chimento P. IP packet delay variation metric for IP performance metrics. RFC3393, IETF, Nov. 2002
- 9 Kosnar T. Traffic analysis and infrastructure monitoring in CESNET2 network. passive and active measurement workshop, Amsterdam, April 2001
- 10 Cleary J, Donnelly S, Graham I, et al. Design principles for accurate passive measurement. passive and active measurement workshop, Hamilton, New Zealand, April 2000
- 11 Laine J, Saaristo S, Prior R. RUDE and CRUDE: Real-time UDP data emitter and collector, May 2001. <http://cvs.atm.tut.fi/rude/>.

- 12 程时端. IP QoS 技术的现状与发展趋势. 中兴通讯技术, 2003, 48
- 13 Strohmeier F, Dorken H, Hechenleitner B. AQUILA: distributed QoS measurement. In: 8th Intl. Conf. on Advances in Communications and Control, Crete Greece, 2001
- 14 Salamati S, Fdida S. A framework for interpreting measurement over internet. Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication, 2003. 87~94
- 15 Andersen D G, Feamster N, Bauer S, et al. Topology inference from BGP routing dynamics. ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop, 2002. 243~248
- 16 Caceres R, Duffield N G, Horowitz J, et al. Multicast-based inference of network internal loss characteristics. IEEE Trans on Information Theory, 1999, 45:2462~2480
- 17 Presti F L, Duffield N G, Horowitz J, et al. Multicast-based inference of network-internal delay distributions. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 10(6): 761~775
- 18 Duffield N G, Presti F L. Multicast inference of packet delay variance at interior network links. IEEE Infocom 2000, 2000. 1351~1360
- 19 Duffield N G, Horowitz J, Presti F L, et al. Network delay tomography from end-to-end unicast measurements. In: Proc. of the 2001 Intl. Workshop on Digital Communications 2001-Evolutionary Trends of the Internet, Sept. 2001
- 20 Duffield N G, Presti F L, Paxson V, et al. Inferring link loss using striped unicast probes. In: proc. of IEEE Infocom, 2001, 2: 915~923
- 21 Keshav S. A control-theoretic approach to flow control. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1995, 25(1): 188~201
- 22 Carter R L, Crovella M E. Measuring bottleneck link speed in packet-switched networks. performance evaluation, 1996, 28:297~318
- 23 Jain M, Dovrolis C. End-to-end available bandwidth: measurement methodology, dynamics, and relation with TCP throughput. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2003, 11(4): 537~549
- 24 Kuzmanovic A, Knightly E W. Measurement-based characterization and classification of QoS-enhanced systems. IEEE Trans. on parallel and distributed systems, 2003, 14(4): 671~685

(上接第31页)

隔向 MN 发送 Echo Request 报文,然后通过比较快速切换前后的往返时间(RTT)可以看出隧道操作所引入的端对端时延,图5为测试结果。由该图可以看出,在第13个 Echo Request 报文处开始切换,并在第29个报文处完成快速切换(快速切换时延大致为160ms),之后 MN 仍用以前的转交地址 aCoa 通过 AR 之间的隧道进行通信,直至在第94个报文处完成向 HA/CN 注册过程,至此整个切换完成,此后 MN 开始使用新的转交地址 nCoa。快速切换前后 RTT 相差小于0.5ms,说明 AR 的隧道操作对于端对端时延基本上没有影响,因此 AR 的隧道实现是高效的。

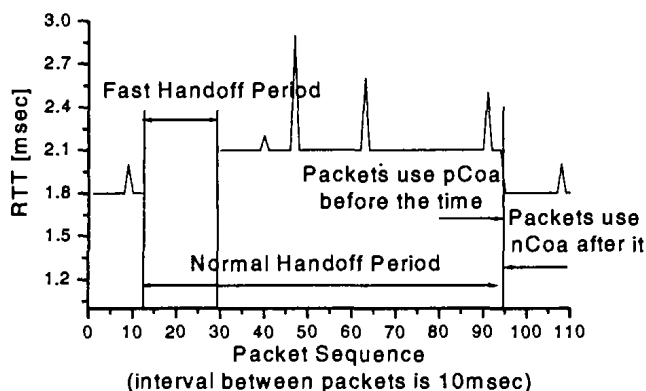


图5 切换过程中 ping 报文的往返时间

结论 在本文中,我们提出了一种基于 L2 Trigger 的快速切换方案。和 IETF 的快速切换方案相比,本方案利用链路

层信号触发网络层的切换过程,并通过快速 RA 机制显著减少了移动检测时延,从而加快了整个快速切换过程。最后,我们在基于网络处理器的路由器和 Linux 主机上实现了此方案。测试结果表明,实验系统具有低切换时延特性;此外,由于隧道操作由硬件高效实现,因此快速切换前后的端对端时延抖动较小。下一步将对快速切换情形下的 AAA 机制进行研究。

参考文献

- 1 Johnson D B, Perkins C. Mobility support in IPv6, draft-ietf-mobile-ipv6-15. txt(work in progress), July 2001
- 2 Dommety G. Fast Handovers for Mobile IPv6, draft-ietf-mobileip-fast-mip6-04. txt(work in progress), Nov. 2001
- 3 Yokota H, et al. Link Layer Assisted Mobile IP Fast Handoff Method over Wireless LAN Networks. In: proc. of ACM Mobicom 2002, Sep. 2002
- 4 Cornall T, et al. Layer 2 triggers improve Handover in Wireless Mobile IPv6. In: proc. of 2nd ATCrc Telecommcnation & Networking Conf. Oct. 2002
- 5 ANSI/IEEE Std 802. 11, 1999 Edition Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC)and Physical Layer(PHY)Specifications
- 6 Mishra A, et al. An Empirical Analysis of the IEEE 802. 11 MAC layer Handoff Process. Dept of Computer Science University of Maryland. [CS Technical Report Number CS-TR-4395]
- 7 Narten T, et al. Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6), RFC2461, Dec. 1998
- 8 Andersen T W, Lildballe A. Seamless Handoff in Mobile IPv6. [Master Thesis]. June 2001
- 9 Thomson S, Narten T. IPv6 Stateless Address Autoconfiguration. RFC2462, Dec. 1998
- 10 Kempf J, Pentland B. IPv6 Fast Router Advertisement, draft-mkhalil-ipv6-fastra-02. txt, Oct. 2002