

层次移动 IPv6 宏切换的优化方案

李向丽,孙晓林,高艳红,王伟锋,刘大伟

(郑州大学 信息工程学院,郑州 450001)

(sunxiaolin639@126.com)

摘要:针对层次移动 IPv6 宏切换中丢包率高、切换延迟大的问题,提出一种将隧道机制应用于层次移动 IPv6 的优化方案(TBFMH)。TBFMH 根据切换信息提前获得转交地址,进行重复地址检测,并在建立隧道的同时完成本地绑定更新。仿真实验表明,TBFMH 比层次移动 IPv6 至少减少 50% 的切换延迟,同时降低了丢包率,有效提高了移动节点进行宏切换的性能。

关键词:移动锚点;宏切换;隧道;切换延迟;丢包率

中图分类号: TP393.03 **文献标志码:** A

Optimization of macro-handover in hierarchical mobile IPv6

LI Xiang-li, SUN Xiao-lin, GAO Yan-hong, WANG Wei-feng, LIU Da-wei

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: The macro handover has caused high packet loss and long handover latency in Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) protocol. To solve these problems, this paper proposed a protocol named Tunnel-based Fast Macro-Handover (TBFMH), which introduced the mechanism of tunnel, acquired care-of addresses on the grounds of handover information, conducted duplication address detection in advance and completed local binding update while building the tunnels. The simulation results show that TBFMH can decrease the handover latency by 50% at least and reduce the packet loss rate compared to HMIPv6, which effectively improves the performance in the macro handover.

Key words: Mobility Anchor Point (MAP); macro-handover; tunnel; handover latency; packet loss rate

0 引言

为了满足各种无线终端的移动性要求,Internet 工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)提出了移动 IPv6 (Mobile IPv6, MIPv6) 协议^[1],它使移动节点(Mobile Node, MN)在不同子网之间移动时保持通信的连续性。但是,一旦 MN 发生切换就必须向家乡代理(Home Agent, HA)和通信对端(Correspondent Node, CN)进行绑定更新,随着切换频率的加快,以及 MN 与 HA/CN 之间距离的增加,将导致信令负载和切换延迟过大。IETF 提出了层次移动 IPv6 (Hierarchical Mobile IPv6, HMIPv6)^[2]来改善这一问题。HMIPv6 在 MIPv6 的基础上引入本地代理——移动锚点(Mobility Anchor Point, MAP),当 MN 在 MAP 域内移动时,只需向 MAP 进行绑定更新,不需要向 HA 和 CN 注册,加快了绑定更新的过程,减少了切换延迟,提高了微移动的切换性能。但是当 MN 在不同 MAP 间进行切换时,除了向 MAP 进行绑定更新外,还需向 HA 和 CN 进行注册,既增加了信令负载,也加大了切换延迟。

针对 HMIPv6 协议宏移动中出现的上述问题,目前已提出了一些解决方案,如多层 MAP^[3]、多播^[4]等,这些方案在一定程度上提高了切换性能,但是多层 MAP 存在 MAP 选择问题,多播机制降低了链路带宽的利用率。因此,本文提出了一种将隧道机制^[5-6]应用于 HMIPv6 的优化方案(Tunnel Based Fast Macro Handover, TBFMH),当 MN 发生宏移动时,在二层切换之前建立隧道的同时完成本地绑定更新,当 MN 到达新

MAP 后仅仅向 HA 和 CN 进行绑定更新,又通过 MAP 间的隧道来转发数据分组并由 MAP 进行缓存,最终达到减少切换延迟和丢包的目的,提高数据的传输效率。仿真实验表明,TBFMH 协议在减少切换延迟、降低丢包率等方面都优于 HMIPv6。

1 HMIPv6

HMIPv6 引入 MAP,把整个网络划分成若干个逻辑“域”,每个域由特定的 MAP 管理,MAP 是 HMIPv6 中任意层次的路由器,代表其管理区域内的所有 MN 接收数据分组。在 HMIPv6 协议中,MN 的移动分为域内移动和域间移动,同一 MAP 域的不同子网内的移动,属于域内移动,进行微切换;不同 MAP 间的移动,属于域间移动,进行宏切换。

由于逻辑域的划分,MN 拥有两个转交地址,分别为区域转交地址(Regional Care-of Address, RCoA)和链路转交地址(Local Care-of Address, LCoA)。RCoA 根据 MN 所属的 MAP 的网络前缀配置,保存在 HA 和 CN 中,用于 CN 和 MAP 的通信;LCoA 基于移动节点当前默认路由器的前缀进行配置,保存在 MAP 的绑定缓存中,用于 MAP 与 MN 之间的通信。因此,MN 发生微切换时,只向 MAP 绑定注册新 LCoA,但进行宏切换时,还要向 HA 和 CN 注册新 RCoA,以便 CN 通过新 RCoA 与 MN 进行通信^[7]。

1.1 域内移动

当 MN 在同一 MAP 域的不同接入路由器(Access

收稿日期:2010-11-18;修回日期:2011-01-20。 基金项目:河南省教育厅自然科学研究计划项目(2010A520040)。

作者简介:李向丽(1965-),女,河南开封人,副教授,硕士,主要研究方向:计算机网络;孙晓林(1986-),女,河南南阳人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络;高艳红(1982-),女,内蒙古通辽人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络;王伟锋(1984-),男,河南许昌人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络;刘大伟(1983-),男,河南郑州人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络。

Routers, AR) 之间进行域内移动时, MN 只需要根据 AR 的网络前缀配置新 LCoA, 而 RCoA 保持不变, 这使得 MN 的移动对 CN 和 HA 都是透明的。MN 完成 LCoA 的配置后, 向 MAP 发送本地绑定更新 (Local Binding Update, LBU) 消息将 RCoA 和 LCoA 进行绑定。当 MAP 接收到 CN 发送的数据分组后, 进行封装, 通过 LCoA 转发给 MN。这时, MN 只需要向距离较近的 MAP 注册, 将新 LCoA 与原 RCoA 进行绑定, 不需要向距离较远的 HA 和 CN 注册, 从而减少 MN 与外部网络的通信, 减少绑定注册时间和信令开销, 提高了切换效率。

1.2 域间移动

当 MN 在不同 MAP 域的 AR 间移动时, 如果 MN 进入新的 MAP 域, 收到了新 AR 发送的路由通告 (Routing Advertisement, RA) 消息, 则 MN 使用从 RA 消息中获取的 AR 路由前缀和 MAP 选项信息配置 RCoA 和 LCoA, 然后对 LCoA 进行重复地址检测 (Duplicate Address Detection, DAD)。如果 LCoA 没有重复, 则 MN 向新 MAP 发送 LBU 进行本地绑定更新, 新 MAP 对 RCoA 执行 DAD 检测, 若不冲突, 则在绑定缓存中建立新的绑定项, 保存 RCoA 和 LCoA 的绑定, 并向 MN 发送本地绑定确认 (Local Binding Acknowledgement, LBA) 消息通知绑定成功。最后, MN 向 HA 和 CN 发送绑定更新 (Binding Update, BU) 消息将家乡地址 (Home Address, HoA) 与 RCoA 进行绑定, 若绑定成功, 则 HA 和 CN 向 MN 回送绑定确认 (Binding Acknowledgement, BA) 消息。此时, 切换已全部完成, CN 可以直接与 MN 进行通信。

1.3 HMIPv6 性能分析

这里, 主要从延迟方面分析其切换性能。计算切换延迟的公式中用到的符号说明如下: $T_{(L2)}$ 为二层切换延迟; $T_{(MD)}$ 为移动检测所需的时间; $T_{(CoA)}$ 为配置转交地址和 DAD 检测的时间; $T_{(LBU)}$ 为 MN 向 MAP 进行绑定更新的时间; $T_{(BU)}$ 为 MN 向 HA 和 CN 进行绑定更新的时间。

MN 进行域内切换的延迟为:

$$T_{(intra-HMIPv6)} = T_{(L2)} + T_{(MD)} + T_{(CoA1)} + T_{(LBU)}$$

其中 $T_{(CoA1)}$ 只是对 LCoA 的配置及 DAD 检测时间。

域间切换的延迟为

$$T_{(inter-HMIPv6)} = T_{(L2)} + T_{(MD)} + T_{(CoA2)} + T_{(LBU)} + T_{(BU)}$$

这里 $T_{(CoA2)}$ 指对 LCoA 和 RCoA 的配置及 DAD 检测时间, 显然, $T_{(CoA2)} > T_{(CoA1)}$ 。

分析可知, MN 进行微切换时, HMIPv6 较 MIPv6 减少了向 CN 和 HA 的绑定更新时间, 降低了切换延迟, 有效地提高了网络性能, 但在宏切换的情况下, 性能虽然比 MIPv6 有所提高, 但是基本上没有改善^[8]。因此, 提高 HMIPv6 协议中宏切换的效率显得尤为重要。

2 优化方案——TBFMH

2.1 基本思想

该方案的主要目的是在 MN 到达新 MAP 之前, 执行部分三层切换工作, 即将部分三层切换操作提前到二层切换前进行, 以减少切换延迟。MN 在原 MAP (Previous MAP, PMAP) 的边界时, 收到新 MAP (New MAP, NMAP) 域的 AR 发送的 RA 消息, 配置完新的转交地址后, 便开始在新旧 MAP 间建立隧道。另外, 在 MAP 处引入缓存, MN 进行切换期间, CN 发送的数据分组通过隧道发送给新 MAP, 新 MAP 对其进行缓存, 这样就可以减少切换过程的丢包率, 保证数据传输质量。

TBFMH 利用快速移动 IPv6 (Fast Mobile IPv6, FMIPv6)^[5]

中的切换发起 (Handover Initiate, HI) 消息和切换确认 (Handover Acknowledge, HAcK) 消息建立隧道, 同时向新 MAP 绑定提前配置的新 LCoA。当 MN 进入新 MAP 后, 不需要耗费配置新的转交地址和向 MAP 进行注册的时间, 只需要向 HA 和 CN 绑定新 RCoA 即可, 从而减少切换延迟, 提高宏切换的效率。

除了 FMIPv6 和 HMIPv6 中定义的消息外, 本文还定义了一个新的消息, 即 NMA (New MAP Advertisement) 消息, 属于 ICMPv6 消息, 由 MN 发送给 MAP, 通知 MAP 自己进入新的链路, 并开始使用新 RCoA 和 LCoA。

2.2 切换流程

TBFMH 协议考虑不同域的不同子网间的切换, 其工作流程分为三个阶段: 首先, 获取必要的切换信息, 即切换准备阶段; 其次, 建立隧道并完成本地注册; 最后, 向家乡代理和通信对端进行绑定更新阶段。具体的切换流程如图 1 所示。



图 1 TBFMH 切换流程

1) 切换准备。MN 移动至 PMAP 的边缘时, 收到 NAR 发送的 RA 消息, 该消息中包含 NMAP 选项信息和 NAR 的网络前缀。MN 根据收到的 RA 中的 MAP 选项信息和自己所保存的 MAP 选项信息的一致性判断是否发生了宏移动。若是, 则配置新区域转交地址 (New RCoA, nRCoA) 和新链路转交地址 (New LCoA, nLCoA), 并对 nLCoA 进行 DAD 检测。然后, MN 向 PMAP 发送快速绑定更新 (Fast Binding Update, FBU) 消息, 其中 FBU 消息中包含 NMAP 的 IP 地址、原 RCoA、nRCoA 和 nLCoA。这里 FBU 具有 FMIPv6 的快速绑定更新和 HMIPv6 的本地绑定更新的双重作用。

该阶段将移动检测、转交地址配置和 DAD 检测提前到二层切换之前执行, 当 MN 进入新 MAP 后, 不需要执行这些操作, 加快切换过程的完成, 同时也为隧道的建立和 MAP 的注册做好准备。

2) 建立隧道和本地注册。PMAP 收到 FBU 后, 向 NMAP 发送 HI 消息开始建立隧道, 该消息中包含 MN 的链路层地址、原 RCoA、nRCoA 和 nLCoA。NMAP 收到 HI 后, 对 nRCoA 进行 DAD 检测, 如果检测成功, 则在 NMAP 中存储 (nRCoA, nLCoA) 绑定关系; 如果不成功, 即地址有冲突, 则 NMAP 为 MN 重新分配一个 nRCoA 并进行绑定, 新分配的 nRCoA 包含在 HAcK 中返回给 PMAP, 而不必等到 MN 完全移动到 NMAP 才进行本地绑定更新。FBU 和 HI 消息中包含 nRCoA 和 nLCoA, 为 MN 向 NMAP 进行绑定更新做准备。PMAP 收到 HAcK 后, 向 MN 发送 FBAck 消息。此时, PMAP 和 NMAP 间的隧道已经建立, 当 PMAP 收到发送给 MN 的数据分组时, 封装后通过隧道转发给 NMAP, NMAP 缓存这些分组。

该阶段不仅建立了隧道, 减少 MN 切换期间的丢包率, 而

且将原协议中的 LBU 消息整合到隧道建立过程中,提前完成了向 NMAP 的注册,因此当 MN 到达 NMAP 后,无需对 RCoA 进行 DAD 检测,也不需要发送 LBU 进行绑定更新。

3) 绑定更新。二层切换完成之后,一旦 MN 发现自己进入新链路,则立即向 NMAP 发送 NMA 消息主动通告自己的到达,而不是等待 AR 发送的 RA 消息判断自己是否到达 NMAP。这里 NMA 相当于 FMIPv6 中的快速邻居通告(FNA)消息。这时,NMAP 将其缓存的分组转发给 MN。然后,MN 向 HA 和 CN 发送 BU 注册 nRCoA,绑定成功后,HA 和 CN 向 MN 发送 BA 消息,通知 MN 绑定成功。至此,切换已经全部完成,CN 和 MN 可以正常通信。

3 仿真数据分析

3.1 实验环境

实验使用 Lawrence Berkeley 实验室开发的 NS2^[9] 作为仿真平台,对 HMIPv6 和 TBFMH 协议进行模拟。网络拓扑结构如图 2 所示,共有 9 个网络节点,包括 8 个有线节点和 1 个移动节点。

该实验采用 IEEE 802.11 中用于无线网络的 DCF 作为 MAC 协议,采用 NOAH 无线路由协议。选用 FTP/TCP 作为数据源,CN 与 TCP^[10] 端相连,作为发送端,MN 与代理 TCPSink 端相连,接

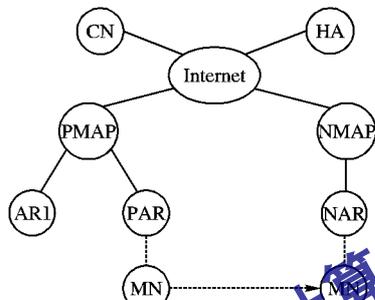


图2 仿真网络拓扑结构

受 TCP 数据,TCP 包的大小是 512 字节,拥塞控制窗口为 32。仿真开始后,经过 5 s 的稳定时间,MN 从 PAR 向 NAR 移动。CN 从第 5 s 开始与 MN 进行 FTP 会话,向 MN 发送 TCP 报文段,一直到整个实验结束,总的模拟时间是 80 s。

3.2 实验结果分析

选取以下评估参数,对 HMIPv6 和 TBFMH 协议的性能进行分析。

1) 切换延迟:MN 在 PAR 收到最后一个数据分组与到达 NAR 后收到第一个数据分组之间的时间间隔,包括二层(链路层)切换和三层(网络层)切换的时间。

2) 丢包率:MN 在整个切换过程中,丢失的数据分组占 CN 所发送的所有分组的比例。

NAR 和 HA 间的有线链路延迟在 102 ~ 300 ms 的不同情况下,HMIPv6 和 TBFMH 的切换延迟和丢包率的表现有所不同。

图 3 所示为 NAR 和 HA 间不同链路延迟对切换延迟的影响。可以看出,总的切换延迟随着 NAR 和 HA 间链路延迟的增加而变大,但是 TBFMH 的切换延迟明显低于 HMIPv6,TBFMH 的切换延迟为 0.3 ~ 0.75 s,而 HMIPv6 的延迟为 1.2 ~ 1.6 s。当 NAR 和 HA 的切换延迟为 120 ms 时,TBFMH 的切换延迟是 0.368 s,而 HMIPv6 的切换延迟为 1.245 s,前者比后者减少了大约 70%,即使在链路延迟为 300 ms 的情况下,TBFMH 的切换延迟也比 HMIPv6 减少了 53%。这是因为 TBFMH 将移动检测、转交地址配置和 DAD 检测提前到 I2 切换之前完成,并提前完成了向 MAP 注册,从而减少了切换延迟。

图 4 描述了 NAR 和 HA 间不同链路延迟时 MN 的丢包情

况。显而易见,TBFMH 的丢包率整体上低于 HMIPv6,这是因为 TBFMH 中采用了隧道转发数据和 MAP 缓存机制。MN 进行切换期间,在完成与 HA 和 CN 的绑定更新之前,CN 发送给 MN 的数据分组通过隧道转发给 NMAP,NMAP 对这些分组进行缓存,当 MN 到达 NMAP 后,再通过 nLCoA 转发给 MN,从而减少了由于通信中断而造成的数据包丢失。当 NAR 和 HA 间的链路延迟大于 240 ms 时,丢包率明显增加。对于 TBFMH,由于 TCP 网络拥塞和 MAP 缓存空间有限,仍会造成部分分组的丢失。

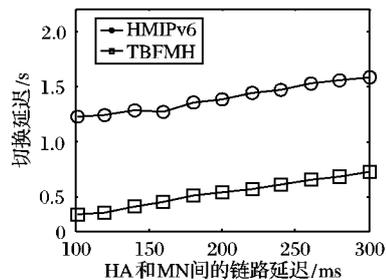


图3 不同链路延迟下的切换延迟

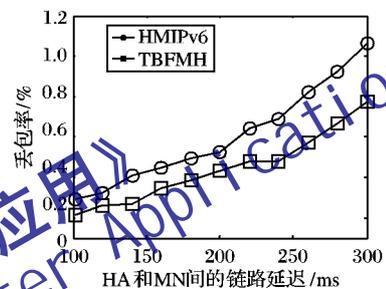


图4 不同链路延迟下的丢包率

4 结语

TBFMH 有效地整合了 FMIPv6 和 HMIPv6 协议,通过将 FMIPv6 消息流应用到 HMIPv6 中,使得转交地址的配置、隧道建立、重复地址检测和本地绑定更新都提前完成,弥补了 HMIPv6 的不足。仿真实验表明,TBFMH 协议不仅减少了切换延迟,而且降低了丢包率,其整体性能优于 HMIPv6 协议。下一步研究的重点是:如何减少绑定更新的

代价,进一步提高切换效率,使 TBFMH 协议的性能得到优化。

参考文献:

- [1] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. RFC3775, Mobility support in IPv6[S], IETF, 2004.
- [2] SOLIMAN H, CASTELLUCCIA C, EL-MALKI K, et al. RFC4140, Hierarchical mobile IPv6 mobility management[S]. IETF, 2005.
- [3] LEI Y X, KUO G S. Impact of MAP selection on handover performance for multimedia services in multi-level HMIPv6 networks[C]// Wireless Communications & Networking Conference. Piscataway: IEEE Press, 2007: 3904 - 3909.
- [4] TSAI C S. A high speed-based vehicular application for wireless network mobility (NEMO) environment[C]// Second International Conference on Computer and Network Technology. Piscataway: IEEE Press, 2010: 162 - 167.
- [5] KOODLI R. RFC4068, Fast handovers for mobile IPv6[S]. IETF, 2005.
- [6] LEE K, LIM Y, AHN S, et al. A macro mobility handover performance improvement scheme for HMIPv6[C]// ICCSA: Computational Science and Its Applications, LNCS 3981. Berlin: Springer-Verlag, 2006: 410 - 419.
- [7] 马航航. 一种分级移动 IPv6 切换的优化方案[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2009.
- [8] WU X Y, NIE G. Comparative study and performance analysis of the macro-mobility protocol[C]// APCIP: Asia-Pacific Conference on Information Processing, Volume II. Piscataway: IEEE Press, 2009: 497 - 500.
- [9] The network simulator—ns-2. [EB/OL]. [2010-04-20]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2009.
- [10] 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.