

基于 PMIPv6 的域间切换管理方法及性能分析*

任三阳, 柴蓉, 唐伦, 陈前斌

(重庆邮电大学移动通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 针对代理移动 IPv6 (PMIPv6) 中域间切换时延较大的问题, 提出了一种基于 PMIPv6 的域间切换管理方案。新方案通过在 PMIPv6 域间发送 PBU 绑定更新消息, 使得切换目标 PMIPv6 域提前知道移动节点 (MN) 的家乡网络前缀, 避免了移动节点参与移动性管理及重新配置转交地址, 从而有效减小了切换时延。分析和仿真结果表明, 与现有的全局移动性管理方案移动 IPv6 和快速移动 IPv6 相比较, 新方案更加适应移动性管理中低时延、低复杂度、易于操作的要求。

关键词: 代理移动 IPv6; 移动 IPv6; 快速移动 IPv6; 切换延时

中图分类号: TN915 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)03-1118-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2010.03.086

Proxy mobile IPv6 based inter-domain mobility management approach and performance analysis

REN San-yang, CHAI Rong, TANG Lun, CHEN Qian-bin

(Research Laboratory of Mobile Communications, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: This paper proposed an inter-mobility handover management solution for proxy mobile IPv6 (PMIPv6). Using the proxy binding update message between two PMIPv6 domains, the destination PMIPv6 domain was able to obtain the mobile node's home network prefix in advance, therefore, the mobility management and the reconfiguration the care-of-address performed by the mobile node could be avoided, resulting in the efficient saving in handover latency. Analysis and simulation results show that the proposed approach for PMIPv6 inter-mobility provides better performance in terms of low latency, low complexity and easiness of management, etc., compared with the existing global mobility management protocol, i. e., mobile IPv6 and fast mobile IPv6.

Key words: PMIPv6; MIPv6; FMIPv6; handover-delay

随着 Internet 技术的迅速发展及移动电话、笔记本电脑、PDA 等移动设备的广泛使用, 用户对设备的移动性要求越来越高。移动 IPv6 (MIPv6)^[1] 满足移动节点 (MN) 切换时维持因特网可达性。然而, MIPv6 协议以 MN 为中心, 切换相关的决策均需要有 MN 的参与, 导致这种方案存在着较大的切换时延及移动终端的协议栈复杂度增大等缺点。

代理移动 IPv6 (PMIPv6)^[2] 是基于网络的移动性管理协议, 也即由网络负责管理 IP 移动性, MN 不参与任何移动性管理相关的信令。PMIPv6 中引入两个特殊的网络实体——移动接入网关 (mobile access gateway, MAG) 和区域移动锚点 (local mobility anchor, LMA)。MN 的家乡网络前缀等信息存放在 MAG 中, 类似 MN 的家乡网络, MAG 发送定制的路由器通告到 MN, MN 根据该通告在网络接口上配置其家乡地址 (MN-HoA)。目前的代理移动 IPv6 协议中, 仅针对 PMIPv6 域内切换, 即 MN 在同一个 LMA 下的不同移动接入网关 MAG 之间的切换, 提出了移动性管理方案。对于域间切换, 即 MN 在不同 LMA 之间进行切换时, 仍采用传统基于 MIPv6 协议的方案, 因而难以克服 MIPv6 协议固有的缺点。本文提出一种基于代理

移动 IPv6 的域间切换管理方案以有效改善移动性管理性能。

1 相关研究

1.1 代理移动 IPv6

代理移动 IPv6 是一种基于网络的移动性管理协议, 其拓扑结构如图 1 所示, 其中, 区域移动锚点 LMA 是 MN 在 PMIPv6 域的家乡代理。LMA 拥有 MIPv6 协议中定义的家乡代理的全部功能, 是 MN 家乡前缀的拓扑锚点, 维持 MN 在 PMIPv6 域的可达性。LMA 为每一个接入的节点保存一个 BCE (binding cache entry), 其中包括 MN-Identifier、MN 的家乡网络前缀 (home network prefix, HNP)、代理转交地址 (proxy-CoA) 和节点数据传输所使用的隧道接口标志符 (interface identifier) 等。这些信息可以使得 MN、LMA 和 MAG 三者联系在一起。移动接入网关 MAG 配置在接入路由器 AR 上, 其主要功能是检测节点的移动性, 代替 MN 初始化与移动性管理相关的信令, 完成与 LMA 的绑定更新。另外, 类似 MN 的家乡网络行为, MAG 发送定制的路由通告到 MN。当 MN 在 MAG 之间移动时, 收到同样的家乡前缀, 即认为自己在家乡网络域内, 从而不需要

收稿日期: 2009-07-25; **修回日期:** 2009-09-15 **基金项目:** 国际科技合作计划项目 (2008DFA12110); 新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-06-0778); 重庆市科委自然科学基金资助项目 (2009BB2083)

作者简介: 任三阳 (1984-), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为移动 IPv6 技术 (sany137@msn.com); 柴蓉 (1974-), 女, 陕西西安人, 讲师, 博士, 主要研究方向为个人通信、无线通信网络技术; 唐伦 (1973-), 男, 重庆合川人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为无线资源管理、移动性管理等; 陈前斌 (1967-), 男, 四川营山人, 教授, 博士, 主要研究方向为个人通信、多媒体信息处理与传输技术、下一代网络技术等。

重新配置 IP 地址。

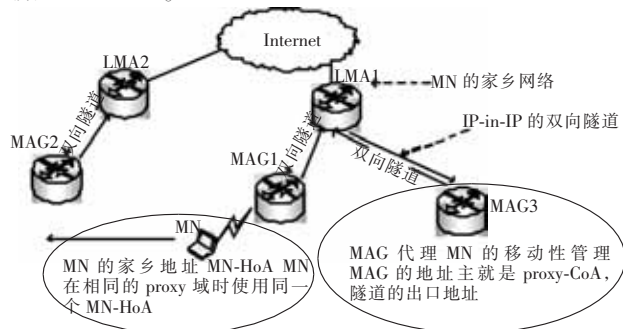


图 1 PMIPv6 的拓扑结构

PMIPv6 协议仅给出移动终端在 LMA 域内移动的切换管理方案,若节点移动范围移出了 LMA 域的管理范围,此时的切换管理则较为困难。如图 1 所示,当 MN 从 MAG1 切换到 MAG3 的区域,由于 MAG1 和 MAG3 同属于一个 LMA 域,这种切换称为域内 (intra-domain) 切换;而当 MN 从 MAG1 切换到 MAG2 的区域,由于 MAG1 和 MAG2 分属于不同的 LMA 域,这种切换称为域间 (inter-domain) 切换。解决域间移动性管理问题可以采用全局移动性管理协议。在现有的全局移动性协议中,常用的有移动 IPv6^[1] 和快速移动 IPv6^[3] 协议,也可采用 MOBIKE^[4] 或者 HIP^[5]。在这一章主要讨论使用移动 IPv6 和快速移动 IPv6 技术来解决基于代理移动 IPv6 的域间切换问题。

1.2 使用移动 IPv6 和快速移动 IPv6 技术解决域间切换问题

移动 IPv6 协议中,当 MN 漫游到外地代理时,需要重新配置转交地址,以保证通信的持续性。当 MN 超出 PMIPv6 的 LMA 域时,可以使用移动 IPv6 协议,在漫游的 LMA 域内重新配置一个新的地址。该地址可以是新的 LMA 域的家乡地址,作为 MN 的转交地址。MN 需要将这一地址在切换之前的 LMA 和通信对端节点 CN 处进行绑定更新。

1) 使用 MIPv6 协议解决基于 PMIPv6 的域间切换

切换信令流程如图 2 所示,其流程分析如下:

步骤 1 和 2 当 MN 完成二层切换之后,MAG1 (当前移动接入网关) 向 LMA1 (当前区域移动锚点) 发送 PBU (proxy binding update,代理绑定更新) 消息,请求解除 MAG1 的 P-CoA 与 MN 的 MN-HoA 的绑定。LMA1 收到 PBU 之后,给 MAG1 发送一个 PBA (proxy binding acknowledgement,代理绑定确认) 消息。

步骤 3~6 当 MN 到达 MAG2 (新的移动接入网关) 范围时,将收到 MAG2 发出的路由广播信息。由于 MAG2 不属于 LMA1 域,不知道 MN 的家乡前缀,MN 需要使用 MIPv6 协议才能进行正常的通信。步骤 3 和 6 即为 MIPv6 协议中的 RS (router solicitation,路由请求) 和 RA (router advertisement,路由通告) 消息,用来发现邻居的网络前缀和配置参数。步骤 4 和 5 是 MAG2 从 LMA2 中获取网络前缀的过程。得到邻居网络前缀之后,MN 就可以开始重新配置在 LMA2 域的 MN-HoA,并需要进行 DAD (重复地址检测) 过程。

步骤 7~10 MN 完成地址重新配置之后,需要注销在源 PMIPv6 域(MAG1)的消息。

步骤 11~14 MN 使用 MIPv6 中的消息 BU 来通知新的接入网,MN 已经获得新的网络前缀,并且成功配置 MN-HoA。LMA2 可以根据此消息建立 LMA2 和 MAG2 之间的双向隧道,至此完成整个域间的切换过程。

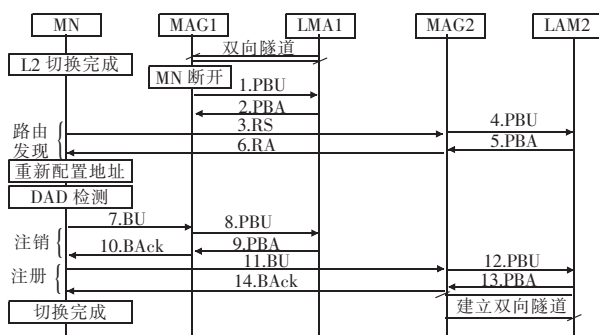


图 2 MIPv6 协议解决基于 PMIPv6 的域间切换信令流程

2) 使用快速移动 IPv6 协议解决基于 PMIPv6 的域间切换

切换信令流程图如图 3 所示。快速移动 IPv6 (FMIPv6) 协议在移动 IPv6 协议的基础上进行了改进,其主要思想是在二层切换完成之前提前触发三层切换,即 MN 在链路断开之前提前配置好转交地址,从而减少切换时延。

步骤 1~4 MN 提前获得邻居网络的前缀并完成地址配置^[3]。

步骤 5 和 10 分别为 FBU (快速绑定更新) 和 FBA (快速绑定确认) 消息,与 MIPv6 中的绑定更新和确认消息相同,用来通知家乡网络 MN 获得的转交地址 (即 MN 在 LMA2 域的 MN-HoA)。

步骤 6~9 启动切换的过程,在 FMIPv6 协议中有详细的描述^[3]。

步骤 11 FNA (fast neighbor advertisement,快速邻居公布) 消息是快速移动 IPv6 协议中定义的消息格式,用来通知 LMA2 域 MN 已经进入其覆盖范围。

源网络中的地址注销及新地址注册步骤与图 2 中所示相同,当 LMA2 和 MAG2 之间的双向隧道建立完成之后,MN 的数据就可以通过 LMA2 域进行传输,完成切换过程。

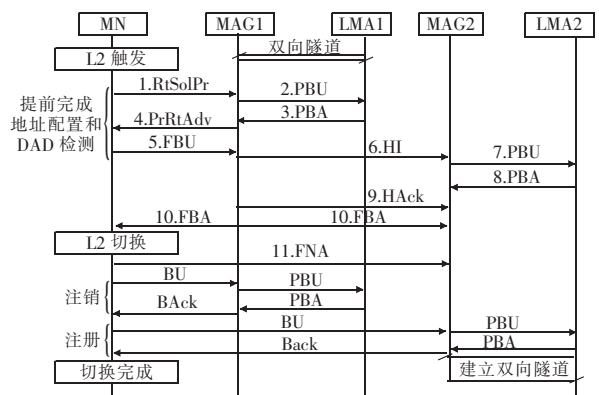


图 3 使用快速移动 IPv6 协议来解决基于 PMIPv6 的域间切换信令流程

2 基于 PMIPv6 的域间切换管理方法

前文给出了现有的全局移动性管理协议解决 PMIPv6 域间切换的方案,这些方案存在着较高的切换信令开销、较大的更新时延以及严重的位置保密性问题等缺点^[6,7]。

另外,这些协议的使用均要求 MN 参与移动性管理,即 MN 需要同时支持 PMIPv6 协议及传统的 MIPv6 协议,因而大大加重了移动终端的协议栈负担,这有悖于 PMIPv6 协议减轻移动终端协议栈复杂度的初衷,同时严重降低了 PMIPv6 协议的性能优势。因此,有必要研究更有效、更能体现 PMIPv6 协议优势的域间切换管理方案。

本章提出了一种前缀绑定的方法,其主要思想是在 MN 超出 LMA1 域时,由 LMA1 发送 PBU 消息到 LMA2,其中包括 MN 的家乡网络前缀;LMA2 收到 MN 的家乡网络前缀之后通过 MAG2 广播给 MN,使得 MN 收到同样的家乡网络前缀,不需要参与移动性相关的决策,认为还在自己的家乡网络。

图 4 给出了基于 PMIPv6 的全局移动性管理的切换流程。其具体方案如下:本节需要利用到 IEEE 802.21^[8] 定义的链路触发事件,需要在 L2 切换完成之前完成 LMA1 与 LMA2 之间的绑定更新。在步骤 1 中,L2 触发就是使用的 802.21 协议中的 link going down 触发事件,表明 MN 测量到当前移动接入网关信号下降,并在某个时间内即将断开。当 MAG1 收到 link going down 触发事件之后,发送 HI(handoff indicator,切换初始化)消息到 LMA1,通知 LMA1 移动节点将要离开 LMA1 域。LMA 收到 HI 消息之后,发送 PBU 消息到 LMA2,其中包含 MN 的家乡网络前缀。完成 MN 家乡网络前缀绑定更新之后,LMA2 域中存在 MN 的家乡网络前缀,可以仿真 LMA1 完成 MN 的切换。之后的流程与域间切换的一样,知道 LMA2 与 MAG2 之间建立双向隧道,切换完成。

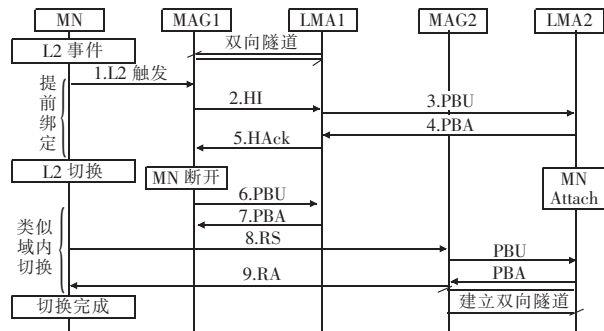


图 4 基于 PMIPv6 的全局移动性管理的切换流程

由于 PMIPv6 协议中没有定义 LMA 之间的信令交互格式,上述方法中,PBU 和 PBA 消息的格式需在 PMIPv6 协议定义的格式基础上稍作改变。这里借用 LMA 与 MAG 之间的绑定更新消息,通过在原来消息的基础上添加一个标志符,用来区别 LMA 之间的绑定。如图 5 所示,使用原 PBU 消息中的保留位,增加一个标志符 I,说明此消息是用在 inter-domain 域间切换的新定义的消息。同理在 PBA 消息的相应位置也借用保留位重新定义一个新的标志符 I,如图 6 所示。

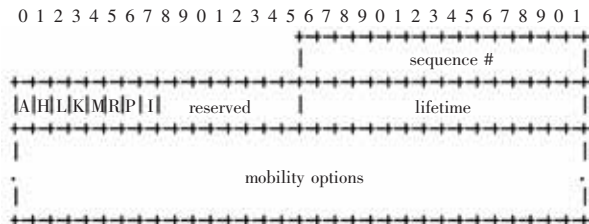


图 5 域间 PBU 消息格式

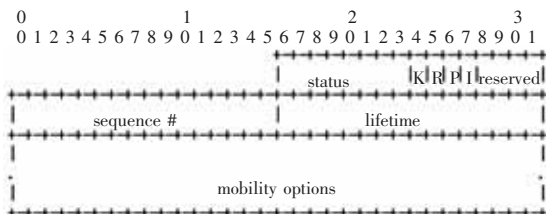


图 6 域间 PBA 消息格式

3 性能分析

切换时延是移动性管理的一项主要性能指标,如果时延过大,会引起数据包过多丢失,从而影响一些实时通信及时延敏感传输业务的应用。本章将对第 1,2 章中提到的三种域间切换方案的切换时延进行分析比较。切换时延时间分析模型采用文献[9,10]中所用模型,如图 7 所示,该模型定义了不同网络实体间的信令传输所消耗的时间。

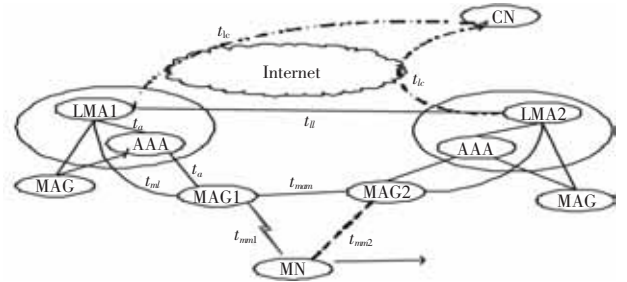


图 7 分析切换时延的简单模型

表 1 切换模型中各参数的含义

参数	含义
t_{ml}	MAG 与 LMA 之间的链路传输时间
t_a	LMA 或 MAG 与 AAA 服务器注册时间
t_{lc}	LMA 到 CN 的路由时间
t_{ll}	LMA 之间的传输时间
t_{mam}	不同 LMA 域中 MAG 之间的传输时间
t_{mm1}	MN 与源 MAG 之间的传输时间
t_{mm2}	MN 与目标 MAG 之间的传输时间

假设使用 MIPv6 方案的切换时延为 t_{MP} 、使用 FMIPv6 方案的切换时延为 t_{FMP} 、使用本文方案的切换时延为 t_{PMIPv6} , t_{L2} 为链路层的切换时延。在第一种方案中, t_{MP} 包括链路层切换时延 t_{L2} 、地址检测时延 t_{MD} 、重复地址检测时延 t_{DAD} 、AAA 认证时延 t_{AAA} 、注册时延 t_{REG} 及注销时延 t_{DE-REG} 。

从图 2 可以看出,地址检测包括图中步骤 1~6,因此

$$t_{MD} = 2(t_{ml} + t_{mm2} + t_{ml}) \quad (1)$$

注册过程包括步骤 7~10,另外,LMA2 要在 CN 处进行注册更新,即

$$t_{REG} = 2(t_{lc} + t_{ml} + t_{mm2}) \quad (2)$$

注销过程包括步骤 11~14 及 LMA1 在 CN 处进行注销,故

$$t_{DE-REG} = 2(t_{lc} + t_{ml} + t_{mm1}) \quad (3)$$

根据文献[9],AAA 注册时间为

$$t_{AAA} = 2 \times 2t_a = 4t_a \quad (4)$$

综上所述可以得到第一种方案的切换时延为

$$t_{MP} = t_{L2} + t_{MD} + t_{DAD} + t_{AAA} + t_{REG} + t_{DE-REG} \quad (5)$$

由于 t_{mm1} 和 t_{mm2} 之差对于整个切换时延来说可以忽略不计,可以认为 $t_{mm1} = t_{mm2}$,记为 t_{mm} ,把式(1)~(4)代入式(5),得到

$$t_{MP} = t_{L2} + t_{DAD} + 8t_{ml} + 6t_{mm} + 4t_{lc} + 4t_a \quad (6)$$

对于第二种方案,由于使用了快速移动 IPv6 技术,减少了 t_{MD} 和 t_{DAD} ,增加了切换初始化的过程,其切换时延为 t_{INI} 。

$$t_{INI} = t_{mm1} + 2t_{ml} + 2t_{mam} + \max(t_{mam}, t_{mm1}) \quad (7)$$

$$t_{FMP} = t_{L2} + t_{INI} + t_{AAA} + t_{REG} + t_{DE-REG} \quad (8)$$

将式(2)~(4)和(7)代入式(8)得到

$$t_{FMP} = t_{L2} + 6t_{ml} + 5t_{mm} + 4t_{lc} + 4t_a + 2t_{mam} + \max(t_{mam}, t_{mm}) \quad (9)$$

对于第三种方案,由于在二层切换之前完成初始化,并且不需要重新配置转交地址,可得

$$t_{PMIPv6} = t_{L_2} + t_{AAA} + t_{REG} + t_{DE-REG} \quad (10)$$

将式(2)~(4)式代入式(10),得到

$$t_{PMIPv6} = t_{L_2} + 4t_{ml} + 4t_{mm} + 4t_{lc} + 4t_a \quad (11)$$

为了便于分析切换时延,本文采用参考文献[9,11]中的时间参数设置,针对文献[12]中提及的多种可能的场景,可以认为文献[9,11]中设置的参数能够比较真实地反映每种协议的性能。在本文的分析中,初始参数设置如表 2 所示。

表 2 切换模型中各参数的取值

参数	取值/ms	参数	取值/ms	参数	取值/ms
t_{L_2}	10	t_a	3	t_{mm}	10
t_{ml}	10	t_{lc}	20	t_{DAD}	1 001

参数 t_{ll} 和 t_{mam} 的取值文献中未提及,根据链路状态和其他假设的参数,可以认为 t_{ll} 和 t_{mam} 均不超过 10 ms,这里假设 $t_{ll} = t_{mam} = 10$ ms。在切换方案一定时,切换时延主要会受到两个因素的影响:MN 与接入网之间的链路时延,MN 与 CN 之间的路由时延。

如图 8 所示,三种切换方案的切换时延都随着 MN 与接入网之间的链路时延 t_{mm} 的增大而增加,这一结果符合实际通信情况。同时可以看到,使用本文提出的基于 PMIPv6 的域间切换方案的切换时延要比前两种方案小得多。

图 9 所示为 MN 与 CN 之间的路由时延对域间切换的影响,从图 7 可以看出,MN 与 CN 之间的路由时延为 $t_{ml} + t_{mm} + t_{lc}$ 。在仿真时考虑的主要参数为 t_{lc} ,由于 t_{ml} 假设为固定不变的, t_{mm} 为 MN 与接入网之间的链路时延,在图 8 中已经分析。由图 9 中可以看出,当 t_{lc} 不断增加时,三种方案的切换时延都将增大,使用本文提出的基于 PMIPv6 的域间切换方案的切换时延较前两种方案小得多。

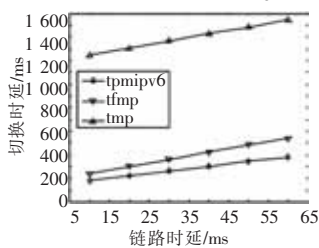


图 8 MN 与 MAG 的链路时延对域间切换的影响

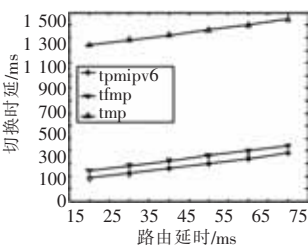


图 9 MN 与 CN 之间的路由时延对域间切换的影响

(上接第 1101 页)降低 TCP 连接的延迟(主要延迟存在于隧道段),同时分割后的 TCP 连接缓冲也没有任何增加,故而整条 TCP 的传输性能并不能得到较大提升。

上述两个问题可以通过加大 VPN 隧道的缓冲区进一步得到改善。具体的做法是将 TCP 连接分割为 TCP server-VPN server、VPN server-VPN client、VPN client-TCP client 三段,而在 VPN 隧道的两端采用较大的缓冲区,以提升整条 TCP 连接的传输性能。这部分改进工作将在以后的研究工作中加以实现。

参考文献:

[1] CHIU D, JIAN R. Analysis of the increase and decrease algorithm for congestion avoidance in computer networks[J]. *Computer Networks and ISDN System*, 1989, 17(1): 1-14.
 [2] FLOYD S. RFC 3649, HighSpeed TCP for large congestion windows [S]. 2003.

4 结束语

本文提出了一种新的基于 PMIPv6 协议的全局移动性管理方案,并与熟知的全局移动性管理协议 MIPv6 和 FMIPv6 进行了比较。该方案的框架背景是移动节点在不同的 LMA 域间切换。通过切换前后两个 LMA 的信令交互,使得新 LMA 域提前知道 MN 的家乡网络前缀,从而避免了 MN 的重新配置转交地址及参与移动性管理相关的信令传输,有效保证了基于网络的移动性管理的各种优势。本文最后根据切换时延分析模型对采用新方案与 MIPv6、FMIPv6 协议进行切换管理时的切换时延进行了数学仿真分析,仿真结果验证了本文所提方案可以有效减少切换时延。

参考文献:

[1] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. RFC 3775, Mobility support in IPv6[S]. [S. l.]: IETF, 2004.
 [2] GUNDAVELLI S, LEUNG K, DEVARAPALLI V, et al. RFC 5213, Proxy mobile IPv6[S]. [S. l.]: IETF, 2008.
 [3] KOODLI G. RFC 4068, Fast handover for mobile IPv6[S]. [S. l.]: IETF, 2005.
 [4] KIVINEN T, TSCHOPFENING H. RFC 4621, Design of the IKEv2 mobility and multihoming (MOBIKE) protocol[S]. [S. l.]: IETF, 2006.
 [5] MOSKOWITZ R, NIKANDER P. RFC 4423, Host identity protocol (HIP) architecture[S]. [S. l.]: IETF, 2006.
 [6] KEMPF J. RFC 4830, Problem statement for network-based localized mobility management (NETLMM)[S]. [S. l.]: IETF, 2007.
 [7] KOODLI R. RFC 4882, IP address location privacy and mobile IPv6: problem statement[S]. [S. l.]: IETF, 2007.
 [8] IEEE Std P802.21, IEEE standard for local and metropolitan area networks; media independent handover services[S]. 2008.
 [9] KONG K, LEE W, HAN Y, et al. Mobility management for all-IP mobile networks; mobile IPv6 vs. proxy mobile IPv6[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2008, 15(2): 36-45.
 [10] FAITHI H, PRASAD R. Mobility management for VoIP in 3G systems; evaluation of low-latency handoff schemes[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2005, 12(2): 98-104.
 [11] NARTEN T, NORDMARK E, SIMPSON W. RFC 2461, Neighbor discovery for IP version 6[S]. [S. l.]: IETF, 1998.
 [12] HAN Y, CHOI J, HWANG S. Reactive handover optimization in IPv6 based mobile networks[J]. *IEEE JSAC*, 2006, 24(9): 1758-1772.

[3] KELLY T. Scalable TCP: improving performance in high-speed wide area networks[J]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2003, 33(2): 83-91.
 [4] FLOYD A, ARCIA A, ROS D, et al. Adding acknowledgement congestion control to TCP[R/OL]. (2009-07-04). <http://tools.ietf.org/html/draft-floyd-tepm-ackcc-06>.
 [5] KUZMANOVIC A, MONDAL A, FLOYD S, et al. RFC 5562, adding explicit congestion notification (ECN) capability to TCP'S SYN/ACK pockets[S]. 2009.
 [6] HE E, LEIGH J, YU O, et al. Reliable Blast UDP: predictable high performance bulk data transfer[C]//Proc of IEEE International Conference on Cluster Computing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2002: 317-324.
 [7] MEISS M R. Tsunami: a high-speed rate-controlled protocol for file Transfer[EB/OL]. (2004-09-28). <http://steinbeck.ucs.indiana.edu/~mmeiss/papers/tsunami.pdf>.