

层次移动 IPv6 域内切换优化方案

孙晓林^{1*}, 张建洋¹, 贾 晓²

(1. 南阳师范学院 现代教育技术与网络中心, 河南 南阳 473061; 2. 南阳师范学院 软件学院, 河南 南阳 473061)

(* 通信作者电子邮箱 sunxiaolin639@126.com)

摘 要: 基于指针推进机制的层次移动 IPv6 方案未考虑接入路由器 (AR) 间的距离对切换性能产生的影响, 针对该问题提出一种优化方案 OPF-HMIPv6。OPF-HMIPv6 首先比较 AR 间和 AR 与移动锚点 (MAP) 间的距离, 优先向 MAP 进行注册, 而不是直接向 AR 注册构建指针链。仿真结果表明 AR 与 MAP 间的距离大于 AR 间的距离时, OPF-HMIPv6 比 HMIPv6 至少减少了 39% 的注册延迟, 证实了该方案在减少绑定更新导致的开销上的有效性, 提高了域内切换的效率。

关键词: 层次移动 IPv6; 移动锚点; 域内切换; 指针链; 绑定更新开销; 注册

中图分类号: TP393.03 **文献标志码:** A

Optimization of intra-MAP handover in HMIPv6

SUN Xiaolin^{1*}, ZHANG Jianyang¹, JIA Xiao²

(1. Modern Education Technology and Network Center, Nanyang Normal University, Nanyang Henan 473061, China;

2. Software Institute, Nanyang Normal University, Nanyang Henan 473061, China)

Abstract: In the pointer forwarding schemes of Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6), the influence of the distance between the Access Routers (ARs) on the handover performance has not been taken into consideration. To solve this problem, the optimization of intra-MAP (Mobile Anchor Point) handover in HMIPv6 based on pointer forwarding (OPF-HMIPv6) was proposed. The OPF-HMIPv6 compared the distance between ARs with the distance between AR and MAP firstly and gave priority to registering to MAP, rather than built a pointer chain immediately by registering to AR. The simulation results have shown that OPF-HMIPv6 can decrease the registration cost by 39% compared to HMIPv6 when the distance between AR and MAP is greater than the distance between ARs, which proves that the optimization reduces the overhead caused by the binding update and improves the efficiency of the intra-MAP handover.

Key words: Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6); Mobile Anchor Point (MAP); intra-MAP handover; pointer chain; binding update cost; register

0 引言

移动 IPv6 (Mobile IPv6, MIPv6)^[1] 中, 移动节点 (Mobile Node, MN) 一旦改变网络接入点, 必须向家乡代理 (Home Agent, HA) 和通信对端 (Correspondent Node, CN) 发送绑定更新 (Binding Update, BU) 进行注册。如果 MN 切换比较频繁, 则会引起较高的网络开销。因此, Internet Engineering Task Force 工作组在 MIPv6 的基础上引入移动锚点 (Mobile Anchor Point, MAP), 提出层次移动 IPv6 (Hierarchical Mobile IPv6, HMIPv6)^[2] 协议, 使绑定更新局部化, 优化注册流程, 提高域内切换性能。但是, 当接入路由器 (Access Router, AR) 与 MAP 距离较大时, 域内切换的性能急剧下降, 极大地影响通信效率。

针对以上问题, 现有方案结合指针推进机制进行改进, 例如: 在 AR 间构建指针链^[3], 该方案在一定程度上提高了域内切换的性能, 但忽略了 AR 和 MAP 以及 AR 之间的距离对切换过程产生的影响。因此, 本文将引入指针推进机制的 HMIPv6 方案 (Pointer Forwarding Schemes of HMIPv6, PF-

HMIPv6) 进一步优化, 提出基于指针推进机制的 HMIPv6 域内切换优化方案 (Optimization of Intra-MAP Handover in HMIPv6 based on Pointer Forwarding, OPF-HMIPv6), 根据指针链长度以及 AR 和所属 MAP 间的距离决定向 AR 或者 MAP 注册, 从而提高域内切换的注册效率, 降低绑定更新的开销, 提高切换性能。

1 HMIPv6 和指针推进机制

1.1 HMIPv6 概述

HMIPv6 通过引入 MAP, 将整个网络从逻辑上划分为不同的管理域, 同时将 MN 的移动分为域内移动和域间移动, 即: MN 在同一 MAP 和不同 MAP 不同 AR 间的移动。

MN 进入新的子网后, 收到 AR 周期发送的路由通告 (Router Advertisement, RA) 消息。MN 通过比较 RA 所包含的 MAP 选项和当前 MAP 信息判断发生域内切换还是域间切换。若是域内切换, 则 MN 根据 RA 中的子网前缀信息, 利用无状态地址自动配置机制^[4] 生成新的链路转交地址 (New On-link Care-of Address, NLCoA), 并向 MAP 发送本地绑定更

收稿日期: 2013-08-14; 修回日期: 2013-10-17。 基金项目: 南阳师范学院校级青年基金资助项目 (QN2013041)。

作者简介: 孙晓林 (1986-), 女, 河南南阳人, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向: 下一代互联网、无线网络; 张建洋 (1984-), 男, 河南南阳人, 工程师, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机网络; 贾晓 (1984-), 男, 河南南阳人, 助教, 硕士, 主要研究方向: 计算机视觉、虚拟现实。

新(Local Binding Update, LBU)消息,将 LCoA 和区域转交地址(Regional Care-of Address, RCoA)进行绑定。若是域间切换, MN 根据 MAP 选择算法选取适当的 MAP,配置新的 LCoA 和 RCoA,不仅向 MAP 发送 LBU 进行注册,而且向 HA 发送 BU 将新 RCoA 和 MN 的家乡地址(Home Address, HoA)进行绑定。

此后, CN 向 MN 发送的数据包首先通过 MN 的家乡地址被转发到 HA,再由 HA 根据绑定缓存中 MN 的 RCoA 转发至 MAP,最后通过隧道转发给 MN。

1.2 指针推进机制

移动通信网络如全球移动通信系统(Global System for Mobile communications, GSM)、IS-41 等通过引入指针推进机制^[5-7],在移动台经过的访问位置寄存器间构建指针链,避免移动台与归属位置寄存器的频繁交互,从而降低位置管理开销。

为了进一步提高 MN 进行切换的效率,该指针推进机制被引入层次移动 IPv6 中。文献[8-10]提出在 MAP 间建立指针链,降低了 MN 向 HA 和 CN 进行绑定更新产生的延迟,提高域内切换的性能;文献[3]将指针推进机制引入 HMIPv6 的域内切换中,建立 AR 间指针链,旨在改善 MN 向 MAP 注册的过程;文献[8]考虑 MAP 管理域的影响,设计一种面向 HMIPv6 的动态指针推进机制,根据 MAP 域的大小进行智能选择,若 MAP 管理域大于设定阈值,则采用 AR 指针推进方案,否则采用 MAP 指针推进机制。

现有基于指针推进机制的域内切换方案主要根据指针链的长度决定是否向 AR 注册,但是由于 MAP 域的不规则性、AR 位置的不确定性以及 MN 移动的无规律性,当 MN 从距离 MAP 较远的 AR1 移动到距离 MAP 较近的 AR2 时,若指针链长度小于设定的阈值,则仍然向 AR1 进行绑定,势必增加绑定注册的延迟,而且增加数据包的转发开销。因此,本文提出一种优化方案 OPF-HMIPv6,当 MN 距离 MAP 较近时,优先向 MAP 注册,进一步降低绑定更新的开销,提高切换性能。

2 HMIPv6 域内切换优化方案 OPF-HMIPv6

OPF-HMIPv6 考虑 AR 和 MAP 间以及 AR 间的距离对绑定注册产生的影响,首先将二者进行比较,采取“就近”原则,如果距离 MAP 较近,则直接向 MAP 注册,而不是向 AR 注册建立指针链,以减少绑定更新产生的时延,同时降低数据包的转发开销,从而提高域内切换的效率。

2.1 HMIPv6 的改进

为了实现 AR 间的指针链,每个 AR 都保存一个指针表(Pointer Table, PT),包括三个字段:HoA、Current 和 Next,分别保存 MN 的家乡地址、基于当前 AR 子网前缀的 LCoA 和基于下一跳 AR 子网前缀的 LCoA。其中,Next 的初始值为 NULL,表示 MN 位于当前 AR 内,此后根据 PBU(Pointer-based Binding Update)消息进行更新。

其中,PBU 是新增标志位“P”的 BU 消息,用于指示构建指针链,由新接入路由器转发至原接入路由器。PBA(Pointer-based Binding Acknowledgement)与 PBU 配对使用,是对 BA 消息的改进,同样增加标志位“P”,若 AR 收到该消息,则表示成功构建指针链,且长度加 1。

2.2 切换流程

MN 由同一 MAP 下的 AR1 移动进入 AR2 域后,首先依

据 AR2 的子网前缀信息配置新的链路转交地址,记为 LCoA2。然后比较 AR2 与 MAP 的距离($Dist_{(MAP)}$)和 AR2 与 AR1 的距离($Dist_{(AR)}$): $Dist_{(MAP)}$ 较小时,向 MAP 注册;当 $Dist_{(AR)}$ 较小时,再根据指针链的长度 l 决定构建指针链与否。因此,OPF-HMIPv6 的切换分为两种情况(分别用虚实线表示),具体切换流程如图 1。

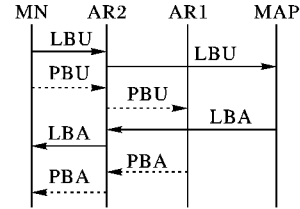


图1 OPF-HMIPv6 信令交互流程

1) 向 MAP 注册。

当 $Dist_{(MAP)} \leq Dist_{(AR)}$, 即 MN 距离 MAP 较近或 $Dist_{(MAP)} > Dist_{(AR)}$ 且 $l = k$ (指针链阈值),即指针链长度已达到上限时,MN 向 MAP 发送 LBU 消息进行注册,指针链长度 l 置零,信令交互如图 1 实线所示。

数据包转发过程与 HMIPv6 相同,由 MAP 通过 AR2 转发给 MN,避免了通过指针链转发的开销,减少端到端的延时。

2) 向 AR1 注册构建指针链。

$Dist_{(MAP)} > Dist_{(AR)}$ 且 $l < k$ 时, MN 距离 AR1 较近,通过 AR2 向 AR1 发送 PBU 消息,以构建 AR1 和 AR2 间的指针链,如图 1 虚线所示。AR2 将该消息转发至 AR1,AR1 更新 PT 表中的 next 项为 LCoA2,并向 AR2 发送 PBA,告知指针链已成功建立。此时 AR1 中 PT 表为:HoA、LCoA1、LCoA2,AR2 的 PT 表为:HoA、LCoA2、NULL,其中 LCoA1 是 MN 根据 AR1 的子网前缀配置的转交地址。当 MN 收到 PBA 消息时,指针链长度 l 加 1。至此,切换过程已全部完成。

CN 向 MN 发送的数据包经过 HA 转发给 MAP,最后通过 AR 间的指针链(AR1→AR2)转发给 MN,增加了通过指针链转发的过程。

2.3 性能分析

假设 MN 与 AR 间是无线链路,AR 间、AR 与 MAP 间是有线链路,单位距离的传输开销分别为 C_w 和 C_l 。因此, HMIPv6、PF-HMIPv6 和 OPF-HMIPv6 的绑定更新开销分别为:

$$C_{HMIPv6} = 2(C_w + Dist_{(MAP)} \cdot C_l)$$

$$C_{PF-HMIPv6} = 2(C_w + Dist_{(AR)} \cdot C_l)$$

$$C_{OPF-HMIPv6} = 2(C_w + \min(Dist_{(MAP)}, Dist_{(AR)}) \cdot C_l) = \min(C_{HMIPv6}, C_{PF-HMIPv6})$$

由上可知, OPF-HMIPv6 进行绑定更新的开销总是小于等于 HMIPv6 和 PF-HMIPv6。

3 仿真实验

实验采用离散事件模拟器 NS2^[11],基于 NS2-allinone-2.31,利用扩展模块实现层次移动 IPv6,并在此基础上进行改进,对 HMIPv6、PF-HMIPv6 和 OPF-HMIPv6 进行模拟。

3.1 仿真环境

本实验包括 8 个有线节点和 1 个无线移动节点,拓扑结构如图 2 所示,MAC 协议采用 IEEE 802.11,无线路由协议是 NOAH,选用固定速率(Constants Bit Rate, CBR)数据源^[12], CN 与 UDP 端相连,发送 UDP 封包, MN 接收由 CN 发送的数

据包,包大小是1 000 B。仿真开始后,经过5 s的稳定时间,MN开始从AR1向AR2以1 m/s的速度移动,同时CN开始向MN发送数据包,直到实验结束。

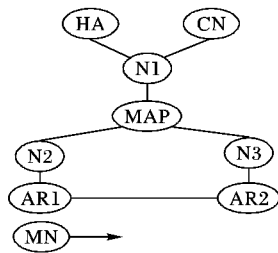


图2 仿真网络拓扑结构

3.2 仿真结果分析

由于优化方案OPF-HMIPv6重在减少绑定更新产生的开销,因此选取该项为性能评估参数。考虑到切换性能受CBR流量和链路延迟的影响,下面对各方案在不同情况下MN进行域内切换时绑定更新所产生的开销进行分析。

图3所示是CBR流量从0.1 Mb到0.9 Mb的情况下的绑定更新开销情况。可以看出,HMIPv6和OPF-HMIPv6绑定更新产生的延迟重叠为一条曲线,这是因为OPF-HMIPv6中,AR2和MAP的距离不受CBR流量的影响,总是小于AR2与AR1的距离,根据切换算法MN向MAP进行绑定更新,与HMIPv6的注册过程相同。HMIPv6和OPF-HMIPv6的绑定更新开销总体上低于0.02 s,而PF-HMIPv6的注册开销浮动较大,尤其在CBR流量为0.9 Mb时,绑定更新所产生的延迟大于0.03 s。因此,OPF-HMIPv6产生较小的注册开销,具有较好的切换性能。

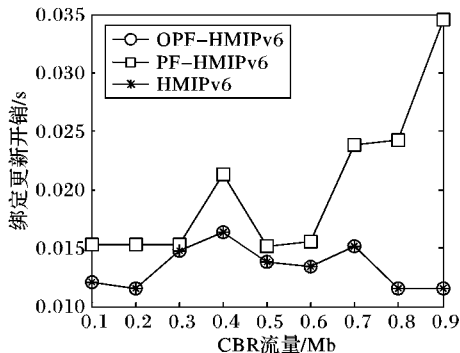


图3 不同CBR流量下绑定更新开销

图4描述了CBR流量和AR1与AR2间链路延迟一定的情况下,MAP和AR2间不同链路延迟对绑定更新开销产生的影响。由于PF-HMIPv6发送PBU/PBA构建指针链的过程只与AR1和AR2有关,因此MAP和AR2间的链路延迟对绑定更新的开销没有影响,呈一条直线。

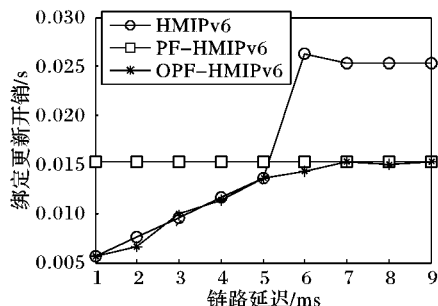


图4 不同链路延迟下的绑定更新开销

由图4可知,无论MAP和AR2间的链路延迟为何值,

OPF-HMIPv6的绑定更新开销总是最小的,与性能分析结果相一致。当MAP和AR2间的链路延迟小于等于5 ms时,即MAP和AR2间的距离小于等于AR1与AR2间的距离,OPF-HMIPv6的注册开销远远小于PF-HMIPv6,尤其在链路延迟为1 ms时,减少了63%的注册开销,这是因为MN首先判断AR2与MAP以及AR间距离,优先向MAP进行注册的结果;当链路延迟大于5 ms时,OPF-HMIPv6比HMIPv6至少减少39%的注册开销。因此,OPF-HMIPv6进一步降低了绑定更新的开销,有效解决了域内切换过程存在的问题。

4 结语

OPF-HMIPv6对已有的指针推进方案进行优化,通过对AR与MAP间及AR间距离的比较,优先向MAP注册;根据指针链的长度是否达到阈值判断是否向AR注册,从而降低绑定更新的开销,减少数据包的转发过程。仿真结果表明,在MN距离MAP较近的情况下,OPF-HMIPv6比PF-HMIPv6具有更低的绑定更新开销,进一步降低了域内切换的延迟,有效解决了指针推进机制中域内切换存在的问题,提高了切换效率。下一步的工作重点是研究在基于指针推进机制的情况下如何从整体上提高HMIPv6的切换性能。

参考文献:

- [1] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. RFC 3775, Mobility support in IPv6[S]. Fremont: IETF, 2004.
- [2] SOLIMAN H, BELLIER L, MALKI K E. RFC 4140, Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) mobility management[S]. Fremont: IETF, 2005.
- [3] PACK S, LEE B, KWON T, *et al.* A pointer forwarding scheme with mobility-aware binding update in mobile IPv6 networks[J]. Computer Communications, 2008, 31(5): 873-884.
- [4] THOMSON S, NARTEN T, JINMEI T. RFC 4862, IPv6 stateless address autoconfiguration[S]. Fremont: IETF, 2007.
- [5] MA W, FANG Y. Two-level pointer forwarding strategy for location management in PCS networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2002, 1(1): 32-45.
- [6] LIN Y B, TSAI W N. Location tracking with distributed HLR's and pointer forwarding[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1998, 47(1): 58-64.
- [7] LI Y, CHEN R. Design and performance analysis of mobility management schemes based on pointer forwarding for wireless mesh networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(3): 349-361.
- [8] YANG Y, DONG Y. Dynamic pointer forwarding scheme for HMIPv6 networks[J]. Journal of Software, 2011, 22(1): 164-176. (杨怡, 董永强. 面向分层移动IPv6网络的动态指针推进机制[J]. 软件学报, 2011, 22(1): 164-176.)
- [9] YI M K, CHOI J W, YANG Y K. A pointer forwarding scheme for minimizing signaling costs in nested mobile networks[C]// Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Networks. Piscataway: IEEE, 2007: 230-234.
- [10] LIU Y L, ZENG Z M, XIA H L, *et al.* Low-cost binding update scheme based on pointer forwarding in HMIPv6 network[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2010, 17(3): 73-77.
- [11] The VINT Project. The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation) [EB/OL]. [2013-07-10]. http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns_doc.pdf.
- [12] KE Z, CHENG R, DENG D. NS2 Simulation - Multimedia and wireless network communications[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009: 23-47. (柯志亨, 程荣祥, 邓德隽. NS2仿真实验——多媒体和无线网络通信[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 23-47.)