

# 基于动态指针链的移动 IPv6 网络管理研究<sup>①</sup>

尚凤军<sup>②</sup> 任宇森

(重庆邮电大学计算机科学与技术学院 重庆 400065)

**摘要** 为实现对移动 IPv6 网络的有效管理,进行了基于动态指针链的移动 IPv6 网络管理研究。首先在快速切换移动 IPv6(FHMIPv6)管理机制中引入了 WiMAX802.16e 协议接入网络的链路触发机制,给出了一种移动 IPv6 移动管理方案 w-FHMIPv6。该方案不仅能改善切换过程的丢包率和切换时延,而且它需要的链路层信号和信息交互也较少,有利于快速切换的实现。其次针对链路层切换完成后的网络层移动管理,对 w-FHMIPv6 方案进行了改进,给出了 I(mproved)W-FHMIPv6 分布式注册移动管理方案。该方案结合分布式注册思想,通过引入一种动态指针链的选择注册机制,可以减少注册信令开销,从而保证整个网络的负载平衡。最后通过整体方案的网络仿真,分析了改进方案 IW-FHMIPv6 对网络性能的影响。

**关键词** 移动 IPv6, 移动管理, 切换, 注册

## 0 引言

支持移动性的无线网络已成为下一代 Internet 的重要内容。基于全 IP 架构的 4G 网络将采用移动 IP 技术作为网络层的移动性管理方案<sup>[1]</sup>,该移动性管理方案要能够整合各种无线接入技术,支持能够保证服务质量的切换机制。文献[2]提出了一种基于动态阈值的呼叫接入控制策略,提高了无线资源管理的效率。文献[3]提出了主动检测和迁移的家乡代理(home agent, HA)容错方法,该方法通过在家乡代理之间设计环状检测和备份链,使家乡代理之间相互检测失效情况的发生,检测到失效后,有效家乡代理自动地暂时接管失效家乡代理的工作,并主动通告给相关移动节点。文献[4,5]引入了虚拟家乡代理(HA)可靠性协议解决系统负载均衡问题。家乡链路上唯一的活跃 HA 执行独占服务和常规服务,其余 HA 仅提供常规服务。某 HA 负载超

过“负载阈值”时,被视为过载,迁移部分负载至当前负载最轻的 HA。文献[6]提出了基于主动过载预防的多 HA 负载均衡方法,即通过主动地为移动注册请求动态选择最优 HA 来预防 HA 过载,引入动态加权负载评估算法为负载均衡的实施提供最佳决策依据,采用负载切片机制减小信令开销。文献[7]研究了动态指针推进机制,解决移动 IPv6(第六版本互联网协议)网络的移动性问题。文献[8,9]分别对移动 IPv6 的快速接入认证和管理方案进行了深入研究,解决了认证和移动管理问题。本文研究了基于动态指针链的移动 IPv6 管理,给出了一种优化的分布式注册移动管理方案 IW-FHMIPv6。

## 1 基于动态指针链的移动 IPv6 管理方案

本研究在快速切换移动 IPv6(fast handover mobile IPv6,FHMIPv6)机制的基础上,给出了一种快速触发切换机制的移动 IPv6 移动管理方案 w-FH-

<sup>①</sup> 重庆市自然科学基金(2009BB2081,2012jjA1737),重庆市教委科学技术研究(KJ110504)和教育部留学回国人员科研启动基金资助项目。  
<sup>②</sup> 男,1972 年生,博士,教授;研究方向:物联网,无线传感网络,移动 IPv6 关键技术,网络流量测量研究等;联系人,E-mail: shangfj@cqupt.edu.cn  
(收稿日期:2013-09-25)

MIPv6, 继而, 对 w-FHMIPv6 方案进行了改进, 即给出了一种优化改进的基于动态指针链的移动性管理方案 IW-FHMIPv6。

### 1.1 w-FHMIPv6 管理方案

本研究在 FHMIPv6 机制中引入了 WiMAX802.16e 协议接入网络的链路触发机制, 给出了一种类似于硬切换的移动 IPv6 管理方案 w-FHMIPv6(w 代表 WiMAX802.16)。该方案通过无线机制的接入和链路层与网络层切换的结合, 使切换过程的丢包率

和切换时延都得到改善, 而且需要的链路层信号和信息交互也较少, 利于快速切换实现。其媒体接入控制(MAC)传递帧消息有上行信道 UL\_MAP 上行子帧和下行信道 DL\_MAP 下行子帧组成, 其帧格式如图 1 所示, 其中用到的消息类型有: 邻居广播 MOB\_NBR-ADV 消息、切换申请 MOB\_MSHO-REQ 消息、切换应答 MOB\_BSHO-RSP 消息、切换指示 MOB\_HO-IND 消息。

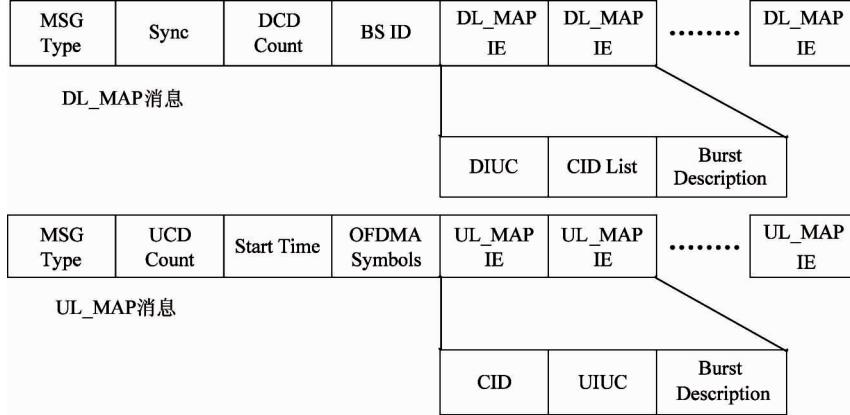


图 1 上下行子帧消息格式

本切换方案利用链路层信号和快速路由广告(RA)机制减少移动检测时延, 然后在移动锚点(MAP)和移动节点(MN)之间建立双向隧道使得 MN 仍然能够使用旧的转交地址(PCoA)进行通信。其思想是在链路层切换完成后和新的转交地址(NCoA)注册完成之前, 使 MN 在新的网络中继续使用 PCoA, 以减少切换所带来的时延、丢包等影响。在 IP 地址配置上, 将重复地址检测过程取消和检测 IP 冲突的功能由区域代理(AR)通过比较接入节点列表的方法来完成。

w-FHMIPv6 移动管理方案具体的协议实现流程如下: 当移动节点微观移动(即同一 MAP 域中不同 AR 间移动)引起切换时, 采用链路触发机制通过链路层和网络层切换的结合, 不需要和家乡代理(HA)进行绑定更新, 只需要向 MAP 发送本地绑定更新。而当移动节点宏观移动在不同 MAP 间切换时, 不但要向 MAP 进行本地绑定更新, 还要向远端的 HA 和通信对端接口(CN)进行更新。w-FH-

MIPv6 移动管理方案消息流程如图 2 所示。

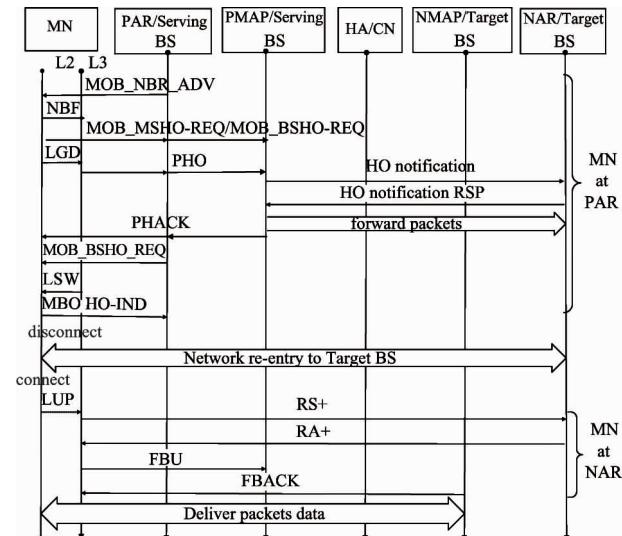


图 2 w-FHMIPv6 消息流程

### 1.2 IW-FHMIPv6 管理方案

本研究针对 w-FHMIPv6 机制在链路层切换完

成后的网络层移动管理,对 w-FHMIPv6 方案进行了改进,即引入一种动态指针链的选择注册机制,从而能够降低区域代理的负载,保证整个网络的负载平衡,改进网络性能。改进后的方案称为 Improved w-FHMIPv6 简写为 IW-FHMIPv6。传统移动 IP 技术无法支持 MN 在不同无线网络之间的漫游,也无法支持时间敏感的语音和视频业务。针对此问题,通过引入 802.16e 接入网络的链路触发机制,给出了快速触发切换机制的移动 IPv6 管理方案 w-FHMIPv6,以改善切换过程的丢包率和切换时延。经过分析发现,w-FHMIPv6 在链路层切换完成后伴随着通信数据增多而 MAP 域中 MN 在切换时取得新的链路转交地址(LCoA)时要发送路由器请求(RS)+报文给 CN 进行更新,可能造成一定的相对显著时延。下面我们将进入深入研究,希望对更新 LCoA 时发送 RS+消息引起注册时延进行改进从而完善 w-FHMIPv6 方案。在 w-FHMIPv6 移动管理方案的基础上,我们改进了注册信息流程,如图 3 所示。

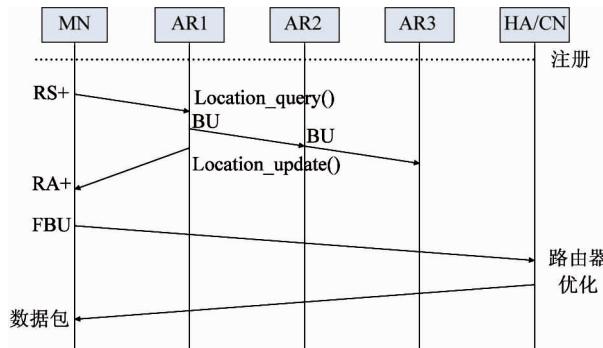


图 3 IW-FHMIPv6 改进信息流程

在链路层完成切换后,由于切换节点开始网络层的注册动作,移动中的移动节点通过新的 AR 向 HA 进行注册。IW-FHMIPv6 方案具体改进流程如下:

- (1) MN 向离自己最近的 AR 发送注册申请消息,注册其链路转交地址(LCoA)。
- (2) AR 在收到注册请求消息后会首先查看该消息是否包含 MAP 参数扩展项。如果不包含则采用 Location\_query() 和 Location\_update() 逻辑策略,MN 的区域锚点(RAP)设置为此新的 AR,并由该 RAP 发出绑定更新(BU)消息向下一个邻接

RAP 注册。如果包含,AR 会将具体的参数代入代价计算公式,通过计算比较以决定是否以原指针链逐级注册和动态选择当前 AR 重新直接向 HA 注册,然后根据结果向下一 MAP 或是 HA 转发注册请求消息。

(3) 如果是原指针链逐级注册,那么 RAP 会将 AR 的地址信息存入指针链表中并向 AR 发送一个注册回复消息。如果是向 HA 注册,则由 HA 向 AR 发送注册回复。同时选择当前的 AR 重新记录链接。

(4) 跟 RAP 注册完后,MN 发出快速绑定更新信息(FBU)消息向 HA/CN 注册。MN 更新完 LCoA 后,用 LCoA 直接跟 CN 注册,当对端通信节点 CN 要传送封包给 MN 时能够直接进行消息传输,形成有效的消息传输。

### 1.3 动态指针链的选择注册机制

设每一个 AR 具有充当 MAP 的功能且同时具有缓存的功能,当移动节点进入一个新的网络时,所访问的第一个 AR 将会成为移动节点在这个网络里的区域锚点(RAP),在节点移动过程中选择临近的 AR 作为区域代理 RAP。根据 w-FHMIPv6 机制,当移动节点在此 RAP 位置区域内移动时只需对 RAP 进行注册更新,所以在改进方案中,我们参考了指针链的概念<sup>[10]</sup>,引入了一种新的在 w-FHMIPv6 移动管理方案下动态指针链的选择注册机制,如图 4 所示。通过此机制,实现优化 w-FHMIPv6 方案的位置管理,使每一个移动节点(MN)能够根据自己的一

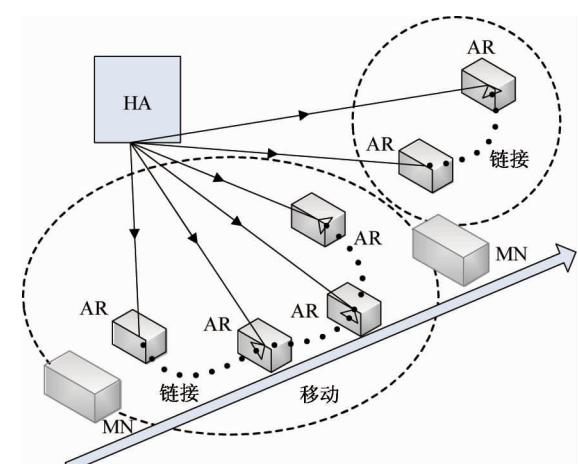


图 4 动态指针链机制示意图

些移动特性数据进行动态选择不同网络环境的注册方式,达到减少网络信令开销的目的,从而使整个网络产生的信令代价适当降低达到负载均衡的目标。

动态指针链的选择注册机制具体是:在节点移动时,移动节点沿着 AR1、AR2 等的移动区域 (RAP) 移动时,动态选择 AR 注册其 LCoA 即可,之后该 RAM 则发出 BU 消息向其连接的下一 AR2 (RAP) 注册,同时在缓存中用一根指针把 AR1 与 AR2 连接记录起来。在移动节点从 AR1 移动到 ARn 时就产生了指针链:AR1→AR2→…→ARn,这样在对端节点(CN)及 HA 在和 MN 互通时就能够通过在 AR 缓存中存放的指针链遍历到 MN。考虑到在移动轨迹较大的移动节点越区切换的情况下,MN 通过 RAP 区域内的 AR 进行注册更新,AR 根据节点的注册信息具体根据移动节点的移动特性通过计算对比采用原指针链逐级注册和动态选择当前 AR 重新注册的代价,以最终选择以何种方式进行注册。

当采用原指针链逐级注册时,则仍把下一 AR 加入指针链逐级注册;当采用当前 AR 重新注册时,则移动节点直接向 HA 进行注册。此时区域代理列表(AR List)即指针链要进行清空置 0,同时节点动态地选择当前的 AR 重新记录链接,并更新其 HA/CN 至 MN 的路径。区域代理列表 AR List 中包含 MN 的家乡地址(Home Address),转交地址(CoA),以及该指针链表的阈值等信息。通过选择机制限制指针链的长度解决遍历指针链长度过大可能会导致较大的时延的问题;同时也使得每一个移动节点都可以根据自己不同的网络环境选择相应的注册方式,并达到减少网络信令开销的目的,从而使整个网络产生的信令代价适当降低达到负载均衡的目标。

## 2 性能研究

### 2.1 切换延迟分析

切换延迟被定义为由于切换引起通信中的移动台不能接收和传输数据而造成的时间间隙。此时间隙包括 2 层(链路层)切换延迟、IP 连接延迟和位置更新延迟<sup>[11,12]</sup>,所以可得  $D_{HO} = D_{L2} + D_{IP} + D_{LU}$ 。如图 5 所示。

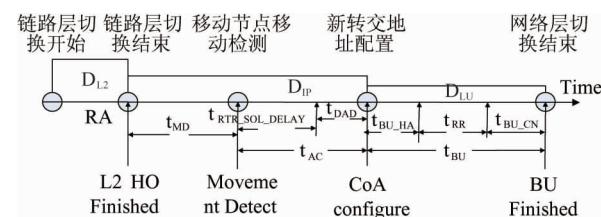


图 5 移动 IPv6 的切换延迟

其中二层切换对于 IP 移动管理协议是必须进行的步骤,链路层切换延迟指的是移动节点从物理上离开一个网络到接入到另一个网络所需要的时间,用  $D_{L2}$  表示。移动 IPv6 的切换延迟中包括移动检测延迟  $t_{MD}$ 、转交地址配置延迟  $t_{AC}$  与重复地址检测延迟  $t_{DAD}$  和绑定注册延迟  $t_{BU}$ <sup>[13]</sup>,则

$$\begin{aligned} D_{HO, \text{MIPv6}} &= D_{L2} + D_{IP} + D_{LU} = D_{L2} + t_{MD} + t_{AC} + t_{BU} \\ &= D_{L2} + t_{MD} + t_{RTR\_SOL\_DELAY} + t_{DAD} + t_{BU\_HA} \\ &\quad + t_{RR} + t_{BU\_CN} \end{aligned} \quad (1)$$

其中,  $t_{RTR\_SOL\_DELAY}$ : 移动节点发送两次邻居请求之间的时间间隔;  $t_{RR}$ : 路由可达性测试所需时间。我们假设,网络负载较小时,依赖于数据包传输时延的绑定时延  $t_{BU}$ 、 $t_{BU\_CN}$ 。

在本快速切换方案中,MN 与新 BS 建立连接后,链路层产生位置更新(LUP)触发信号,通知上层主动向路由器发送 RS+报文进行移动检测。如图 6,在切换延迟方面,w-FHMIPv6 比基本移动 IPv6 协议采用链路层信号减小了  $t_{MD}$ 、 $t_{AC}$ ,避免了重复地址检测。

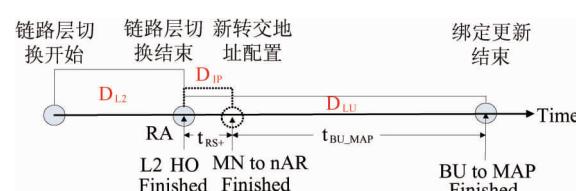


图 6 w-FHMIPv6 的切换延迟

MN 移动台发送 RS+报文在 2 层切换完成的同时使新转交地址 NCoA 的配置在切换前完成。此过程使 IP 连接延迟减少。MN 的新转交地址 NCoA 由新接入路由器(NAR)指定,而不必进行重复地址检测(DAD)过程。通过引入链路层触发机制和在原网络与新网络之间建立隧道来减小切换延迟和数据

丢失。则切换延迟为

$$\begin{aligned} D_{HO,w-FHMPv6} &= D_{L2} + t_{BU} = D_{L2} + t_{RS+} + t_{BU*} \\ &= D_{L2} + t_{RS+} + t_{BU\_MAP} \end{aligned} \quad (2)$$

因没有使用 RtSolPr/PrRtAdv 消息对,本方案需要的链路层信号较少,实现起来较简单。因 RtSolPr/PrRtAdv 消息对需要 AR 获取邻居 AR 和邻居 BS 信息,如果这些信息是人工输入,则不利于大规模运用和维护;如果是动态形成的,那么需要其他协议的支持。一般来说,  $D_{L2} \ll t_{MD} + t_{AC} + t_{BU}$ , 可以忽略。为了定性地比较新方案所产生的时延,这里公式化的各类协议的时延是理想状态下的最大时延。 $t_{RS+}$  只是从 MN 到新的子网传送的一个控制信息包,其导致的时延可忽略不计。另外显然  $t_{BU} > t_{BU*}$ , 因此我们得出  $D_{HO,MIPv6} > D_{HO,w-FHMPv6}$ 。

同时本方案通过在 MAP 中设置缓存,可以防止隧道建立之前的数据包丢失;通过绑定更新 RS+ 在 MN 和 MAP 之间建立双向隧道,从而在 MN 完成 HA/CN 注册之前能够继续使用 PCoA 进行通信,避免 HA/CN 注册过程引起业务中断。

## 2.2 代价分析

本节我们将分析改进方案的管理性能并对动态指针链的选择注册机制中起到限制指针链的长度解决遍历指针链长度过大的指针链阈 M 值进行讨论,在理论上给出选择注册机制的计算模型。

### 2.2.1 通信代价

根据文献[14,15],我们定量地作出了如下定义和下述 6 个假设:

$C_{DP}^h$ : 处理数据分组时,在 HA 上的计算开销。

$C_{DP}^a$ : 处理数据分组时,在 AR 上的计算开销。 $C_{RP}^h$ : 注册过程中 HA 上的计算开销。 $C_{RP}^a$ : 注册过程中分别在 MAP 和 RAP 上的计算开销。 $C_{DP}^m, C_{DP}^r$ : 处理数据分组时分别在 MAP 和 RAP 上的计算开销。 $C_p(h,a)$ : 在 HA 与 AR 之间传送一个数据分组的开销。 $C_p(a,n)$ : 在 AR 与 MN 之间传送一个数据分组的开销。

$C_f(h,m)$ : 注册过程中在 HA 和 MAP 之间的信令开销。 $C_f(m,a)$ : 注册过程中在 MAP 和 AR 之间的信令开销。 $C_f(a,r)$ : 注册过程中在 AR 和 RAP 之间的信令开销。 $C_f(h,a)$ : 注册过程中 HA 和 AR 之间的信令开销。

信令开销。 $C_f(a,n)$ : 注册过程中 AR 和 MN 之间的信令开销。 $C_p(h,m), C_p(h,r)$ : 分别在 HA 与 MAP 和 HA 与 RAP 之间传送一个数据分组的开销。 $C_p(m,a), C_p(a,r)$ : 分别在 MAP 与 AR 之间和 RAP 与 AR 之间传送一个数据分组的开销。

**假设 1** 设数据分组的传输代价与数据源和目的地之间的距离成正比,在数据传送时比例系数为  $\Phi$ 、注册过程中此比例系数为  $\xi$ 。

**假设 2** 设定 HA 和 MAP, MAP(RAP) 和 AR, HA 和 AR 之间的距离分别为  $d(h,m), d(m,a), d(a,r), d(h,a)$ 。

**假设 3** 一般情况下,无线链路上的传输代价是高于有线的,因此假设同距离下无线链路的传输开销是有线的  $\phi$  倍而且 MN 与 AR 之间的距离是 1。

**假设 4** 设在一个子网中平均有  $\mu$  个 MN, 平均每一个 RAP 下有  $\rho$  个 AR。

**假设 5** 设  $t$  是移动节点在一个子网内的平均逗留时间。

**假设 6** 设  $\lambda$  是 MN 的数据分组平均到达率,  $\theta$  和  $\lambda$  分别是计算查找 AR List 和路由表的开销的比例系数。

在 MAP(RAP) 处理数据分组时,计算开销包括解封装从 HA 发过来的 IP 分组,查找指针链 AR List 以确定目的 MN 现在所在 AR,按目的 IP 地址查路由表,封装要发往 MN 当前 AR 的 IP 分组等工作。其工作量大小取决于在其上面注册的 MN 的多少以及数据分组的到达速率。根据假设 4 和文献[16]的研究,层次化快速移动管理方案中,一个 MAP 下平均有  $\mu\rho$  个 MN,而 MAP 查找指针链 AR List 的复杂性与其服务 MN 多少成正比的。且根据文献[17]的研究,查找 IP 路由表的复杂性是和路由表的长度的对数成正比的。这样需要处理的数据分组越多,传输时延就越大,需要重传的可能性也越大。

所以由上述定义及假设可得:

$$C_p(h,m) = \Phi \times d(h,m), C_f(h,m) = \xi \times d(h,m)$$

$$C_p(m,a) = \Phi \times d(m,a), C_f(m,a) = \xi \times d(a,r)$$

$$C_p(a,r) = \Phi \times d(a,r), C_f(a,r) = \xi \times d(a,r)$$

$$C_p(h,a) = \Phi \times d(h,a), C_f(h,a) = \xi \times d(h,a)$$

$$C_p(a,n) = \Phi \times \phi, C_f(a,n) = \xi \times \phi$$

$$C_{DP}^m(FH) = \lambda \times [\theta\mu\rho + \gamma \log(\rho)]$$

$$C_{DP}(IW) = \lambda \times [\theta\mu + \gamma \log(\rho)]$$

在本方案中,因为 MN 是根据分布式思想选取临近的 AR 为 RAP 的,则每个 AR 都平均分担了部分 RAP 的角色和工作,实现负载均衡目标。因此平均每一个 RAP 服务包括  $\mu$  个 MN 同时经历了  $(M - 1)$  次数据处理。由此可见本方案的 RAP 数据处理量是低于 FHMIPv6 机制的<sup>[14]</sup>。假设 HA 和 AR 上的计算开销分别为  $\Psi\lambda$  和  $\tau\lambda$ ,其中  $\Psi$  和  $\tau$  是比例系数,则对于层次化快速移动 IPv6,MN 向 HA 进行注册还是向 MAP 注册时传输开销相同,为

$$\begin{aligned} T &= C_{DP}^h + C_{DP}^a + C_{DP}^m + C_p(h, m) + C_p(m, a) \\ &\quad + C_p(a, n) \\ &= \Psi\lambda + \lambda \times [\theta\mu\rho + \gamma \log(\rho)] + \tau\lambda \\ &\quad + \lambda \times \Phi \times [d(h, m) + d(m, a) + \phi] \end{aligned} \quad (3)$$

而依照 FHMIPv6 注册方案向 HA 进行注册的注册开销为

$$\begin{aligned} R_{\text{home}} &= 2 \times [C_f(h, m) + C_f(m, a) + C_f(a, n)] \\ &\quad + 2 \times C_{RP}^f + 2 \times C_{RP}^m + C_{RP}^a \\ &= \{2 \times \xi \times [d(h, m) + d(m, a) + \phi] \\ &\quad + 2 \times C_{RP}^a + 2 \times C_{RP}^m + C_{RP}^h\} / t \end{aligned} \quad (4)$$

向 MAP 注册的注册开销为:

$$\begin{aligned} R_{\text{map}} &= 2 \times [C_f(m, a) + C_f(a, n)] + 2 \times C_{RP}^a + C_{RP}^m \\ &= \{2 \times \xi \times [d(m, a) + \phi] + 2 \times C_{RP}^a + C_{RP}^m\} / t \end{aligned} \quad (5)$$

在本方案中,根据改进方案中动态指针链表选择机制,移动节点向 RAP 注册时开销有所不同,引入指针链表长度  $M$ ,由于初次访问时遍历链表未建立,而随着节点移动指针链表形成,所以当阈值为  $M$  时 RAP 共处理了  $(M - 1)$  次,则改进方案的传输开销为

$$\begin{aligned} T'_{\text{rap}} &= C_{DP}^h + C_{DP}^a + (M - 1)C_{DP}^r + C_p(h, m) \\ &\quad + (M - 1)C_p(a, r) + C_p(a, n) \\ &= \Psi\lambda + (M - 1) \times \lambda \times [\theta\mu + \gamma \log(\rho)] \\ &\quad + \tau\lambda + \lambda \times \Phi \\ &\quad \times [d(h, m) + (M - 1)d(a, r) + \phi] \end{aligned} \quad (6)$$

改进方案注册的开销为

$$\begin{aligned} R'_{\text{rap}} &= 2 \times [(M - 1)C_f(a, r) + C_f(a, n)] \\ &\quad + 2 \times C_{RP}^a + (M - 1)C_{RP}^r \\ &= \{2 \times \xi \times [(M - 1)d(a, r) + \phi] \\ &\quad + 2 \times C_{RP}^a + (M - 1)C_{RP}^r\} / t \end{aligned} \quad (7)$$

向 HA 注册时的传输开销为

$$\begin{aligned} T'_{\text{home}} &= C_{DP}^h + C_{DP}^a + C_p(h, a) + C_p(a, n) \\ &= \psi\lambda + \tau\lambda + \lambda \times \Phi \times [d(h, a) + \phi] \end{aligned} \quad (8)$$

注册的开销为

$$\begin{aligned} R'_{\text{home}} &= 2 \times [C_f(h, a) + C_f(a, n)] + 2 \times C_{RP}^a + C_{RP}^h \\ &= \{2 \times \xi \times [d(h, a) + \phi] + 2 \times C_{RP}^a + C_{RP}^h\} / t \end{aligned} \quad (9)$$

## 2.2.2 选择注册机制的 $M$ 值

根据动态指针链的选择注册机制,AR(RAP)根据移动节点的移动特性计算对比选择采用原指针链逐级注册和动态选择当前 AR 重新注册的代价<sup>[14]</sup>。可得,选择注册的计算模型为

$$\begin{aligned} (R'_{\text{home}} + T'_{\text{home}}) - (R'_{\text{rap}} + T'_{\text{rap}}) &> 0 \\ &= \{2\xi \times [d(h, a) - (M - 1)d(a, r)] \\ &\quad + C_{RP}^h - (M - 1)C_{RP}^r\} / t \\ &\quad + \lambda\Phi \times d(h, a) - d(h, m) - (M - 1)d(a, r) \\ &\quad - (M - 1) \times \lambda \times [\theta\mu + \gamma \log(\rho)] > 0 \\ &= \{[2\xi \times [d(h, a) + C_{RP}^h] - (M - 1) \\ &\quad [2\xi \times d(a, r) - C_{RP}^r]\} / t \\ &\quad + \lambda\Phi \times [d(h, a) - d(h, m)] - (M - 1) \\ &\quad \times \{\lambda\Phi \times d(a, r) + \lambda \times [\theta\mu + \gamma \log(\rho)]\} > 0 \\ &= (M - 1)\{[2\xi \times d(a, r) - C_{RP}^r] \\ &\quad + \{\lambda\Phi \times d(a, r) + \lambda \times [\theta\mu + \gamma \log(\rho)]\} \times t \\ &\quad < \lambda\Phi \times d(h, a) - d(h, m)\} \times t \\ &\quad + [2\xi \times d(h, a) + C_{RP}^h] \end{aligned} \quad (10)$$

由式(7)可推出,当  $C_{RP} = 2\xi \times d(a, r) + \{\lambda\Phi \times d(a, r) + \lambda \times [\theta\mu + \gamma \log(\rho)]\} \times t$  且  $M$  大于 1 的整数时,可得向 HA 注册的代价大于向 MAP 注册的代价。AR 也能够根据 MN 提供的移动特性(数据包平均到达率,子网平均逗留时间)和查到的距离参数计算出  $M$  的大小,实现限制指针链的长度来解决遍历指针链长度过大。根据选择注册机制  $M$  值是表示指针链表长度的阈值,理论上说当  $M = \text{int}\{((\lambda\Phi \times [d(h, a) - d(h, m)]) \times t + [2\xi \times d(h,$

$a) + C_{RP}^h]) / ([2\xi \times d(a, r) - C_{RP}] + \{\lambda\Phi \times d(a, r) + \lambda \times [\theta\mu + \gamma \log(\rho)]\} \times t) + 1$  时,选择当前 AR 重新直接向 HA 注册。

因此本方案 MN 动态地选择 AR 进行注册,由于采用动态指针链机制记录 AR 向下一 AR(RAP) 注册进行绑定更新,不须通过更新其区域转交地址(RCoA)减少区域注册,只需把更新的 LCoA 与最近的 RAP 进行注册<sup>[14]</sup>。参考文献[16]路由优化的方式,让 MN 更新完 LCoA 后,用 LCoA 直接跟 CN 注册,注册过后便能让 MN 与 CN 直接沟通,减轻 RAP 的负载担的同时使 HA/CN 与 MN 传输更有效率。本方案下 MN 并没有固定移动区域代理,都是动态地选择一个 AR 作为 RAP,因此 RAP 中的区域代理(AR)List 的数量和大小都较层次化快速移动 IPv6 管理方案小。同时动态指针链的选择注册机制能够有效降低区域代理的负载,保证整个网络的负载平衡。

### 3 仿真分析

我们通过网络仿真试验对基于动态指针链的移动 IPv6 管理方案进行了性能仿真。仿真场景如图 7 所示,整个仿真拓扑在  $500m \times 500m$  的矩形范围内实现,仿真中建立有 7 个 Wired Node(包括 1 个通讯对端接点(CN)、1 个家乡代理 HA、5 个路由节点) 和 1 个移动节点(MN) 的拓扑结构。

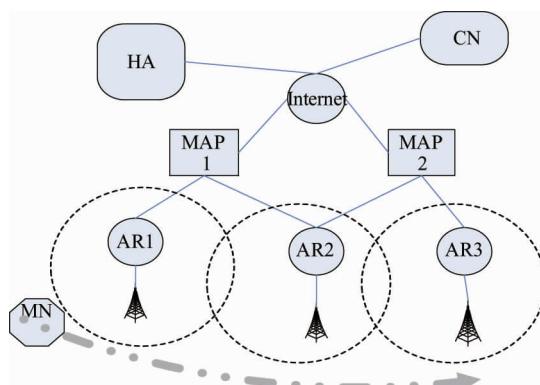


图 7 仿真拓扑模型

其中 3 个边缘路由器分别都和基站连接具有 BS 功能,无线通讯采用仿真软件 ns 支持的 WiMAX

802.16 协议。MAP1 域内有两个 AR, AR3 属于 MAP2。无线通讯范围设置为 100m, 两基站之间叠加区域约为 10m, 移动节点 MN 沿直线方向以匀速 5m/s 前进。

#### 3.1 丢包情况

这里采用 CBR 服务,表 1 是本文涉及的移动管理方案的丢包状况对比。

表 1 丢包状况比较

Number of Packet	MIPv6	FHMIPv6	w-FHMIPv6	IW-FHMIPv6
Send	8126	8126	8126	8126
Lose	2353	2127	1431	1407
Lose _ rate	0.2895	0.2617	0.1761	0.1731

从表中可以发现,分布式的改进方案在降低切换时延的同时也对链路的丢包状况起到改善,降低了丢包率。图 8 是在 5 ~ 70s 的服务时间内传输丢包率的比较。

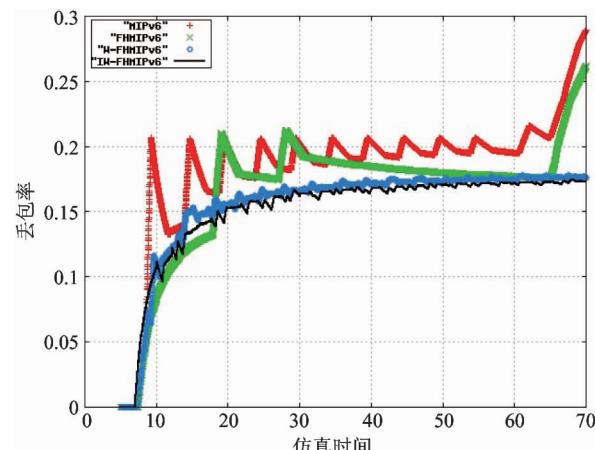


图 8 丢包率比较

#### 3.2 改进的传输延时和抖动比较

首先我们对比本文所涉及的移动管理方案在通信中伴随数据的发生所产生的分组时延如图 9 所示,改进方案对 w-FHMIPv6 移动管理方案在三层注册时传输延时进行了改善,使其延迟大大降低,一定程度上使网络负载平衡,完善了我们所给出的方案,只是在数据传送的初期,随着链路建立的同时缓存中的指针链也初始化建立,会有一定延时。

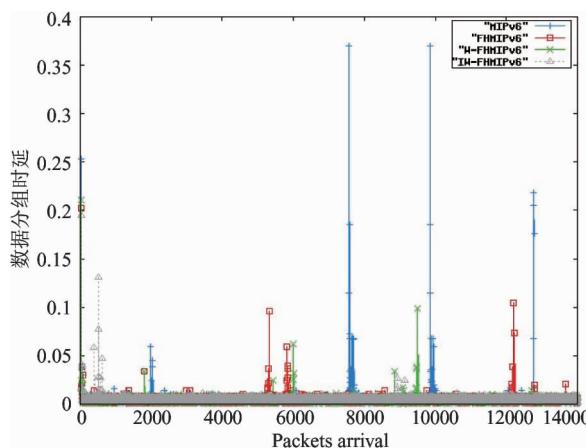


图 9 数据分组延时比较

同样传输链路的抖动情况如图 10 所示,改进方案也在此方面性能优于 w-FHMIPv6 移动管理方案,抖动的发生减弱。

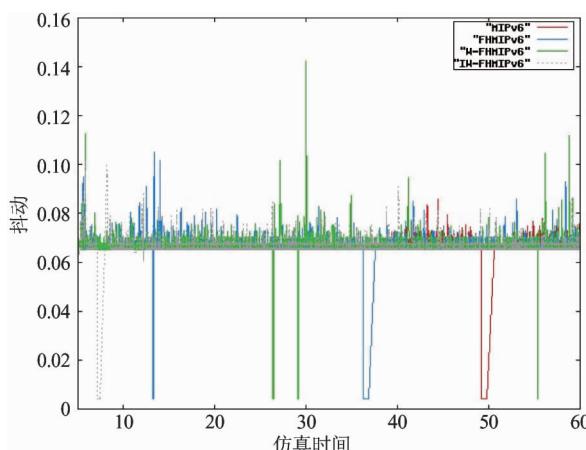


图 10 链路抖动比较

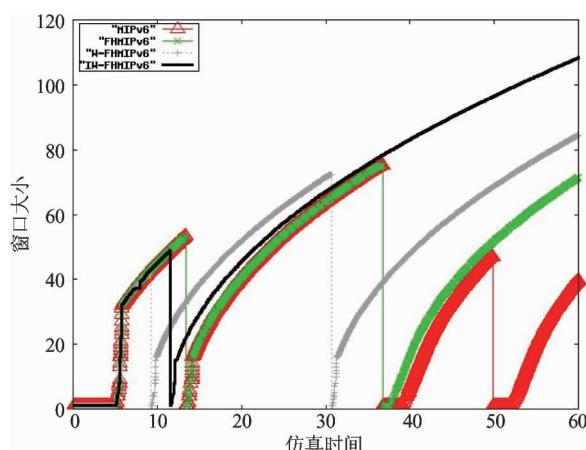


图 11 传输窗口对比

### 3.3 改进的传输窗口和吞吐量

同样对比了移动节点通信进行 TCP 传输时传输窗口的大小,结果如图 11 所示。

同时我们也对网络的另一主要性能,网络吞吐量进行了比较分析。如图 12 所示,改进方案使因切换引起的显著时延所造成的吞吐量降低得到快速的恢复,并同时保障数据传输随时间的平缓吞吐量。

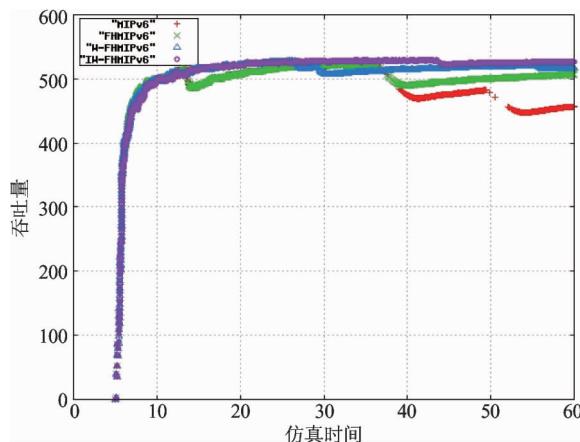


图 12 吞吐量对比

## 4 结 论

本文在对移动 IP 移动性管理理论研究分析的基础上,在 FHMIPv6 的机制中引入了一种快速触发机制,给出了一种移动 IPv6 移动管理方案 w-FHMIPv6,达到切换过程的丢包率和切换时延都可以得到改善。在 w-FHMIPv6 方案基础上针对 w-FHMIPv6 机制中链路层切换完成后的网络层移动管理,给出了 IW-FHMIPv6 分布式注册移动管理方案。通过引入的一种动态指针链的选择注册机制能够有效降低区域代理的负载,保证整个网络的负载平衡。IW-FHMIPv6 分布式注册移动管理方案实现了网络性能的改进,因而是一种优化改进的移动性管理方案。

致谢:感谢重庆市科委项目 CSTC 2009BB2081、教育部留学回国人员科研启动基金项目及重庆市科委项目 KJ110504 的支持。

## 参 考 文 献

- [1] 周武旸.下一代无线网络中的移动性管理.电子学报,2004,32(12): 123-126

- [ 2 ] 黄国盛,陈志刚,赵明等. 分层移动 IPv6 中呼叫接入控制的动态优化. 高技术通讯,2010,20(1):14-20
- [ 3 ] 张玉军,张瀚文,肖文曙等. 移动 IPv6 网络家乡代理容错方法研究. 软件学报,2008,19(6): 1491-1498
- [ 4 ] Faizan J, Rewini H E, Khalil M. Efficient dynamic load balancing for multiple home agents in mobile IPv6 based networks. In: Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Services (ICPS), Santorini, Greece, 2005. 178-187
- [ 5 ] Faizan J, Rewini H E, Khalil M. Introducing reliability and load balancing in mobile IPv6 based networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2006, 8 (4):483-500
- [ 6 ] 张瀚文,张玉军,马超等. 基于主动过载预防的移动 IPv6 家乡代理负载均衡. 软件学报,2009, 20 (9): 2511-2519
- [ 7 ] 杨怡,董永强. 面向分层移动 IPv6 网络的动态指针推进机制. 软件学报,2011, 22(1): 164-176
- [ 8 ] 宋姗姗,尚涛,刘建伟. 面向移动 IPv6 层次化网络的快速接入认证方案. 通信学报, 2013, (Z1):263-267
- [ 9 ] 尚凤军,任宇森,苏畅. 一种快速触发的移动 IPv6 管理方案. 重庆邮电学院学报(自然科学版), 2010, (6): 828-833
- [ 10 ] 朱艺华,高济,周根贵. 带门槛的指针推进移动性管理策略研究. 计算机研究与发展,2002,39(5):557-560
- [ 11 ] Malekian R. The study of handover in mobile IP networks. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications, Gauteng, South Africa, 2008. 181-185
- [ 12 ] Yeh J H, Chen J C, Agrawal P. Fast Intra-Network and Cross-Layer Handover (FINCH) for WiMAX and Mobile Internet. *Mobile Computing*, 2009, 8 (4): 558-574
- [ 13 ] Lee J S, Koh S J, Kim S H. Analysis of handoff delay for Mobile IPv6. In: Proceedings of IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004, 4: 2967-2969
- [ 14 ] 郭少华,徐惠民. 移动 IP 的切换、移动性管理等相关技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2007
- [ 15 ] Cheng S M, Chen K C, Lin P. Performance modeling on handover latency in Mobile IP regional registration. In: Proceedings of IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Cannes, France, 2008. 1-5
- [ 16 ] Xie J, Akyildiz I F. An optimal location management scheme for minimizing signaling cost in mobile IP. In: IEEE International Conference on Communications, New York, USA, 2002. 3313-3317
- [ 17 ] Omar H, Saadawi T, Lee M. Supporting reduced location management overhead and fault tolerance in Mobile-IP system. In: Proceedings of IEEE Symposium on Computer and Communications, Red Sea, 1999. 347-353

## Research on management of mobile IPv6 networks based on dynamic pointer chains

Shang fengjun, Ren yusen

( College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts  
and Telecommunications, Chongqing 400065 )

### Abstract

To realize the effect management of mobile IPv6 networks, a study on the mobile IPv6 management based on dynamic pointer chains was conducted. Firstly, the fast link trigger mechanism for the WiMAX 802.16 protocol's access to networks was introduced into the mechanism of fast handover mobile IPv6 (FHMIPv6) management, and a mobile IPv6 management scheme called the w-FHMIPv6 was given. The scheme has ability to improve the packet loss rate and the handover latency, and is beneficial to realization of fast handover because it needs less link-layer signals and information exchange. Secondly, the w-FHMIPv6 management scheme was improved in the mobility management of the network layer after the handover of the link layer is finished, thus the distributed registration mobility management scheme, called the IW-FHMIPv6 was proposed. This scheme can reduce the cost of registering signaling and ensure the load balance of the entire network by the combination of the distributed registration method and the selecting registering scheme of dynamic pointer chains. Finally, the impact of network performance was analyzed for the improved scheme IW-FHMIPv6 by the network simulation of the entire scheme.

**Key words:** mobile IPv6, mobility management, handover, registration