

MIPv6 与 FMIPv6 切换性能分析与优化

乔红麟, 马跃

(北京邮电大学计算机网络研究中心, 北京 100876)

摘要: 随着移动通信的迅速发展, 越来越多的移动设备提出了接入互联网的需求。移动 IPv6 的切换性能是保证移动互联网服务质量的重要因素之一。该文描述了 MIPv6 及 FMIPv6 的切换流程, 分析了 MIPv6 及 FMIPv6 的切换性能及其切换过程中存在的问题, 提出和归纳了一些优化思想和改进方法。

关键词: MIPv6; FMIPv6; 切换性能

Handover Performance Analysis of MIPv6 and FMIPv6

QIAO Hong-lin, MA Yue

(Computer Network Research Center, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876)

【Abstract】 With the rapid development of mobile telecommunication, more and more mobile equipments need to access Internet. The handover performance of mobile IPv6 is one of the key factors which guarantee the QoS of mobile Internet. This paper describes the handover procedure of MIPv6 and FMIPv6. It gives a detailed analysis of handovers in MIPv6, FMIPv6, analyzes problems in the procedures of MIPv6 and FMIPv6 handovers, and proposes ideas and solutions which could improve the handover performance of MIPv6 and FMIPv6.

【Key words】 mobile IP version 6(MIPv6); mobile IPv6 with fast handover(FMIPv6); handover performance

IETF 于 2004 年 6 月正式推出了 RFC3775 和 RFC3776, 它们定义了移动 IPv6(mobile IP version 6, MIPv6)及其安全性方面的要求, 解决了移动 IPv4 在 IP 地址、路由优化、安全性、扩展性等方面的问题, 为移动 IPv6 的实际应用走出了关键性的一步。

切换性能是影响移动互联网服务质量的最重要因素之一, 它主要的衡量标准包括切换延迟和丢包率。IETF2005 年提出了快速切换移动 IPv6(mobile IPv6 with fast handover, FMIPv6)。它通过移动检测预测切换过程的发生, 将网络层切换的部分操作提到链路层切换之前, 这样一旦完成链路层切换就可以很快进行网络层的通信, 加速了切换过程的完成。

1 MIPv6 及 FMIPv6 的切换流程

1.1 MIPv6 的切换流程

通过图 1 可以发现, MIPv6 的切换过程主要有以下几个阶段:

阶段 0: 第 2 层切换(L2 handover)

第 2 层切换是 MIPv6 切换过程中不可避免的一个阶段。L2 切换是指 MN 由一个 AP 切换至另一个新的 AP。在 L2 切换期间, MN 无法发送或者接收任何数据。

阶段 1: 移动检测(movement detection, MD)

移动检测阶段从 MN 发现原接入路由器 PAR 不可达开始, 然后去发现新的接入路由器 NAR, 直至 MN 真正地连接至该 NAR 的这段时间。通常的方法是 MN 利用邻居不可达检测 AR 是否是双向可达的, 如果不可达, 则 MN 将去发现新的 AR。

阶段 2: 重复地址检测(DAD)

MN 移动至 NAR 后将会获得新的转交地址 NAR, 在使用 NAR 之前, MN 需要进行 DAD 过程, 该过程是 MIPv6 切

换过程中比较耗时的一个阶段。MN 连续发送 DupAddrDetect Transmits(默认值为 1)次 NS 报文, 发送间隔为 Retrans Timer(默认值为 1 000ms), 如果没有邻居结点对该报文进行响应, 则说明该 NCoA 可用, 如果收到了对于该 NS 的 NA 报文, 则说明当前链路上有结点使用了该 NCoA, 则需要重新构造 NAR, 再次进行 DAD 过程, 直至 MN 得到可用的 NCoA 为止。

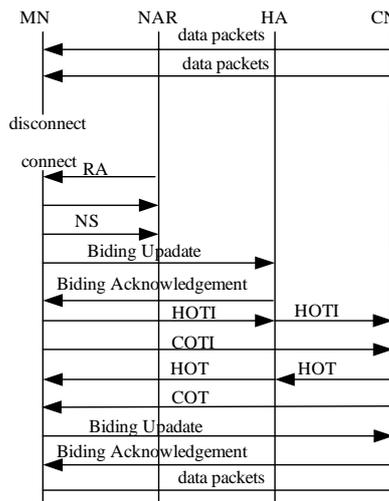


图 1 MIPv6 切换流程

阶段 3: MN 注册阶段

在成功地获得 NCoA 后, MN 将开始注册, 该阶段主要

作者简介: 乔红麟(1982 -), 男, 硕士, 主研方向: 计算机网络与通信; 马跃, 责任教授

收稿日期: 2006-09-25 **E-mail:** qiaohonglin@163.com

分为 3 个子阶段：

- (1)MN 向 HA 注册 NCoA。
- (2)MN 进行返回路由能力测试(return roubability test, RR)。
- (3)MN 向 CN 注册其新 CoA。

1.2 FMIPv6 切换流程

根据 MN 是否在 PAR 链路上收到快速绑定确认报文 FBACk, FMIPv6 的切换可以分为预先式切换(predictive handover)和反应式切换(reactive handover)两种。预先式 FMIPv6 切换的具体切换流程如图 2 所示,反应式 FMIPv6 切换的具体流程如图 3 所示。

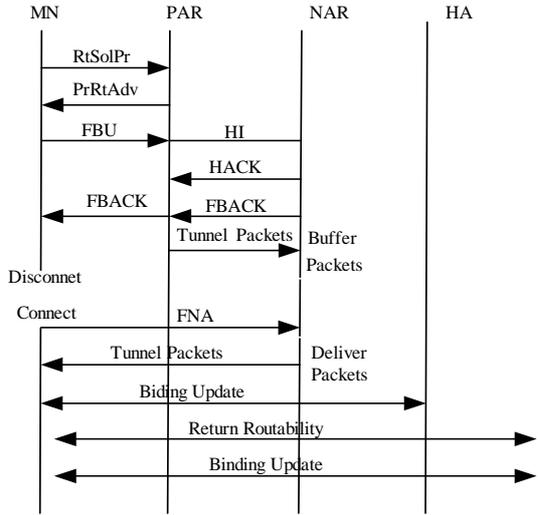


图 2 预先式 FMIPv6 切换流程

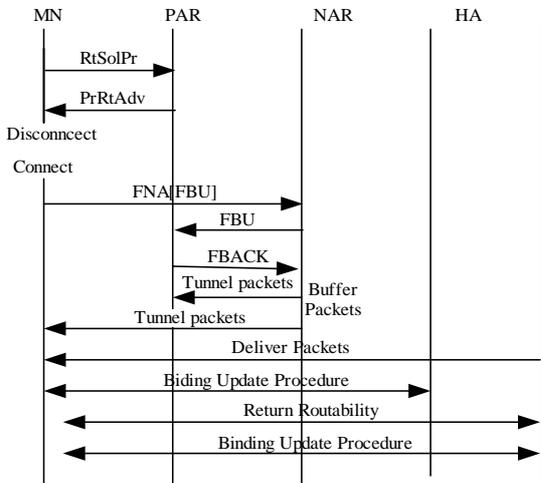


图 3 反应式 FMIPv6 切换流程

2 MIPv6 及 FMIPv6 切换性能分析

2.1 MIPv6 切换性能分析

(1)设L2 切换时间为 T_{L2} 。根据产品厂商不同, T_{L2} 值也不尽相同,对于 802.11b而言,一般为 200ms~1500ms。

(2)设移动检测时间为 T_{MD} 。假设记MN发现NAR所需要的时间为 $T_{DetectNAR}$,记MN检测原AR双向可达性所需的时间为 T_{URPAR} 。则

$$T_{MD} = T_{DetectNAR} + T_{URPAR}$$

其中,

$$T_{DetectNAR} = \begin{cases} T_{rtAdv} - T_{rtSol}, & \text{if router advertisement is solicited} \\ rtAdvInterval / 2, & \text{if router advertisement is unsolicited} \end{cases};$$

$$T_{URPAR} = MAX_UNICAST_SOLICIT \times RETRANS_TIMER。$$

MN 完成了移动检测后,将会根据 IPv6 地址配置规定配置本结点的 NCoA,本文记配置 NCoA 所需要的时间为 $T_{addrconfig}$ 。 $T_{addrconfig}$ 为 MN 根据 IPV6 地址的有关规定配置自己 IPV6 地址的时间以及更新自己路由表的时间。如果采用有状态地址自动配置方式,如 DHCPv6,则

$$T_{addrconfig} = T_{DHCPAddrReq} + T_{DHCPAddrResp} + T_{RouteUpdate}$$

其中, $T_{DHCPAddrReq}$ 和 $T_{DHCPAddrResp}$ 表示通过 DHCP 服务器配置 CoA 所造成的时延。

如果采用无状态地址自动配置方式,则 MN 会自己为自己配置适合当前链路的 IPv6 地址,通常 MN 利用路由器通告报文中的前缀信息加上自己接口 ID 得到一个 IPv6 地址。该方式下 $T_{addrconfig}$ 较小,可以忽略。

(3)设重复地址检测的时间为 T_{DAD} 。为了避免碰撞,MN 需要在随机延时一段时间才发送路由器请求报文,记该延时为 $T_{NSDelay}$,其范围为 0~MAX_RTR_SOLICITATION_DELAY(默认值为 1000ms),则

$$T_{DAD} = T_{NSDelay} + DupAddrDetectTransmits \times RetransTimer$$

(4)设 MN 注册阶段所需要的时间为 T_{REG} ,MN 向 HA 注册 NCoA 所需要的时间为 T_{BUHA} ,MN 进行返回路由能力测试所需要的时间为 T_{RR} ,而 MN 向 CN 注册 NCoA 所需要的时间为 T_{BUCN} 。则

$$T_{REG} = T_{BUHA} + T_{RR} + T_{BUCN}$$

其中, $T_{BUHA} = RTT_{BU-HA} + T_{procBU}$; $T_{RR} = RTT_{MN-HA} + RTT_{HA-CN} + RTT_{MN-CN}$; $T_{BUCN} = RTT_{BUCN}$ 。

(5)若记MIPv6 切换总时延为 T_{HO} ,则有

$$T_{HO} = T_{L2} + T_{MD} + T_{addrconfig} + T_{DAD} + T_{REG}$$

2.2 FMIPv6 切换性能分析

FMIPv6 允许 MN 在连接至 NAR 之前配置 NCoA,在 MN 真正连接到 NAR 所在区域后即可立即使用先前配置的 NCoA,所以,与 MIPv6 相比,FMIPv6 的优势主要体现在以下几个方面:

(1)使用代理路由器请求报文 RtSolPr 和代理路由器通告报文 PrRtAdv,消除了由于发现 NAR 所造成的切换时延 $T_{DetectNAR}$ 。

(2)消除了地址配置所造成的切换时延 $T_{addrconfig}$ 。

(3)使用切换初始化消息 HI 和切换确认消息 HACK,消除了重复地址检测所造成的切换时延 T_{DAD} 。

(4)使用快速绑定报文 FBU 和快速绑定确认报文 FBACk,消除了 MN 注册过程所造成的时延 T_{REG} 。

则 FMIPv6 的切换时延 T_{FHO} 为

$$T_{FHO} = T_{L2} + T_{FNA} + T_{NAR-MN}$$

其中, T_{FNA} 为 MN 发送 FNA 至 NAR 所需要的时间; T_{NAR-MN} 为 NAR 将数据包发送至 MN 所需要的时间,其值为 $RTT_{NAR-MN} / 2$ 。

2.3 MIPv6 和 FMIPv6 的切换时延对比

MIPv6 和 FMIPv6 的切换时延对比如图 4 所示,图中 PRD(proxy router discovery):代理路由器发现。需要说明的是图中的切换准备阶段,在预先式 FMIPv6 切换过程中,该阶段包括快速绑定更新(FBU)报文及快速绑定确认报文(FBACk)及切换初始化报文(HI)及切换初始化确认报文(HACK)的交互。而在反应式 FMIPv6 切换过程中,该过程仅包括快速绑

定更新(FBU)报文及快速绑定确认报文(FBAck)的交互,具体细节可以参考图 2 和 图 3。

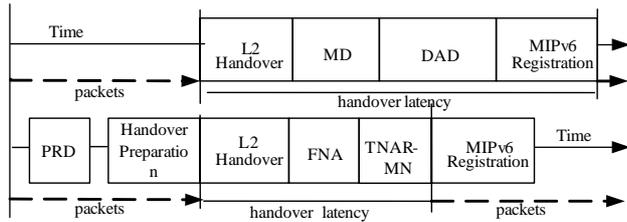


图 4 MIPv6 与 FMIPv6 切换时延对比

3 MIPv6 及 FMIPv6 切换存在的问题及改进的方法

3.1 MIPv6 切换存在的问题及改进的方法

(1)移动检测时间过长。在 1.1 节中分析了 MIPv6 切换过程中移动检测的方法,可以发现如果不利用任何提示信息且 MN 没有数据需要发送时,移动检测过程需要很长的时间。可以利用提示信息一些方法来缩短 MN 移动检测的时间。如连续监视 PAR 的路由器通告报文以判断 PAR 的可达性来减小 T_{URPAR} ;通过判断是否接收到新的 AR 路由器通告报文,或者利用 L2 Trigger 来减小 $T_{DetectNAR}$ 。

(2)重复地址检测是 MIPv6 切换时延中所需时间最长的一个阶段。文献[3]提出了一种优化的重复地址检测方法 (optimistic DAD, ODAD)。ODAD 允许在完成对 NCoA 的 DAD 之前使用该 NCoA, NCoA 在完成 DAD 之前为“暂时的”,在完成 DAD 过程后, NCoA 将会被作为“首选的”转交地址。ODAD 使得在 DAD 完成之前 MN 可以利用“暂时的”转交地址进行通信,从而避免了 MIPv6 切换过程中等待 DAD 完成后 MN 才能使用所得到的 NCoA 进行通信所造成的延时。如果采用 ODAD, MN 无需等待 DAD 成功即可以使用 NCoA, 则 MIPv6 的切换时延将会大大减小, 其值为

$$T_{HO} = T_{L2} + T_{MD} + T_{addrconfig} + T_{REG}$$

3.2 FMIPv6 切换存在的问题及改进的方法

通过 2.2 节的分析, FMIPv6 与 MIPv6 相比, 其切换时延减少了很多。但 FMIPv6 仍然存在一些问题:

(1)MN 的注册信令开销仍然较大。像 MIPv6 一样, 在每一次 FMIPv6 切换过程中都存在 MN 向 HA、CN 的注册过程, 尤其是出现频繁切换的时候, MN 的注册过程将造成很重的信令开销。可以将快速移动 IPv6 (FMIPv6) 与层次化移动 IPv6 (hierarchical mobile IPv6, HMIPv6^[4]) 结合起来, 通过引入 MAP, MN 的移动分为宏观移动和微观移动。当 MN 在同一移动锚点 (mobility anchor point, MAP) 内移动时, 即微观移动, 则切换完成后不需要对 HA、CN 做注册更新, 仅当在不同的 MAP 之间移动时, 即宏观移动, MN 在切换过程中才需对 HA、CN 进行注册更新。这样将切换过程的影响控制在子网范围内, 既减小了注册过程的延时 T_{REG} , 又减小了信令开销。

(2)MN 快速移动造成的 FMIPv6 切换性能恶化。乒乓运动 (ping-pong movement), 即 MN 在相邻的两个 AR 之间反复地做快速移动就是快速移动的一种情况。如果 MN 开始乒乓运动, 则可能会出现一次切换还未完成 MN 却返回了原来的 AR 区域, 此时 PAR、NAR 都不知如何将数据包发送至 MN, 从而导致数据包的丢失。文献[5]提出了一种由于 MN 乒乓运动所造

成切换性能恶化的解决方法。通常情形下若 PAR 所在子网的可用性 P_a 小于将要切换的 NAR 所在子网的可用性 P_b , 则意味着可能要发生切换。文献[5]主要是通过 MN 记录已经切换过的 AR 信息, 如果将要切换的 AR 已经被记录, 此时启动一个定时器, 如果在定时器超时前 MN 发现 $P_a > P_b$, 即 MN 可能又返回了 PAR 所在子网, 此时重置定时器, 从而避免了 MN 的乒乓运动。如果定时器超时后, MN 仍然发现 $P_a > P_b$, 则进行正常切换。

(3)“三方切换”的问题。“三方切换”是指 MN 在完成网络层切换以及与 HA、CN 的绑定更新以前, 由当前 NAR 移动到另一个接入路由器 NAR' 。由于“三方切换”中 PAR 将发送给 MN 的数据包通过隧道发送至 NAR, 而 MN 最终并不会移动到 NAR, 将会出现大量的数据包丢失。MN 仅根据 L3 的相关信息做出切换决定, 如对于 NCoA 预配置的依赖性以及过早向 PAR 发送 FBU 都可能会造成 MN 的“三方切换”。一种可能的解决方法是结合 L2 和 L3 的信息做出切换决定。MN 结合 L2 Trigger 来决定何时做切换, 以及将要切换哪个 AR。本文事先设定 L2 的信号强度门限值 $S_{threshold}$, 同时 MN 记录所有其可能切换至的 NAR 的相关信息, 如地址前缀、信号强度等。如果 MN 发现当前 AR 的信号强度低于预先设定的 $S_{threshold}$, 则 MN 开始切换过程 (此时距离 MN 的 L2 切换还有一段时间)。如果此时 MN 发现有多个 NAR 的相关信息, MN 应向 PAR 请求信号强度最强的 AR 的相关信息, 之后迅速向 PAR 发送 FBU 消息, 则 PAR 将会把发送至 MN 的数据包通过隧道发送至 MN 真正切换至的 NAR 处, 从而尽可能地避免出现“三方切换”的情形。

4 结束语

本文详细分析了 MIPv6 以及 FMIPv6 的切换性能, 其中特别讨论了 MIPv6 和 FMIPv6 的切换时延。在此基础上, 同时分析了 MIPv6 及 FMIPv6 在切换过程中存在的一些问题, 并提出了一些改进的思想和方法。尽管对于移动 IPv6 的切换性能已经有了很多的研究, 但目前移动 IPv6 的切换仍然存在一些问题, 仍然有待改进的空间。随着 Internet 及移动通信的迅速发展, 对于移动互联网服务质量的要求也将越来越高, 相信对于 MIPv6 切换过程中存在的一些问题将会得到更好地解决。

参考文献

- 1 Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility Support in IPv6[S]. RFC 3775, 2004-06.
- 2 Koodli R. Fast Handovers for Mobile IPv6[S]. RFC 4068, 2005-06.
- 3 MOORE N. Optimistic Duplicate Address Detection (DAD) for IPv6[S]. RFC 4429, 2006-04.
- 4 Soliman H, Catelluccia C, Malki K E, et al. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)[S]. RFC 4140, 2005-08.
- 5 Peng Xuehai, Zhang Hongke, Ma Lin, et al. An Improved Handoff Algorithm for Using Mobile IPv6 in Wireless Environment with Overlapping Areas[C]//Proc. of IEEE 6th CAS Symp. on Emerging Technologies: Mobile and Wireless Comm., Shanghai, China. 2004-05.