

# 一种 PMIPv6 的 LMA 可靠性保证机制

朱型樯, 郜 帅, 王利利, 高德云

(北京交通大学 下一代互联网互联设备国家工程实验室, 北京 100044)

**摘 要:** PMIPv6 是基于网络的移动性管理协议, 作为其核心实体, 本地移动锚点 (Local Mobility Anchor, LMA) 功能的可靠性直接关系到整个网络的稳定运行。文中提出了一种保证 LMA 可靠性的机制, 该机制定义一个由备用 LMA 组成的冗余集, 通过对当前活跃 LMA 和冗余集中备用 LMA 之间的切换管理, 实现在 LMA 失效情况下移动性管理功能的延续性和服务状态的一致性, 从而保证整个 PMIPv6 网络的稳定运行。通过对机制开销的理论分析, 表明所提机制最适合 LMA 失效概率小, PMIPv6 域小的应用场景。

**关键词:** PMIPv6; 本地移动锚点; 可靠性; 移动性管理

**中图分类号:** TP309

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2012)01-0242-04

## A LMA Reliability Guaranteeing Scheme in PMIPv6

ZHU Xing-lei, GAO Shuai, WANG Li-li, GAO De-yun

(National Engineering Laboratory for Next Generation Internet Interconnection Devices,  
Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** PMIPv6 is a network-based mobility protocol and the reliability of its core entity. Local Mobility Anchor (LMA), directly affects the stability of the whole network. It proposes a LMA reliability scheme, which defines a redundancy consisting of some standby LMAs. By the means of the switching management between the active LMA and a standby LMA, the scheme reaches the aim that the LMA can always remain function and the service can keep consistent in case that the active LMA fails. Then, conduct an analysis of the performance for the scheme. The result of the analysis shows the protocol is perfect for the scene that LMA's failure probability is low and the domain of PMIPv6 is small.

**Key words:** PMIPv6; LMA; reliability; mobility management

## 0 引 言

在移动互联网移动性管理的研究和标准化过程中, IETF (Internet Engineering Task Force, IETF) 针对 IPv6 网络提出了相应的移动性支持协议 MIPv6<sup>[1]</sup>, 以及相关的扩展协议 FMIPv6<sup>[2]</sup>、HMIPv6<sup>[3]</sup>。但是, 以上所述的移动性协议都是基于主机的移动性管理协议, 在移动性管理过程中始终需要移动终端 (Mobile Node, MN) 的参与, 如此就增加了 MN 的复杂性, 在协议支持及扩展方面, 对 MN 提出了较高的要求<sup>[4]</sup>。因此, IETF 成立了 NETLMM 工作组, 提出了一种基于网络的移动性管理协议 PMIPv6 协议<sup>[5]</sup>。

作为基于网络的移动性管理协议, PMIPv6 定义了两个新的功能实体: 移动接入网关 (Mobility Access

Gateway, MAG) 和本地移动锚点 (Local Mobility Anchor, LMA), 其中 MAG 代替 MN 进行移动性检测及相关的移动信令交互, 使 MN 不再参与移动性管理, 从而大大减轻了 MN 的负担。而 LMA 是本地移动域 (Local Mobility Domain, LMD) 中 MN 家乡网络前缀的拓扑锚点, 负责维持 MN 的可达状态, 是 PMIPv6 网络的核心功能实体<sup>[6]</sup>。

PMIPv6 协议中的 MAG 在检测到 MN 接入后, 获取 MN 的标识符 (Mobile Node Identifier, MN-ID) 和相关策略文件, 并代替 MN 向 LMA 发送代理绑定更新消息 (Proxy Binding Update, PBU), 发起绑定注册。LMA 为每个 MN 创建一个绑定缓存, 建立 LMA 与 MAG 间的双向隧道, 并回复代理绑定确认消息 (Proxy Binding Acknowledgement, PBA)。在成功完成绑定注册后, 每个 MN 都获得一个唯一的家乡网络前缀 (Home Network Prefix, HNP), 只要 MN 是在这个 PMIPv6 域内移动, 它将一直使用这个家乡网络前缀。MAG 上维持了一个绑定更新列表, 其中每个条目都描述了 MN 和 LMA 之间的绑定关系, 在 MN 的接入链路上模仿家乡

收稿日期: 2011-06-11; 修回日期: 2011-09-22

基金项目: 国家自然科学基金 (60903150); 北京交通大学基本科研业务费 (2011JBM002)

作者简介: 朱型樯 (1986-), 男, 浙江人, 硕士研究生, 研究方向为移动互联网; 高德云, 副教授, 博士生导师, 研究方向为下一代互联网。

网络,保证了 MN 不会检测到 3 层接入的任何改变。

LMA 为每个注册的 MN 维护的绑定缓存主要包括 HNP 列表、MN-ID,以及 LMA 与 MAG 之间双向隧道的接口标识等信息。LMA 通过广播对 MN 的 HNP 的可达性,使 IPv6 路由器检测到 LMA 作为该 HNP 数据包的最后一跳,进而截获发往 MN 家乡网络前缀的数据包,再通过与 MAG 建立的双向隧道向 MN 转发。

作为最为核心的功能实体,LMA 的可靠性直接关系到整个网络的稳定运行。因此,为了确保网络的正常运行,必须保证 LMA 的可靠性。

## 1 相关研究

在当前运行的移动互联网功能实体出现功能失效而无法继续提供服务时,如何保证该实体功能的延续性和服务的一致性移动互联网可靠性研究最关键的问题<sup>[7-9]</sup>。文献[10]针对 MIPv6 协议中家乡代理(Home Agent, HA)的可靠性,提出了一套完整的解决方案,通过对活跃 HA 和备用 HA 的切换管理,可以有效应对 MIPv6 网络中 HA 失效的情形。但是,由于 MIPv6 是一种基于主机的移动性管理技术,决定了该方案所涉及的 HA 切换管理仍然是基于主机的。在切换过程中,和失效 HA 建立绑定关系的所有 MN 都必须参与操作,如果该失效 HA 所服务的 MN 数量众多,那么在切换过程中将集中产生大量的信令交互,增加了新接入 HA 的负担。另外,HA 的切换过程也给 MN 带来了额外开销,增加了终端的能量消耗,也带来了无线资源的浪费。

针对 PMIPv6 协议,文献[11]设计了一种 LMA 重定向机制,通过对 LMA 功能的重定向实现 LMA 的负载均衡,在一定程度上确保了 LMA 功能的可靠性,但还无法解决在当前运行 LMA 失效情况下 LMA 功能延续性的问题。为此,文中设计了一种 PMIPv6 中 LMA 可靠性保证机制,保证了在当前活跃 LMA 失效的情况下 LMA 功能的延续性和服务状态的一致性,从而提高了 PMIPv6 网络的稳定性。

## 2 LMA 可靠性保证机制

### 2.1 应用场景

文中所提机制中定义了一个由备用 LMA 组成的冗余集,通过周期性的状态交互,保持冗余集中 LMA 与当前活跃 LMA 服务状态的同步。并设计一种失效检测机制来检测 LMA 是否失效,当检测到活跃 LMA

失效时,通过对备用 LMA 的切换管理,及时地将备用 LMA 切换为活跃 LMA,替代失效的 LMA 继续履行 LMA 的功能,避免了通信的中断和数据的丢失。

图 1 所示为该机制的应用场景,图中定义的 LMA 冗余集是由一些备用 LMA 构成的一组集合,该集的所有 LMA 使用统一的组标识符进行标识,用于区分冗余集外的 LMA。而且,集合中每个 LMA 都被分配一个优先值,当检测到活跃 LMA 失效时,选择优先值最高的备用 LMA 启动切换进程,切换为活跃状态。

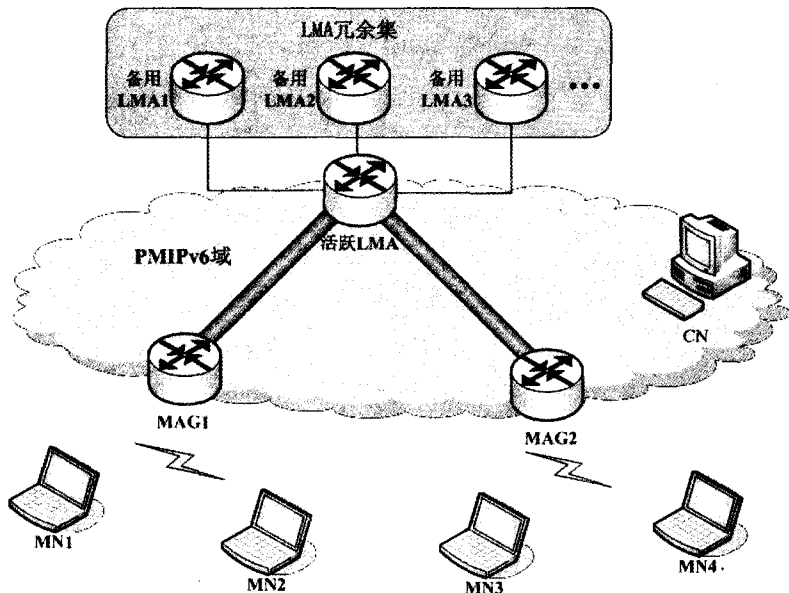


图 1 机制应用场景

### 2.2 工作流程

文中所提的 LMA 可靠性保证机制主要可以包括 LMA 状态同步,失效检测和切换三个部分。具体工作流程如图 2 所示,图中 LMA1 为当前活跃的 LMA,与 PMIPv6 域中的 MAG 建立了绑定关系,并通过隧道进行通信。LMA2 是冗余集中优先级最高的 LMA。

机制的详细工作流程如下所述:

1) LMA1 作为当前活跃的 LMA,为每个注册的 MN 维护了一个绑定缓存,维护着和 MAG 的绑定关系,截获发往 MN 家乡网络的数据包,并通过隧道向 MAG 转发,同时转发 MN 向外发送的数据包。

2) LMA1 和 LMA2 周期性地状态同步消息的交互,LMA2 通过接收来自 LMA1 的状态同步消息,与 LMA1 保持 MN 绑定缓存信息的同步。状态同步消息还包含了与 LMA1 建立绑定关系的 MAG 的地址信息。

3) LMA2 向 LMA1 周期性地发送 Hello 消息,用于监测 LMA1 的可用性。LMA1 收到 Hello 消息后立即回复一个确认消息。

4) 当 LMA2 向 LMA1 发送 Hello 消息后,如果在一定的时间内没有收到 Hello 消息的确认,则认为 LMA1

失效。

5) LMA2 通过步骤 4 检测到 LMA1 失效,随即启动 LMA 切换进程,向 LMA1 所绑定的 MAG 发送 LMA 切换消息,告知 LMA1 已经失效,并要求 6) MAG 向 LMA2 发起绑定更新请求。

6) MAG 收到 LMA 切换消息之后,依据切换消息中的地址信息,向 LMA2 发送 PBU,发起绑定更新请求。

7) LMA2 收到 MAG 发来的 PBU 后,建立与 MAG 的绑定关系,为 MAG 创建隧道,并回复 PBA。

8) MAG 接收到 LMA2 回复的 PBA 后,建立和 LMA2 的双向隧道。

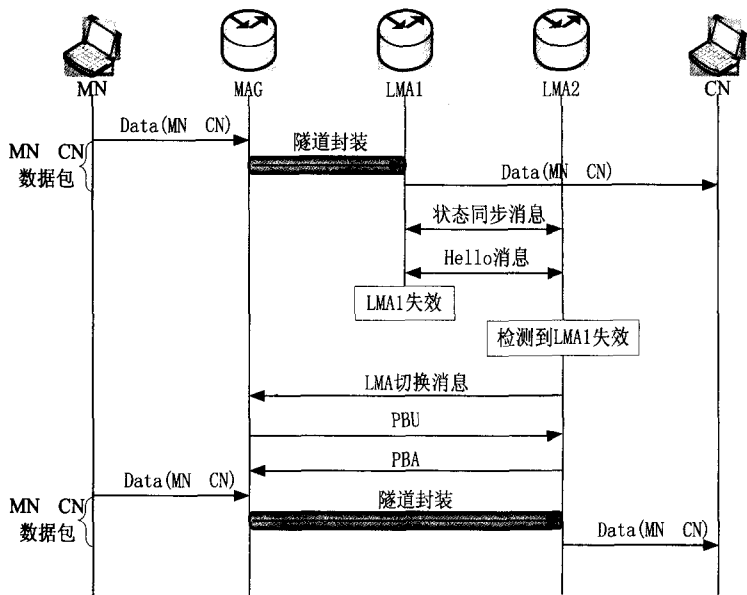


图 2 工作流程

至此,LMA1 所服务的 MAG 便和 LMA2 建立了绑定关系,LMA2 成功切换为活跃的 LMA,接管了 LMA1 的所有工作,保持了 LMA 功能的延续性。并且在整个 LMA 切换的过程中,MN 始终不参与信令交互。

该机制利用周期性的状态同步消息来实现 LMA 之间的绑定更新信息同步,同步消息需要包括 MN-ID 选项、HNP 选项、切换指示选项、接入类型选项和建立绑定的 MAG 地址选项等绑定信息。从而使得在备用 LMA 切换成活跃 LMA 后,保证服务状态的一致性。另外,活跃 LMA 的失效检测通过 Hello 消息的交互来实现,由于 Hello 消息开销较小,所以适用于 LMA 间的频繁交互,以不断检测对方的可用性。Hello 消息是对移动 IPv6 头的扩展,其中包括冗余集中备用 LMA 的优先值、生命值以及消息的发送间隔等信息。

### 3 性能分析

本节对文中所提的 LMA 可靠性保证机制进行信

令开销的分析,表 1 所示为所用到的参数及其含义。

表 1 信令开销分析的参数及其含义

参数	参数含义
$h_1$	活跃 LMA 与 MAG 之间的距离,以跳数表示
$h_2$	活跃 LMA 与备用 LMA 之间,以跳数表示
$C_{pss}$	LMA 处理同步消息的开销
$C_{phello}$	LMA 处理 Hello 消息的开销
$C_{MAG-1}$	MAG 处理 LMA 发送切换消息的开销
$C_{LMA-PBU}$	LMA 处理绑定更新的开销
$C_{MAG-PBA}$	MAG 处理绑定更新的开销
$\tau$	单位数据在有线链路中的传输开销
$T$	LMA 平均正常工作时间

依据该机制的工作流程,信令总开销 ( $C_{total}$ ) 主要包括活跃 LMA 与备用 LMA 之间的状态同步开销 ( $C_{ss}$ )、LMA 失效检测开销 ( $C_{fd}$ ) 和 LMA 切换开销 ( $C_{LMA-handoff}$ ) 三个部分,假设活跃 LMA 失效的概率为  $p$ ,则正常工作的概率为  $1-p$ ,则信令的总开销可以表示为:

$$C_{total} = \frac{(1-p)C_1 + p \times C_2}{T} \quad (1)$$

其中  $C_1, C_2$  分别表示 LMA 正常工作 and 失效情况下该机制的信令开销,可以由以下公式表示:

$$C_1 = C_{ss} + C_{fd} \quad (2)$$

$$C_2 = C_{ss} + C_{fd} + C_{LMA-handoff} \quad (3)$$

其中状态同步开销  $C_{ss}$ 、LMA 失效检测开销  $C_{fd}$  和 LMA 切换开销  $C_{LMA-handoff}$  则由以下公式表示:

$$C_{ss} = 2(h_2 \times \tau + C_{pss}) \quad (4)$$

$$C_{fd} = 2(h_2 \times \tau + C_{phello}) \quad (5)$$

$$C_{LMA-handoff} = h_1 \times \tau + C_{MAG-1} + 2h_1 \times \tau + C_{LMA-PBU} + C_{MAG-PBA} \quad (6)$$

将上式(4)~(6)代入公式(2)、(3)得到  $C_1, C_2$ , 再将所得  $C_1, C_2$  代入公式(1)可得:

$$C_{total} = \frac{4h_2 \times \tau + 2C_{pss} + 2C_{phello} + 3ph_1 \times \tau + p(C_{MAG-1} + C_{LMA-PBU} + C_{MAG-PBA})}{T} \quad (7)$$

文中依据参考文献[12~16]的相关研究,设置式中的参数:  $\tau=1, h_2=1, C_{pss}=2, C_{phello}=1, C_{MAG-1}=5, C_{LMA-PBU}=10, C_{MAG-PBA}=10$ ,并利用 MATLAB 软件实现开销的函数曲线图的描述,图 3 描述了该机制的信令开销和 LMA 平均正常工作时间之间的关系。

从图 3 可以看出,文中所设计机制的信令开销随着 LMA 平均正常工作时间的增大而减小,而且与当前活跃 LMA 失效的概率成正比,与 LMA 和 MAG 间的距

离 LMA 成反比。当 PMIPv6 域的大小一定时,即 LMA 和 MAG 的距离一定, LMA 失效的概率越大则该机制的信令开销越大。当 LMA 失效的概率一定时,机制的信令开销将随着 LMA 和 MAG 的距离增加而增大。以上分析表明,该机制在 LMA 失效概率小, PMIPv6 域小的场景下能保持最小的开销。

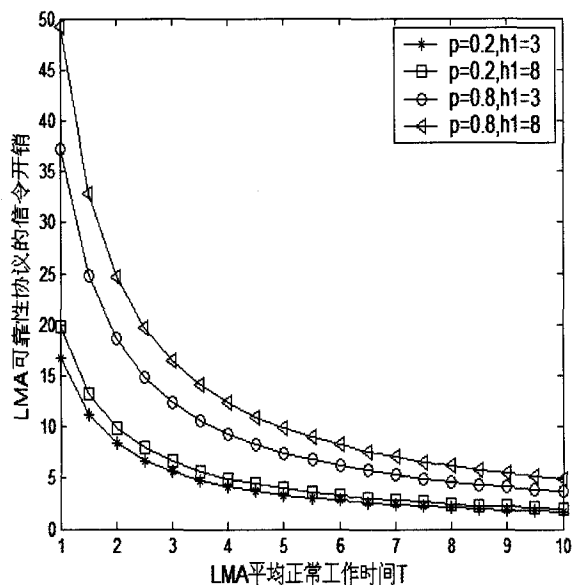


图3 机制信令开销

#### 4 结束语

文中所提出的保证 LMA 可靠性的机制,可以有效地应对 LMA 失效的情形,通过保证网络中 LMA 功能的可靠性,实现了其移动性管理功能的延续性和服务状态的一致性,从而有效地提高了 PMIPv6 网络的稳定性。另外,该机制的实现不需要移动终端的参与,因而也不会给终端带来额外的开销,进而更加保证了该机制的可行性。

#### 参考文献:

- [1] Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility Support in IPv6[S]. RFC3775, 2004.
- [2] Koodli R. Fast Handovers for Mobile IPv6[S]. RFC4068, 2005.
- [3] Soliman H, Castelluccia C, Malki K E, et al. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6) [S]. RFC4140, 2005.
- [4] 李庆,曾志纯. IPv6 协议对移动性的支持[J]. 微机发展(现更名:计算机技术与发展), 2003, 13(11): 90-92.
- [5] Gundavelli S. Proxy Mobile IPv6[S]. RFC5213, 2008.
- [6] 周华春,张宏科,秦雅娟. 一种基于代理移动 IPv6 的全局移动性管理结构和协议[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(12): 3000-3004.
- [7] 韩卫占,张思东,孙玉. 通信网络管理控制系统可靠性及其评价研究[J]. 西安电子科技大学学报, 2008, 35(1): 133-139.
- [8] 郑龙,刘敬军,罗鹏程,等. C3I 系统的网络可靠性综述[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(4): 11-16.
- [9] 张玉军,张翰文,自文曙,等. 移动 IPv6 网络家乡代理容错方法研究[J]. 软件学报, 2008, 19(6): 1491-1498.
- [10] Wakikawa R. Home Agent Reliability Protocol (HARP) [S]. IETF, 2010.
- [11] Korhonen J, Gundavelli S, Yokota H, et al. Runtime LMA Assignment Support for Proxy Mobile IPv6[S]. IETF, 2010.
- [12] Kwon T. Mobility Management for VoIP Service: Mobile IP vs SIP[J]. IEEE Wireless Commun, 2002, 9(5): 66-75.
- [13] Woo M. Performance Analysis of Mobile IP Regional Registration[J]. IEICE Trans Commun, 2003, E86-B(2): 472-478.
- [14] Xie Jiang, Akyildiz I F. A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2002, 1(3): 163-175.
- [15] 刘银龙,曾志民,夏海轮,等. 代理移动 IPv6 的开销分析与自适应优化[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(5): 56-60.
- [16] 裴珂,李建东,郭峰. 移动 IP 路由优化性能分析及仿真[J]. 电子学报, 2002, 30(4): 484-487.
- [6] 杨尚俊. 数学建模简明教程[M]. 合肥:安徽大学出版社, 2006.
- [7] 陈秀真,郑庆华,管晓宏,等. 层次化网络安全态势威胁态势量化评估方法[J]. 软件学报, 2006, 17(4): 885-897.
- [8] RFC1905. Protocol Operations for Version 2 of the Simple Network Management Protocol[S]. 1996.
- [9] 王军,雄伟,肖德宝. 基于 SNMP 的入侵检测系统的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2003, 17(2): 55-59.
- [10] 秦海龙. 基于 SNMP 的网络设备性能监控系统的研究与实现[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2008.
- [11] 武孟军,任相臣. Visual C++ 开发基于 SNMP 的网络管理软件[M]. 第2版. 北京:人民邮电出版社, 2009.
- [12] 周志成,王卓,汪秉文,等. 基于 SNMP++类库的简单网络管理平台的实现[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(3): 158-160.

(上接第 241 页)