

基本 Mobile IPv6 及其改进协议切换时延分析和评估^①

Analysis and Evaluation of Handoff Latency for Base Mobile IPv6 and Its Enhancement Protocols

李 洋¹ 沈 策²

(1 陕西电力科学研究所 陕西 西安 710054; 2 国电机械设计研究院 浙江 杭州 310030)

摘要: 为支持 IP 移动性及减小切换时延, 当前 IETF 工作组相继提议了基本移动 IPv6 及其增强协议 HMIPv6、FMIPv6 和 F-HMIPv6。本文详细研究四类协议中造成切换时延的因素, 并定性地比较了以上协议在切换时所产生的时延大小。然后从用网络仿真器 ns-2 实现的仿真试验中, 得到与分析结果基本一致的实测时延数据。

关键词: 移动 IPv6 切换时延 协议

1 引言

Internet 与无线移动通信技术的快速大规模发展, 使得随时随地接入 IP 核心网的移动 IP 技术成为未来无线移动因特网的关键技术之一。为了支持 IP 的移动性, IETF 工作组首先分别提出了移动 IPv4^[1]和移动 IPv6^[2]的草案。为改善性能, 各种基于基本移动 IPv6 的增强协议也相继被 IETF 以草案的形式提议。这些协议有分层移动 IPv6(HMIPv6)^[3]、快速切换移动 IPv6(FMIPv6)^[4]和前两者结合的快速分层切换移动 IPv6(F-HMIPv6)^[5]。

移动 IPv6 允许移动节点(MN)从家乡网络中移动出去, 仍然透明的保持当前的所有连接即无缝切换以及同 Internet 的可达性^[6], 而要实现无缝切换则可以通过最小化切换时延获得。基本移动 IPv6 切换时延包括移动检测, 地址配置和绑定更新所需花费的时间^[7]。为减小切换时延而提出的分层移动 IPv6(HMIPv6)的动机是减少绑定更新时间; 快速切换协议(FMIPv6)的动机是减少地址配置时间; 快速分层切换移动 IPv6(F-HMIPv6)结合了两者的优点。为了进一步提出性能更好、切换时延更小的协议, 就有必要对当前已提出协议的时延进行分析和评估。

文献[8]对基本移动 IPv6 的时延进行了分析和评估, 但却忽略了绑定更新所产生的切换时延, 实际上, 网络时延往往会对切换时延造成很大影响。本文在他们研究的基础上, 更加全面地分析基本移动 IPv6 所产生的切换时延, 同时, 对三种移动 IPv6 改进协议的切换时延也做了分析, 分别给出了更为通用公式, 并对四类协议产生的时延在理论上作了分析比较。为了验证理论分析的正确性, 我们运用网络仿真工具 ns-2 对各种协议进行了仿真实验。通过对所获得的切换时延实验数据的分析, 验证了理论分析的正确性, 本文的研究成果也为设计性能更好的协议提供了实验数据和理论支持。

2 四类协议切换时延分析和比较

2.1 切换时延

定义 1 切换时延是指移动节点由当前子网切换到新子网的过程中, 从当前子网收到的最后一个数据包到从新子网收到的第一个数据包之间的时间间隔。

图 1 给出了移动节点在切换过程中发生的数据中断, 这些中断就是切换产生的时延所导致的。将中断分为两个阶段, 即 Break I 和 Break II。其中, Break

^① 收稿时间:2008-08-04

1 由以下三个过程组成:1)移动节点首先进行链路层切换,即断开与子网 Subnet-1 的连接,建立与子网 Subnet-2 的连接,该延迟表示为 t_{link} ; 2)移动节点根据移动检测算法做出是否开始执行移动 IPv6 切换的决定,这个延迟表示为 t_{MD} ; 3)如果移动节点决定开始移动 IPv6 切换,则开始配置新的转交地址并且执行重复地址检测过程,这个延迟表示为 t_{AC} 。Break II 是由移动节点向本地代理(HA)和通信对端(CN)发送绑定更新,注册新的转交地址。这个延迟表示为 t_{BU} 。 t_{link} 、 t_{MD} 、 t_{AC} 及 t_{BU} 都是由基本移动 IPv6 切换而产生的延迟。一般来说, $t_{link} \ll t_{MD} + t_{AC} + t_{BU}$, 可以忽略。

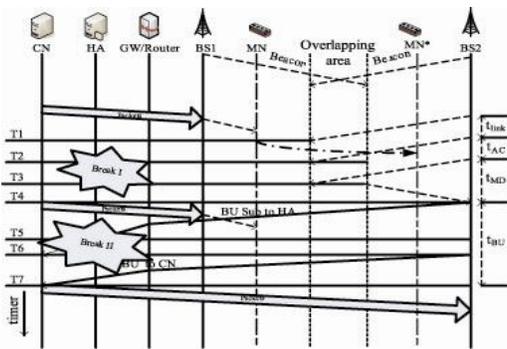


图 1 移动 IP 的切换中断

对于基本移动 IPv6 协议来说,其切换时延就是由上述 t_{MD} 、 t_{AC} 及 t_{BU} 组成; 分层移动 IPv6(HMIPv6) 将切换过程分为域内和域外, 在每个域内选择一个路由器作为 Mobility Anchor Point (MAP) (假设图 1 中移动节点是在 Subnet-1 和 Subnet-2 构成的域内移动, 那么就将 Router 当作 MAP)。当移动节点在域内移动进行切换时, 不必向本地代理(HA)和通信对端(CN)发送绑定更新, 只需向 MAP 发送绑定, 从而减小了由于网络延迟所导致的切换时延; 快速切换移动 IPv6(FMIPv6)协议中移动检测、地址配置和有效性确认是在进入切换区之前完成, 而移动节点与本地代理(HA)、通信对端(CN)之间的绑定更新等操作, 是在移动节点未进入 Subnet-2 之前全部或部分完成; 快速分层切换移动 IPv6 (F-HMIPv6) 协议是结合了 HMIPv6 和 FMIPv6 的优点, 从而进一步缩短了切换时延。

2.2 时延分析

分析之前, 首先做如下 6 个假设并给出表 1 中的标识说明:

假设 1 路由器广告(RA)信息总是包括子网前缀

信息。

假设 2 一个 RA 信息就足以确定移动节点(MN)的移动。

假设 3 一个邻居请求(NS)就足以确定 MN 的转交地址 (Care-of Address)。

假设 4 如果转交地址通过了重复地址检测 (DAD), 那么由于子网前缀被正确分配而使得全局地址也唯一。

假设 5 响应路由器请求(RS)的 RA 信息不会频繁发生且不会发生 RA 间隔。

假设 6 绑定时延 t_{BU} 、 t_{BU}^* 均小于由移动检测和地址配置所产生的时延 $t_{MD} + t_{AC}$ 。

表 1 标识说明

标识	说明
RA	路由器广告
NS	邻居请求
CoA	转交地址
DAD	重复地址检测
RS	路由器请求
BU	绑定更新
RR	路由可达性返回
tRA	两个 RA 信息发送之间时间间隔
tRTR_SOL_DELAY	移动节点发送两次 NS 之间的时间间隔
tRR	路由可达性测试所需时间
tBU_XX	移动节点与 XX (CN 或 HA) 之间实现绑定更新所需时间。
tBU*	移动节点与 MAP 之间实现绑定更新所需时间
tFNA	移动节点向新进入的基站发送已进入通告信息
DX-Y	节点 X 与 Y 之间的单向传输时延
MaxRtrInterval	基站自发发送 RA 信息前等待的最大时间
MinRtrInterval	基站自发发送 RA 信息前等待的最小时间
MAX_RTR_SOLICITATION	移动节点发送 NS 的最大等待时间
RetransTimer	移动节点在配置新的转交地址前等待反馈的时间

以下分别给出各个协议切换时延示意图及表达式, 所涉及到的符号和标识参见表 1。

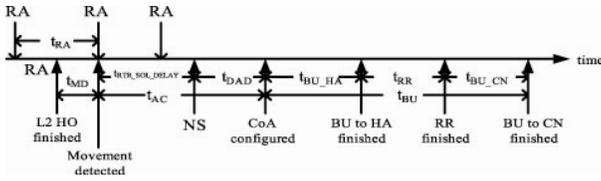


图 2 基本移动 IPv6 的切换时延

那么在以上所做的假设前提下，整个基本移动 IPv6 的切换时延如图 2 所示，基本移动 IPv6 的切换时延等于：

$$t_{BMIPv6handoff} = t_{MD} + t_{AC} + t_{BU}$$

$$= t_{MD} + t_{RTR_SOL_DELAY} + t_{DAD} + t_{BU_HA} + t_{RR} + t_{BU_CN}$$

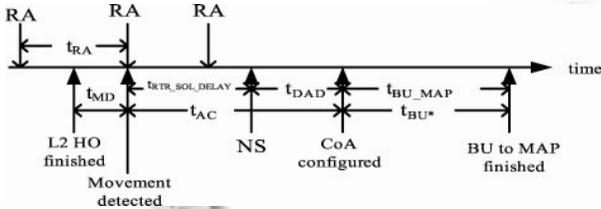


图 3 分层移动 IPv6 的切换时延

如图 3 所示，分层移动 IPv6 的切换时延等于：

$$t_{HMIPv6handoff} = t_{MD} + t_{AC} + t_{BU^*}$$

$$= t_{MD} + t_{RTR_SOL_DELAY} + t_{DAD} + t_{BU_MAP}$$

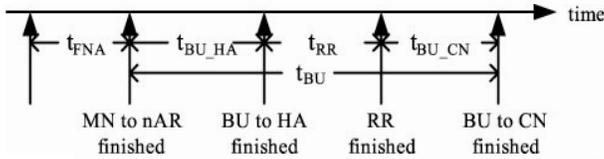


图 4 快速移动 IPv6 的切换时延

如图 4 所示，快速移动 IPv6 的切换时延等于：

$$t_{FMIPv6handoff} = t_{FNA} + t_{BU}$$

$$= t_{FNA} + t_{BU_HA} + t_{RR} + t_{BU_CN}$$

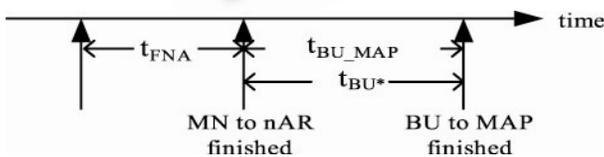


图 5 快速分层移动 IPv6 的切换时延

如图 5 所示，分层快速移动 IPv6 的切换时延等于：

$$t_{FHMIPv6handoff} = t_{FNA} + t_{BU^*} = t_{FNA} + t_{BU_MAP}$$

注意，为了定性比较各协议所产生的时延，这里公式化的各类协议的时延是理想状态下的最大时延。

2.3 时延比较

为了能够定性比较各种协议切换时延的大小，我们假设，网络负载较小时，依赖于数据包传输时延的 t_{BU} 、 t_{BU^*} 小于由移动检测和地址配置所产生的时延 $t_{MD} + t_{AC}$ 。在公式(3)和(4)中的 t_{FNA} 只是从 MN 到新的子网传送的一个控制信息包，其导致的时延可忽略不计。另外，显然有 $t_{BU} > t_{BU^*}$ 。因此，我们得出如下结论：

$$t_{BMIPv6handoff} > t_{HMIPv6handoff} > t_{FMIPv6handoff} > t_{FHMIPv6handoff} \quad (5)$$

即，分层快速移动 IPv6 切换协议的时延最短，快速切换移动 IPv6 协议次之，时延最长的是基本移动 IPv6。

参照文献[8]，我们进一步细化各公式中的时延元素：

$$t_{MD} = \frac{1}{2} \cdot t_{RA} \quad (6)$$

$$= \frac{1}{4} (\text{MinRtrInterval} + \text{MaxRtrInterval})$$

$$t_{AC} = \frac{1}{2} \cdot \text{MAX_RTR_SOLICITATION_DELAY} + \text{RetransTimer} \quad (7)$$

$$t_{BU} = t_{BU_HA} + t_{RR} + t_{BU_CN}$$

$$= 2(2 \cdot D_{HA_MN} + D_{HA_CN} + D_{MN_CN}) \quad (8)$$

$$t_{BU^*} = t_{BU_MAP} = (2 \cdot D_{MAP_MN} + D_{MAP_CN}) \quad (9)$$

3 仿真分析

为了获得每个协议切换时延的具体数据，本节进行了仿真试验分析。仿真代码是在 ns-allinone-2.1b6^[9] 下设计实现的，我们在 INRIA/Motorola MIPv6^[9] 的基础上进一步实现了分层移动 IPv6、快速切换移动 IPv6 以及分层快速移动 IPv6 的代码模块，各模块具体功能参见 IETF 所提议的草案。利用文献[8]得出的各时延因素实验数据设置各功能模块中的参数，以进一步来评估考虑了绑定更新时延因素的切换时延。

仿真场景如图 6 所示，整个仿真拓扑在 500m*500m 的矩形范围内实现，仿真中建立有 6 个 Wired Node(包括一个通讯对端 CN、一个家乡代理 HA、四个路由节点)、2 个基站(base1 和 base2) 和 1 个移动节点(MN)的拓扑结构，无线通讯采用仿真软件 ns 支持的 WLAN802.11b 协议。无线通讯范围设置为 100m，两基站之间叠加区域约为 10m。仿真过程中，移动节点 MN 沿直线方向以匀速 5m/s 前进。

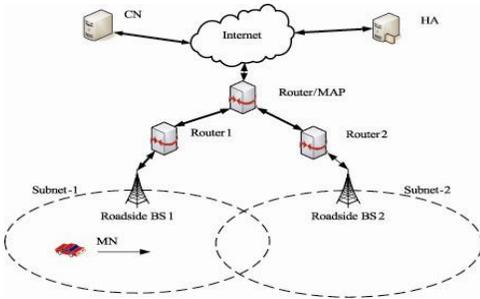


图 6 仿真场景

对两种情形进行仿真,情形 I 在 L2 链路层中分别设置 $t_{MD} = 387ms$, $t_{AC} = 1500ms$, 情形 II 在 L2 链路层中分别设置 $t_{MD} = 1000ms$, $t_{AC} = 1500ms$ 。图 7 和图 8 分别显示了两种情形下在 L3 层所产生的切换时延。如图中所示,都验证了定性分析的四个协议切换时延大小顺序的正确性。同时对每个协议中总切换时延的构成成分也进行了验证,即当增大 t_{MD} 、 t_{AC} 时,只会影响到基本移动 IPv6(MIPv6)和分层移动 IPv6(HMIPv6),而对快速切换移动 IPv6(FMIPv6)和分层快速移动 IPv6 几乎没有影响。

表 2 实验参数及切换时延实验结果

	文献[8]切换时延结果 (ms)		本文切换时延结果 (ms)				
	t_{MD}	t_{AC}	t_{MIPv6}	t_{HMIPv6}	t_{FMIPv6}	$t_{F-HMIPv6}$	
情形 I	387	1500	1887	3053	1636	735	630
情形 II	1000	1500	2500	3725	1933	731	634

表 2 中分别给出了两种情形下的各协议切换时延的实验数据,从表中数据可得出如下结论:绑定更新造成的时延在整个切换时延中占有重要比例,约为 1200ms,不能被忽略。同时, F-HMIPv6 在切换过程中所产生的切换时延最小, FMIPv6 次之,与 F-HMIPv6 接近,基本 MIPv6 协议所产生的时延最大,情形 I 下为 3053ms,约为 F-HMIPv6 的 4 倍多,为 HMIPv6 的 2 倍,情形 II 约为 F-HMIPv6 的 6.5 倍。

4 结论

本文定性分析了 IETF 提议的四种切换协议时延的大小并给出了每个协议所产生时延的要素,这为分析和改进这些协议提供了依据。通过仿真实验验证了定性分析的结果,并给出了实验数据,从实验数据来看,尽管分层 F-HMIPv6 切换时延最小,但仍旧存在 600ms 左右时延,这在视频和声音数据的传输中

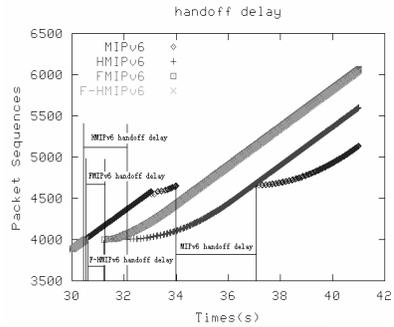


图 7 情形 I 下各协议切换延时比较

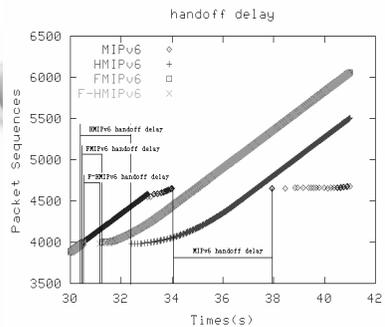


图 8 情形 II 下各协议切换延时比较

仍旧会造成中断。因此,在 L3 层开发时延更短或丢包更少的协议非常有必要。

参考文献

- 1 C. (Ed.).IP Mobility Support for IPv4. RFC3344, August 2002.
- 2 Johnson D, Perkins C, et al. Mobility Support in IPv6. Internet Draft, work in progress, 2003.
- 3 Soliman H, Castelluccia C, El-Malki K, Bellier L. Hierarchical MIPv6 mobility management. Internet Draft, work in progress, 2003.
- 4 Tsirtsis G, Yegin A, Perkins C, Dommety G, El-Malki K, Khalil M. Fast Handovers for Mobile IPv6. Internet Draft, work in progress, 2003.
- 5 Jung HY, et al. Fast Handover for Hierarchical MIPv6(F-HMIPv6), Internet Draft, draft-jung-mobopts-fh mipv6-00.txt, 2005.
- 6 TANI S. Use of IPsec in mobile IP. http://ntrg.cs.tcd.ie/hwewari/papers/ipsec_itani.pdf, 2001.
- 7 Chao H. C, Chu YM, Lin MT. The implication of the next generation wireless network design: Cellular mobile IPv6. IEEE Trans. Consumer Electron, 2000, 46: 656-663.
- 8 Lee JS, et al, Analysis of Handoff Delay for Mobile IPv6, IEEE 0-7803-8521, 2004.
- 9 Network Simulator (ns), version 2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.