

# 层次移动 IPV6 域间切换的性能分析及优化

陈 蕾<sup>1</sup>, 杨 鹏<sup>1</sup>, 何剑锋<sup>2</sup>

CHEN Lei<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>1</sup>, HE Jian-feng<sup>2</sup>

1. 重庆文理学院 数学与计算机科学系, 重庆 402160

2. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400044

1. Department of Maths and Computer Science, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China

2. College of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044, China

E-mail: 67638515@163.com

**CHEN Lei, YANG Peng, HE Jian-feng. Performance analysis and optimization of inter-domain handover in HMIPv6. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(34): 123-125.**

**Abstract:** This paper analyzes the process of inter-domain handover in HMIPv6. Aimed at the shortcomings of inter-domain handover, it brings forward optimization scheme, which is correspondent binding scheme based on early binding updates option and transmission packet scheme through temporary tunnel between new and old router. The purpose of this scheme is to reinforce the ability to support alternant real-time application. Finally, the superiority of the proposed scheme is proved by mathematical performance analysis.

**Key words:** hierarchical mobile IPv6; handover; packet loss

**摘 要:** 分析了 HMIPv6 域间切换过程, 针对其域间切换中存在的不足提出了优化方案, 融合基于提前绑定更新选项的对端绑定方法与通过新旧路由器间临时隧道转发分组的方法提高对交互式实时应用的支持能力, 进一步改善 HMIPv6 域间切换性能。最后采取数学推导的方式对优化之后的性能与 HMIPv6 的性能进行分析与比较, 直观地证明了优化方案的优越性。

**关键词:** 层次型移动 IPv6; 切换; 分组丢失

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.34.038 **文章编号:** 1002-8331(2008)34-0123-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

随着宽带无线接入技术的发展, 移动性成为下一代 Internet 不可缺少的特征, 而在 IP 层引入移动性可以融合各种不同的无线接入技术, 为数据、语音、视频等业务提供一个统一的传输平台。当移动用户需要进行多媒体服务时, 面临的最大难题是怎样减少因切换时延而产生的中断时间, 从而提供具有服务质量(QoS)保证的实时业务。因此要求无线接入有良好的切换性能以减小时延, 并尽可能减小资源消耗。

## 1 HMIPv6 域间切换过程分析

在移动 IPv6 协议<sup>[1]</sup>中, HMIPv6<sup>[2]</sup>是对移动 IPv6<sup>[2]</sup>进行补充的一种“微移动”协议。HMIPv6 利用“区域划分”的思想, HMIPv6 在逻辑上将整个网络划分成不同的“域”, 每个域由一个特定的称为“移动锚节点”的实体来管理, 这个 MAP 充当 MN 的一个临时家乡代理转发 MN 与 CN 之间的分组。这种采用分级的思想区别小区域移动与大区域移动是非常适合互连网的, 因为这样有以下两个明显的优点: 第一, 它提高了切换性能, 因为小区域切换被限制在了一个很小的网络范围内, 所以, 它可以加快切换的速度、减少切换时的丢包率。第二, 它明显地

减少了网络中的切换管理信令, 避免了网络中的信息拥塞, 这是因为, 在一个域内的移动, 它的切换信令不会传送到整个网络中去。但是在域间切换过程中, 为了通信安全, CN 只有通过返回路由可达过程的确认, 才能接收 MN 的绑定更新消息并采用优化路由。返回路由可达过程需发送家乡测试初始 HoTI、家乡测试 HoT 和转交测试初始 CoTI、转交测试 CoT 两个消息对进行家乡和转交地址测试, 且家乡地址测试经家乡代理转发, 即使并行进行家乡地址测试和转交地址测试, 该过程也至少造成 MN 经 HA 至 CN 的一个往返延迟<sup>[3]</sup>。这些延迟严重影响了 HMIPv6 域间切换的性能及实时数据流的应用。为此对 HMIPv6 域间切换提出了一种优化方案。

## 2 HMIPv6 域间切换的优化方案

为了减少绑定造成的额外延迟<sup>[3]</sup>, 更好适应交互式的实时应用, 对切换过程进行了改进。把返回路由可达过程改到不影响切换延迟的时段进行, 即当使用旧本地转交地址时, 提前进行家乡地址测试, 并行进行家乡注册和转交地址测试, 同时把经 MN 鉴别的提前绑定更新<sup>[4]</sup>消息作为转交地址测试初始 CoTI

**基金项目:** 重庆市教育委员会科学技术研究项目(No.KJ071203); 重庆文理学院重点科研资助项目(No.Z2006sj31); 重庆文理学院科研启动经费课题资助。

**作者简介:** 陈蕾(1979-), 女, 讲师, 主要研究方向: 计算机网络与通信; 杨鹏, 男, 讲师, 研究方向为高性能网络与路由协议; 何剑锋, 硕士。

**收稿日期:** 2008-03-10 **修回日期:** 2008-05-30

消息的一个移动选项发送到 CN 并进行试探性绑定, CN 同样把提前绑定确认消息作为转交地址测试 CoT 消息的一个选项返回 MN, 且进行转交地址测试时协作性地用新本地转交地址发送分组, CN 收到提前绑定更新选项后, 也可用新本地转交地址发送分组。选项采用“类型-长度-值”(TLV) 编码格式。该改进方法不仅消减少了标准绑定所造成的额外延迟, 而且提高了对交互式实时应用的支持能力。

### 2.1 优化方案设计思想

(1) 以层次型移动 IPv6 架构为基础, 不需对架构做任何修改。其拓扑结构如图 1。

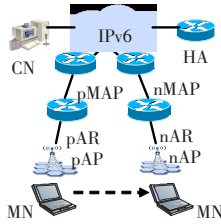


图 1 S-EBUO 的拓扑结构图

(2) 将切换过程与移动节点的运动模式结合起来, 根据不同的运动模式采取不同的切换策略。

假定 MN 以低速移动, 例如 2 m/s, 且 MN 只在相邻两个 MAP 域间切换。为便于讨论, 将 MN 的运动模式(仅指切换过程中的运动状态)分为线性移动、随机移动(包括乒乓运动)、静止在两个 MAP 重叠区域中三种类型, 如图 2。

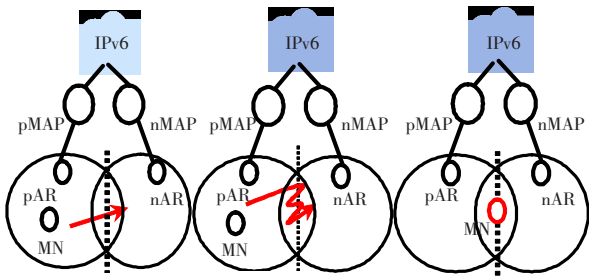


图 2 MN 的运动模式

根据检测的运动模式 MN 采取如下切换策略: MN 线性移动时, 从 nAR 收到的信号强度达到链路切换阈值条件时, MN 切换到 nAR, 否则不发生切换。若 MN 在 pMAP 和 nMAP 的重叠区域做乒乓运动或静止在重叠区域中时, 则 MN 一直不撤消与 pMAP 建立的隧道, 从 pMAP 和 nMAP 同时接收分组。

(3) 将基于提前绑定更新的对端绑定方法运用于层次型移动 IPv6 中, 以减少切换后分组发送延迟。

(4) 运用通过新旧接入路由器间隧道转发分组的思想, 结合 HMIPv6 分组需经 MAP 封装转发的特点, 采取向 pMAP 发送 FBU 消息建立 pMAP 至 nAR 间临时隧道转发分组的策略来减少切换后分组接收延迟, 以提高对交互式实时应用的支持能力。

(5) 采取缓存策略来减少分组丢失。即 pMAP、pAR 及 nAR 缓存切换过程中收到的分组并负责转发。

### 2.2 MN 线性移动的实现

为便于表述, 同样把切换过程分为准备切换、切换进行、切

换之后三个时段。MN 使用旧区域转交地址的时段为准备切换时段, MN 断开原链路至 CN 完成试探性绑定为切换进行时段, 也是影响通信中断及切换延迟的关键时段, CN 完成试探性绑定之后的时段为切换之后时段。图 3 说明了一次典型的线性移动中优化之后消息交互过程。

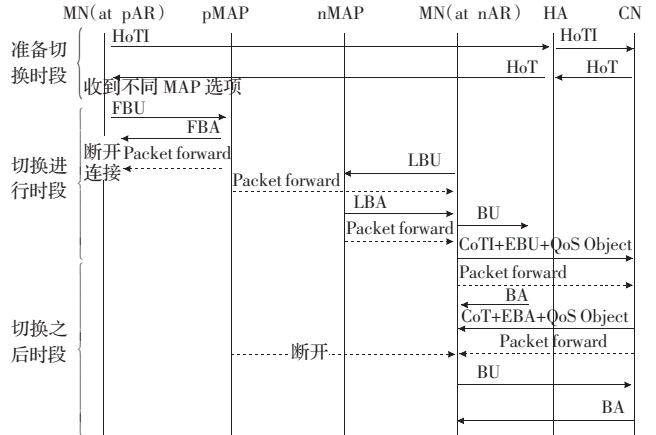


图 3 S-EBUO 消息交互过程

### 2.3 MN 随机移动的实现

MN 随机移动时, 切换过程与线性移动基本相同, 唯一不同的是一直不撤消与 pMAP 建立的隧道, 从 pMAP 和 nMAP 两条路径同时接收分组。MN 移动到一个 MAP 域内或者单个 AR 信号区域内时, MN 则撤消与另一个 MAP 之间建立的绑定, 只从当前 MAP 收发分组。

### 2.4 MN 静止在两个 MAP 重叠区域中的实现

对于 MN 运动至网络重叠区域中静止时的情况, 若 nAR 的信号强度未达到链路切换的阈值条件时, MN 不发生切换。否则, 切换过程与线性移动类似, 只是 MN 使用两个 nRCoA 并注册两个 MAP, 从 pMAP 和 nMAP 两条路径同时接收分组。

## 3 性能分析

性能参数包括切换延迟、收发分组延迟、丢失分组数。下面将从这三个方面来分析优化之后的性能。

首先给出本文所用到的记号和符号。

$i_{ip}$ , 分组的平均发送间隔;

$i_{ip}/2$ , MN 开始切换链路的时间与 MN 最后一次接收到分组的时间之差的平均值;

$D_{L2}$ , 链路层切换(二层切换)延迟;

$D_{CoA}$ , 移动检测、配置 LCoA 及重复地址检测延迟;

$D_{unc}$ , WLAN 中等待占用无线信道的平均延迟;

$A, i_{ip}/2 + D_{L2} + D_{CoA} + D_{unc}$  四者之和;

$D_{MH}, D_{MC}, D_{MnAR}$ , MN 与 HA、MN 与 CN、MN 与 nAR 的传输延迟(包含有线链路延迟和无线链路延迟);

$D_{Mp}, D_{Hp}, D_{pARp}, D_{nARp}, D_{Cp}$ , MN、HA、pAR、nAR、CN 各处理一次分组的时间;

$c$ , 每个节点处理一次分组的时间(即  $D_{Mp} = D_{Hp} = D_{pARp} = D_{nARp} = D_{Cp} = c$ );

$D_0, D_{HMIPv6}$ , 优化方案、HMIPv6 的切换延迟;

$D_{0\ send}, D_{HMIPv6\ send}$ , 优化方案、HMIPv6 的分组发送延迟;

$D_{0\ recv}, D_{HMIPv6\ recv}$ , 优化方案、HMIPv6 的分组接收延迟;

$P_0$ 、 $P_{HMIPv6}$ , 优化方案、HMIPv6 可能丢失的分组数。

### 3.1 切换延迟分析与比较

对于实时应用, 切换延迟是相当重要的参数, 较大的切换延迟可能带来过多的分组丢失而造成应用的暂时中断。根据前面阐述, 优化之后 MN 收到分组的路径有两条: 一条是 pMAP 收到 FBU 后在 pMAP 与 nLCoA 之间建立临时隧道, 通过此隧道转发过来的分组。MN 切换至 nAR 时分组传送隧道已在建立中, 隧道的建立未带来额外延迟, 且 MN 接入新网络后即可接收到从隧道转发过来的分组。因此该条路径的切换延迟为:

$$D_{O-1} = i_{ip}/2 + D_{L2} + D_{CoA} + D_{iuc} + D_{Mp} + D_{MnAR} + D_{nARp} + D_{MnAR} + D_{Mp} = i_{ip}/2 + D_{L2} + D_{CoA} + D_{iuc} + 2D_{Mp} + 2D_{MnAR} + D_{nARp} = A + 3c + 2D_{MnAR}$$

另一条是 MN 完成 nMAP 注册后, 并行进行家乡注册和发送携带提前绑定更新选项的 CoTI 到 CN, CN 从提前绑定更新选项中获取 nRCoA 后用其发送过来的分组。因此该条路径的切换延迟为:

$$D_{reg-nMAP} = D_{Mp} + 2D_{MnM} + D_{nMAPp} + D_{Mp} \\ D_{O-2} = i_{ip}/2 + D_{L2} + D_{CoA} + D_{iuc} + D_{reg-nMAP} + D_{Mp} + D_{MC} + D_{Cp} + D_{MC} + D_{Mp} = i_{ip}/2 + D_{L2} + D_{CoA} + D_{iuc} + D_{Mp} + 2D_{MnM} + D_{nMAPp} + D_{Mp} + D_{MC} + D_{Cp} + D_{MC} + D_{Mp} = i_{ip}/2 + D_{L2} + D_{CoA} + D_{iuc} + 4D_{Mp} + 2D_{MnM} + D_{nMAPp} + 2D_{MC} + D_{Cp} = A + 6c + 2(D_{MnM} + D_{MC})$$

相对来说,  $D_{O-1} < D_{O-2}$ , 因此  $D_{O-1} = A + 3c + 2D_{MnAR}$

HMIPv6 的切换延迟为:

$$D_{HMIPv6} = A + D_{reg-nMAP} + \max\{D_{Mp} + D_{MH} + D_{Hp} + D_{MH} + D_{Mp}, D_{Mp} + D_{MH} + D_{Hp} + D_{HC} + D_{Cp} + D_{HC} + D_{Hp} + D_{MH} + D_{Mp}, D_{Mp} + D_{MC} + D_{Cp} + D_{MC} + D_{Mp}\} + D_{Mp} + D_{MC} + D_{Cp} + D_{MC} + D_{Mp}$$

$$D_{HMIPv6} = A + 11c + 2(D_{MnM} + D_{MH} + D_{HC} + D_{MC})$$

切换延迟比较为:  $D_{O-1} < D_{HMIPv6}$

### 3.2 收发分组延迟分析与比较

分组收发延迟是对交互式实时应用而提出的一个性能参数。较小的分组收发延迟能保证切换后交互式实时应用的双方及时通信。

优化之后 MN 发送携带提前绑定更新选项的 CoTI 后可发送分组, 因此

$$D_{O\_send} = A + D_{reg-nMAP} + D_{Mp} = A + 4c + 2D_{MnM}$$

HMIPv6 中 MN 完成 nMAP 注册后, 并行发送 BU 到家乡注册和发送 HoTI、CoTI, 因此分组发送延迟为:

$$D_{HMIPv6\_send} = A + D_{reg-nMAP} + \max\{D_{Mp} + D_{MH} + D_{Hp} + D_{MH} + D_{Mp}, D_{Mp} + D_{MH} + D_{Hp} + D_{HC} + D_{Cp} + D_{HC} + D_{Hp} + D_{MH} + D_{Mp}, D_{Mp} + D_{MC} + D_{Cp} + D_{MC} + D_{Mp}\} + D_{Mp} = A + 9c + 2(D_{MnM} + D_{HC} + D_{MC})$$

分组发送延迟比较为:  $D_{O\_send} < D_{HMIPv6\_send}$

从定义可知, 分组接收延迟在数值上等于切换延迟, 因此

$$D_{O\_recv} = A + 3c + 2D_{MnAR}$$

$$D_{HMIPv6\_recv} = A + 11c + 2(D_{MnM} + D_{MH} + D_{HC} + D_{MC})$$

分组接收延迟比较为:  $D_{O\_recv} < D_{HMIPv6\_recv}$

### 3.3 丢失分组数分析与比较

分组丢失数是指切换过程中 MN 丢失(未接收到)的分组个数。若未采取缓存机制, MN 开始切换链路到 CN 收到 BU 之间发往 MN 的分组均被丢失。

分组丢失数是实时应用的重要参数。如 ITU-T G.114 中提出: 分组丢失数必须小于 5% 才能保证 VoIP 的语音信号质量达

到普通电话通话质量。分组丢失数越少, 交互式实时应用的服务质量就越好。

若未采取缓存机制, 两种方法中 MN 开始切换链路至 CN 收到 nRCoA 之前的分组均可能丢失。

优化之后的实现过程可知, 若没有缓存机制, MN 开始切换链路至 MN 接入 nAR 之前时段的分组都可能丢失, 因此

$$P_0 = [A + D_{Mp} + D_{MnAR} + D_{nARp}] / i_{ip} = [A + 2c + D_{MnAR}] / i_{ip}$$

显然优化之后, 丢失的分组被缓存起来通过隧道发到 MN, 由此可知, 被缓存分组数为

$$[A + 2c + D_{MnAR}] / i_{ip}$$

$$P_{HMIPv6} = [A + 9c + D_{MC} + 2(D_{MnM} + D_{MH} + D_{HC})] / i_{ip}$$

丢失分组数比较为:  $P_0 < P_{HMIPv6}$

从以上分析可知由于优化方案中 MN 发送携带提前绑定更新选项的 CoTI 消息后, 就可用 nCoA 发送分组, 使分组发送延迟减少到最小化, 即网络层切换没有影响到分组发送延迟。优化方案的发送延迟较小的原因是采用了提前绑定更新选项机制, 使 MN 进行返回路由可达过程与发送分组同步进行, 消除了返回路由可达过程带来的额外延迟。从实现细节可知, 优化方案正是切换过程中通过 pAR 与 nAR 之间的临时隧道转发分组, 从而减少了切换延迟。对于交互式实时应用来说, 这种小的切换延迟和分组发送延迟可使 MN 切换到新链路后, 快速通过路由优化方式与 CN 收发实时业务流, 从而很快建立双方交互式通信。因此, 可得出把基于提前绑定更新选项的对端绑定方法与通过新旧路由器间临时隧道转发分组的方法融合起来能提高对交互式实时应用的支持能力的结论。

## 4 结束语

本文围绕 HMIPv6 的切换过程, 分析其域间切换存在的缺点, 提出一种更好地支持交互式实时应用的 HMIPv6 域间切换优化方案。根据数学推导的结果可知该优化方案既实现了无缝切换, 又使 MN 获得了较小的分组收发延迟, 能更好地支持交互式实时应用。

本文的创新点: 提出了将提前绑定更新选项的对端绑定方法应用于 HMIPv6 域间切换中, 与快速切换结合起来, 实现 HMIPv6 域间快速无缝切换的方案。并给出了融合基于提前绑定更新选项的对端绑定方法与通过新旧路由器间临时隧道转发分组的方法提高对交互式实时应用的支持能力的思想。

## 参考文献:

- [1] Johnson D, Perkins C E, Arkko J. RFC3775 Mobility support in IPv6[S]. 2004.
- [2] Soliman H, Catelluccia C, Malki K, et al. RFC4140 Hierarchical mobile IPv6 mobility management(HMIPv6)[S]. 2005.
- [3] Liu Y, Ye M H, Zhang H M. The handoff schemes in mobile IP [EB/OL]. [http://netlab.cs.tsinghua.edu.cn/~cuiy/mobile/reading.files/papers/handoff\\_mobile\\_IP.pdf](http://netlab.cs.tsinghua.edu.cn/~cuiy/mobile/reading.files/papers/handoff_mobile_IP.pdf).
- [4] Vog C, Bless R, Doll M, et al. Early binding updates for mobile IPv6[C]//IEEE Communications Society, WCNC 2005, 2005: 1440-1445.