

基于快速切换的 MIPv6 与 PMIPv6 域间互通优化方案

饶 亮 张奇支 黄兴平

(华南师范大学计算机学院 广州 510631)

摘 要 移动 IPv6 是一种需要主机参与管理的移动管理协议,而代理移动 IPv6 不需要主机参与移动管理。在成熟的 MIPv6 环境下使用 PMIPv6,需考虑二者互通问题。已提出的互通方案多属硬切换,没有考虑切换的时延。运用域内快速切换思想,提出一种优化的域间快速切换方案,并对比优化方案和已有切换方案的网络切换时延。分析结果显示,优化方案的性能更优。

关键词 移动 IPv6,代理移动 IPv6,MIPv6 和 PMIPv6 互通,快速切换

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Optimization Scenarios of Interactions between MIPv6 and PMIPv6 Based on Fast Handover

RAO Liang ZHANG Qi-zhi HUANG Xing-ping

(School of Computer, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract Mobile IPv6(MIPv6) is a host-based protocol, while Proxy Mobile IPv6(PMIPv6) is a network-based protocol. The interactions between PMIPv6 and MIPv6 should be considered. Several proposed scenarios belong to hard handoff and cause long handover latency. An optimized scenario—Fast Handover for Interaction with MIPv6 and PMIPv6(FHIMP) was proposed. Comparison of the handover latency of the optimized procedure with the predecessor and the analytic result shows that the optimized procedures have an advantage in network performance.

Keywords Mobile IPv6, Proxy mobile IPv6, Interaction with MIPv6 and PMIPv6, Fast handover

1 引言

在下一代移动网络中, MIPv6^[1] 属于基于主机的移动管理协议,需要 MN(Mobile Node, 移动节点)具备 MIPv6 协议栈并参与移动管理。PMIPv6^[2] 是一种后提出的基于网络的移动管理协议,目前属于区域性移动方案。PMIPv6 中的移动管理工作由新引入的功能实体——LMA(Local Mobility Anchor, 本地移动锚点)和 MAG(Mobile Access Gateway, 移动接入网关)执行, MN 只需安装 IPv6 协议,而无须参与移动管理。

在成熟的 MIPv6 大环境下使用 PMIPv6, 需考虑二者互通问题。IETF 以草案^[3]的形式介绍了 3 种互通情况和各自存在的问题。Lee^[4]等人在草案^[3]的基础上对双协议栈节点归属于 PMIPv6 的互通情况提出了改进的解决方案。Yan^[5]等人设计了一种协议选择算法,即根据具体的切换情况选择合适的协议来提供服务。这些方案属于硬切换,关注于切换的可能性,存在较大的切换时延,甚至会中断会话。

本文在 Lee^[4]的基础上,参考域内快速切换(MIPv6 快速切换^[6]和 PMIPv6 快速切换^[7])思想,提出一种优化的域间快速切换方案——FHIMP(Fast Handover for Interaction with MIPv6 and PMIPv6, MIPv6 和 PMIPv6 互通的快速切换方案),以降低切换时延。

本文第 2 节介绍 Lee^[4]等人提出的 MIPv6 和 PMIPv6 互通硬切换方案;第 3 节提出 FHIMP 域间快速切换方案;第 4

节对改进前后的方案进行性能分析比较。

2 MIPv6 与 PMIPv6 的互通

当 MN 具有 MIPv6 和 PMIPv6 双协议栈且家乡网络为 PMIPv6 域时,草案^[3]建议在 LMA 上,集合 MIPv6 域中 HA(Home Agent, 家乡代理)功能,组成 LMA/HA 实体,并在 LMA/HA 中使用两张绑定缓存表。Lee^[4]等人建议使用新 LMA/HA 实体作为 MN 的家乡代理;在 LMA/HA 中集成 DHCP 服务器功能,为 MN 配置 HoA(Home Address, 家乡地址),使 LMA 模块可获知 HoA;LMA 和 HA 模块共享绑定缓存,统一绑定缓存的索引为 HoA;扩展绑定缓存,添加一个 Flag 标志位来解决 MIPv6 和 PMIPv6 绑定更新时序不统一的问题。他们主要描述了两种基本互通情况的切换方案。图 1 显示了这两种基本情况:情况一表示 MN 从家乡 PMIPv6 域移动到外地 MIPv6 域,情况二表示 MN 从外地 MIPv6 域移回家乡 PMIPv6 域。

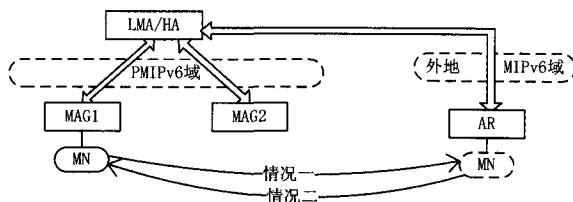


图 1 基本域间互通切换情况

到稿日期:2011-09-02 返修日期:2011-11-23 本文受国家自然科学基金项目(61102065)和广东省科技计划项目(2010A011300025)资助。

饶 亮(1988—),女,硕士生,主要研究方向为移动 IP 技术,E-mail:31372272@qq.com;张奇支(1976—),男,博士,副教授,主要研究方向为下一代网络技术、移动 IP,E-mail:zhangqizhi55@qq.com(通信作者);黄兴平(1979—),男,博士,讲师,主要研究方向为下一代网络技术。

3 建议的优化方案 FHIMP

3.1 FHIMP 的实现原理

在实际网络中,每个 AR(Access Router,接入路由器)或 MAG 管理一个或者多个 AP(Assecc Point,接入点)。接入点与它的邻居接入点之间有信号重叠区。MN 进入重叠区时,可感知各接入点信号,而各接入点也能感知 MN。根据这一特点,MN 移动到 N-AP(Newly-AP,新接入点)和 P-AP(Previously-AP,旧接入点)的重叠区时,可以提前执行切换的准备工作,实现快速切换。

对同域间快速切换,FHIMP 有预测式和反应式两种模式。若 MN 进入两个接入点的信号重叠区,且移动速度和当前网络质量允许 MN 在离开旧链路前完成 FHIMP 切换的所有准备工作,则称其为 FHIMP 预测式快速切换,否则称为 FHIMP 反应式快速切换。

3.2 FHIMP 的基础条件

AR 和 MAG 具有缓存功能,用以缓存 MN 在切换过程中不能正常接收的数据包。本文假设缓存大小能满足快速切换的需求。

AR 和 MAG 周期性向邻居路由器通告路由信息(简记为 AR-Info/MAG-Info),包括 AR 或 MAG 的二层地址、IP 地址和前缀以及属于自己的 AP-ID(Access Point Identifier,AP 标识符)。本文假设 AR 和 MAG 能判断邻居路由器归属的网络类型(可在邻居通告或认证过程中获知),即可知邻居路由器优先提供 MIPv6 服务还是 PMIPv6 服务。

AR 或 MAG 发送的 RA(Router Advertisement,路由通告)消息需要表明 MN 即将移进的域的类型,以此触发 MN 在两个不同协议栈中切换。本文从 RA 消息的标志位选项^[8]中取一位作为标志位(F),它表示当前通告的路由前缀信息所属的域的类型。若路由前缀信息来自 MIPv6 域,F 位置 0;若路由前缀信息来自 PMIPv6 域,F 位置 1。

3.3 切换情况一的 FHIMP 过程

MN 从家乡 PMIPv6 域切换到外地 MIPv6 域时,MN 的旧接入路由器 MAG 主动与 LMA/HA 解除隧道,LMA/HA 在收到解除隧道的消息后不再将数据包转发给 MAG。因此不同于域内快速切换(缓存转发隧道建立在新、旧接入路由器之间),FHIMP 在 LMA/HA 和新接入路由器 AR 之间建立缓存转发隧道。详细消息流程见图 2,各步骤描述如下:

(1) MN 通过信号强弱感知将要移动到 N-AP 的范围,通过二层机制将 N-AP-ID(Newly-AP-ID,新 AP 的标识符)告诉 MAG;

(2) MAG 收到 N-AP-ID 后,查找本地存储的邻居信息 AR-Info,得知 MN 将要接入的 AR 属于 MIPv6 域,便主动发送一个携带 AR-Info 的 RA 给 MN,其中标志位选项 F 位置 0,表示通告的前缀信息来自 MIPv6 域;

(3) MN 接收 RA,由 F 标志位可知即将切换到 MIPv6 域,通过 MIPv6 协议栈启动快速切换:根据 RA 中的 AR-Info 配置一个建议使用的 CoA'(Care of Address,转交地址,未经验证时记为 CoA'),并发送 FBU(Fast Binding Update,快速绑定更新)消息把此地址转告 MAG,FBU 中携带 CoA' 和 AR 的 IP 地址;

(4) MAG 将 FBU 转发给 LMA/HA;

(5) LMA/HA 将 FBU 中携带的 CoA' 放入 HI(Handover Initiate,切换初始)消息中,并发送给 AR;

(6) AR 接收 HI,对 CoA' 进行 DAD 检测,若认为 CoA' 不合适,则为 MN 重新分配地址。AR 回复 HAck(Handover Acknowledgment,切换应答)消息给 LMA/HA,HAck 携带通过 DAD 的 CoA;

(7) LMA/HA 接收 HAck,记录 CoA,将对应的绑定缓存 Flag 置 0,同时回复 FBack(Fast Binding Acknowledgment,快速绑定应答)消息给 MAG;

(8) MAG 负责将 FBack 转发给 MN,此时 MN 获得 CoA,完成了切换前的所有准备工作;

(9) MN 离开旧网络,二层发现接入链路的改变会向高层汇报,高层即时发送一个 UNA(Unsolicited Neighbor Advertisement,非请求的邻居通告)消息给新的 AR 以宣告自己的到达。AR 一旦确认 MN 的到达,就将为 MN 缓存的数据包发送给 MN;

(10) MN 的 MIPv6 协议栈会在 MN 获得 CoA 并进入新链路后向 LMA/HA 发送 BU(Binding Update,绑定更新)消息;

(11) LMA/HA 接收到 BU 后,发现缓存中对应表项的 Flag 标志位已被置为 0,且缓存中的 CoA 与 BU 中的 CoA 相同,则只能根据 BU 的时间戳更新该表项的生存时间,并向 MN 回复 BA(Binding Acknowledgment,绑定应答)消息。

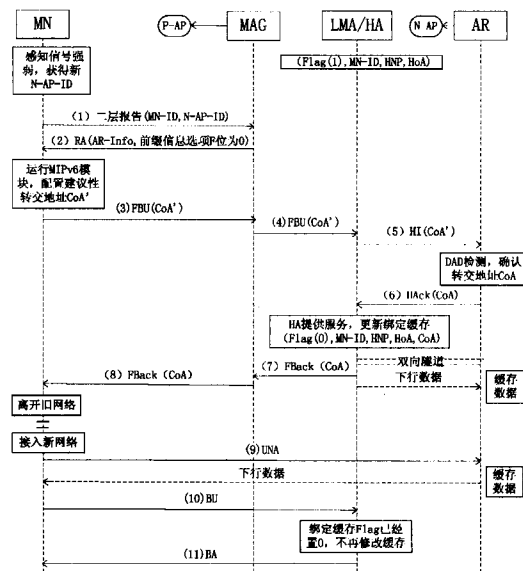


图 2 情况一之 FHIMP 预测式快速切换

在 MN 移动速度快,出现 MN 与旧接入链路双向不可达后仍未做好预测式准备(没有接收 FBack 消息)的情况下,FHIMP 将采用反应式进行切换。

MN 的二层发现接入点改变后会向高层汇报进入了新链路,MN 立刻向 AR 发送携带建议性 CoA' 的 UNA 消息。AR 对 CoA' 进行 DAD 检测后回复 MN 一个携带 NAACK(Neighbor Advertisement Acknowledge Option,邻居通告回复选项)的 RA,NAACK 包含通过 DAD 的 CoA。

MN 在获得 CoA 后会通过发送 BU 消息通知 LMA/HA 当前位置,LMA/HA 记录 CoA,更新绑定更新生存时间,将绑定缓存中对应的表项 Flag 标识位置 0,启用 HA 功能模块为 MN 服务,并回复 BA 消息,通知 MN 绑定更新完毕。此后

LMA/HA 将发往 MN 的数据包转给 CoA。消息流程见图 3。

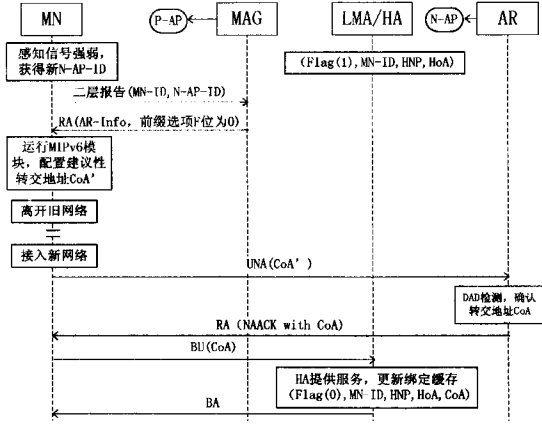


图 3 情况一之 FHIMP 反应式快速切换

在 MIPv6 域内反应式快速切换中, MN 移动到新链路并发送 UNA 后需要马上发送一个 FBU 给旧 AR, 促使新、旧 AR 间建立缓存转发隧道。根据 MIPv6 协议要求, MN 在获得一个转交地址后需要发送 BU 消息通知家乡代理, 家乡代理会将发往 MN 的数据包转发到新的转交地址。在 FHIMP 过程中, 正常的 BU/BA 过程可以代替 FBU 消息和缓存转发隧道的建立。

3.4 切换情况二的 FMP 过程

MN 从外地 MIPv6 域切换回家乡网络的快速切换过程见图 4。

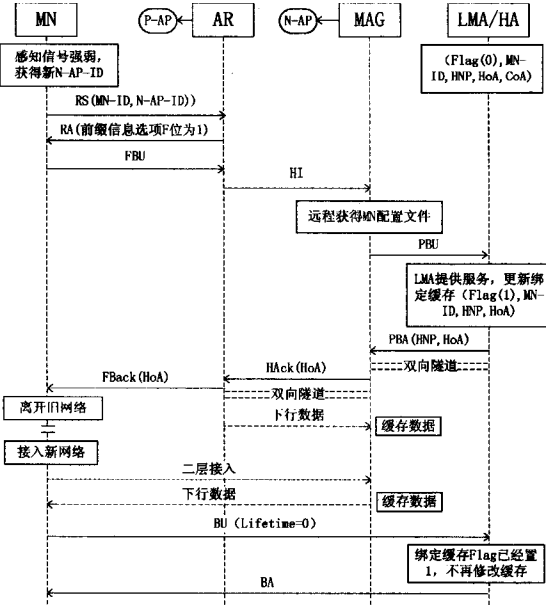


图 4 情况二之 FHIMP 预测式快速切换

MN 收到标志位选项 F 为 1 的 RA 后, 不会根据 RA 中的前缀配置 CoA', 而会依靠 MIPv6 协议栈进行快速切换。MAG 收到 HI 后, 与 LMA/HA 提前建立隧道关系, 通过 PBU (Proxy Binding Update, 代理绑定更新) 和 PBA 消息进行绑定更新。当 MN 离开旧网络后, MAG 通过二层机制可确认 MN 的到达, 将缓存的数据包下发给 MN。

同情况一, 若 MN 与旧接入链路双向不可达时仍未收到 FBack 消息, 则 FHIMP 会启动反应式快速切换, 见图 5。MN 进入新链路, MAG 通过二层机制感知 MN 的到达, 主动发送

HI 消息给 AR, 建立缓存转发隧道。由于 MN 移回家乡后不能及时通知所有通信节点位置变化, 通信节点发往 MN 的数据包仍路由到 AR, AR 将这些数据包通过缓存转发隧道转发到 MAG 缓存。HI/HACK 过程和 PBU/PBA 过程没有严格的时序关系。

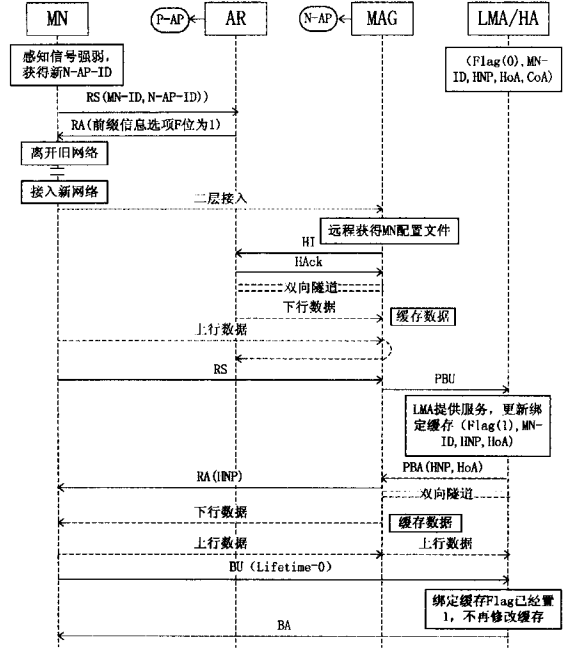


图 5 情况二之 FHIMP 反应式快速切换

4 建模与性能分析

本文定义的切换时延指 MN 在切换过程中无法与外界正常会话的时间, 包括二层切换时延和三层切换时延。为了统一计算, 本文只考虑控制信息的传输时延, 采用图 6 的模型来分析切换时延。下面将对 Lee^[4] 等人建议的方案(下文简称 IMP)和本文提出的 FHIMP 方案进行切换时延的比较分析。

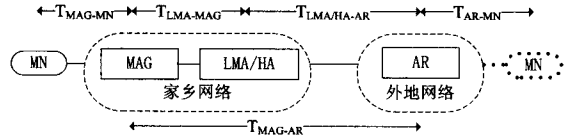


图 6 切换时延分析模型图

4.1 切换情况一

4.1.1 IMP 方案

IMP 方案中 MN 使用硬切换方式进行切换, 存在以下时延: MN 通过邻居检测发现原接入路由器不可达, 再去发现新接入路由器的检测时延 T_{MD} 、二层切换时延 T_{L2} 、重复地址检测时延 T_{DAD} 和注册时延 T_{REG} 。其中 T_{REG} 指 MN 在外地与家乡代理进行绑定的 BU/BA 过程, 即

$$T_{REG} = 2 \times (T_{AR-MN} + T_{LMA/HA-AR})$$

IMP 总时延 $T_{ProM-IMP}$ 为:

$$T_{ProM-IMP} = T_{MD} + T_{L2} + T_{DAD} + T_{REG}$$

$$= T_{MD} + T_{L2} + T_{DAD} + 2 \times$$

$$(T_{AR-MN} + T_{LMA/HA-AR})$$

(1)

4.1.2 FHIMP 方案

预测式快速切换: MN 连接到新的子网前已获知新子网

信息和确认的 CoA 无 T_{MD} 和 T_{DAD} 时延。MN 移动到外地前, 家乡代理已将 HoA 和 CoA 进行绑定, 在 MN 进入新链路后的注册行为只为统一 MN 在 MIPv6 域中的动作, 而不产生 T_{REG} 时延。LMA/HA 接收到 HAcK 消息后, 数据包不再下发给 MN, 时延开始产生。当 MN 进入新网络且 AR 接收 UNA 后, 即可将缓存的数据包发送给 MN, 通信恢复正常。记 $T_{ProM-pred}$ 为 MN 从家乡 PMIPv6 域移动到外地 MIPv6 域的预测式快速切换时延, 则有:

$$T_{ProM-pred} = T_{L2} + T_{LMA/HA-MAG} + T_{MAG-MN} + T_{AR-MN} \quad (2)$$

反应式快速切换: MN 连接到新的子网前已获知新子网信息, 无 T_{MD} 时延。数据包在 MN 断开与旧链路的连接后将无法到达 MN, 产生时延, 直到 MN 进入新网络确认 CoA 并注册成功, LMA/HA 方可将下行的数据包转给 MN。记 $T_{ProM-reac}$ 为 MN 从家乡移动到外地 MIPv6 域的反应式快速切换时延, 则有:

$$\begin{aligned} T_{ProM-reac} &= T_{L2} + T_{DAD} + 2 \times T_{AR-MN} + T_{REG} \\ &= T_{L2} + T_{DAD} + 4 \times T_{AR-MN} + 2 \times T_{LMA/HA-AR} \end{aligned} \quad (3)$$

记 P 为 MN 成功发生预测式快速切换的概率, $T_{ProM-FHIMP}$ 为 MN 从家乡 PMIPv6 域移动到外地 MIPv6 域的总时延, 则有:

$$T_{ProM-FHIMP} = P \times T_{ProM-pred} + (1-P) \times T_{ProM-reac} \quad (4)$$

4.2 切换情况二

4.2.1 IMP 方案

MN 使用硬切换方式进行切换, 回到家乡并接收 RA 消息, 确认家乡地址的前缀仍然可使用, 即可通过家乡地址通信, 不需要进行 DAD 检测, 只存在 T_{L2} 、 T_{MD} 、和 T_{REG} 时延。其中 T_{REG} 指的是 PBU/PBA 过程, 即 $T_{REG} = 2 \times T_{LMA/HA-MAG}$ 。

因此 IMP 方案总时延 $T_{MoP-IMP}$ 为:

$$\begin{aligned} T_{MoP-IMP} &= T_{MD} + T_{L2} + T_{REG} \\ &= T_{MD} + T_{L2} + 2 \times T_{LMA/HA-MAG} \end{aligned} \quad (5)$$

4.2.2 FHIMP 方案

预测式快速切换: MN 连接入新网前确认了家乡地址, 提前建立了 MAG 和 LMA/HA 的隧道, 更新了绑定缓存, 因此除去了 T_{MD} 和 T_{REG} 。AR 在收到 HAcK 消息后不再将数据包转给 MN, 时延产生。记 $T_{MoP-pred}$ 为 MN 从外地 MIPv6 域移回家乡 PMIPv6 域的预测式快速切换时延, 则有:

$$T_{MoP-pred} = T_{L2} + T_{AR-MN} \quad (6)$$

反应式快速切换: MN 在接入新的网络前已知即将接入的新网络, 无 T_{MD} 时延。进入新链路后, 在 MN 地址确认之前, MAG 不能将数据包发送给 MN, 因此 MN 必须通过地址配置和注册的过程才能接收到缓存的数据。由于 HI/HAcK 过程与 PBU/PBA 过程没有时序关系, 因此不需考虑 HI/HAcK 过程耗时。记 $T_{MoP-reac}$ 为 MN 从外地 MIPv6 域移回家乡 PMIPv6 域的反应式快速切换时延, 则有:

$$\begin{aligned} T_{MoP-reac} &= T_{L2} + 2 \times T_{MAG-MN} + T_{REG} \\ &= T_{L2} + 2 \times T_{LMA/HA-MAG} + 2 \times T_{MAG-MN} \end{aligned} \quad (7)$$

记 $T_{MoP-FHIMP}$ 为 MN 从外地 MIPv6 域移回家乡的总时延, 则有:

$$T_{MoP-FHIMP} = P \times T_{MoP-pred} + (1-P) \times T_{MoP-reac} \quad (8)$$

4.3 取值分析

参考 Chirstian^[9] 等人给出的参数值, 设接入路由器与其管理的一个接入点之间的距离为基本单位, 域内的各路由器之间有 10 个单位距离, 单位距离内的有线链路传输时延为

2ms。参考 Sooyeol^[10] 等人给出的参考值, 设域间两个路由器之间的有线传输时延为 100ms。各时延参考取值如表 1 所列。

表 1 时延参数取值

参数	取值	参数	取值
T_{L2}	50ms	T_{MAG-AR}	20ms
T_{MD}	100ms	$T_{LMA/HA-MAG}$	20ms
T_{DAD}	500ms	$T_{LMA/HA-AR}$	100ms

MIPv6 和 PMIPv6 域间切换过程中, 有线网络相对稳定, 对切换时延影响较小; 无线网络因接入网络类型和网络质量的不同而变化较大, 对切换时延的影响也较大。同时网络状况和 MN 的移动速度会影响预测式和反应式快速切换的发生概率, 从而影响切换时延。本文以预测式快速切换发生概率和无线网络时延作为变量, 来分析二者对切换时延的影响。

4.3.1 预测式发生概率对切换时延的影响

根据 Chirstian^[9] 给出的参考值, 设无线网络时延为 10ms, 则 $T_{MAG-MN} = T_{AR-MN} = 12ms$ 。将各参数值代入式(1)、式(4)和式(5)、式(8)得到图 7; FHIMP 方案的总切换时延始终小于 IMP 方案时延, 且预测式快速切换发生概率越高时, FHIMP 方案越优。

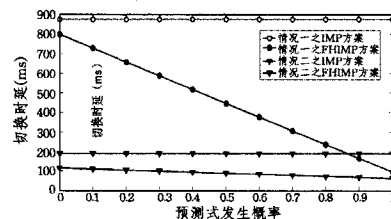


图 7 预测式快速切换发生概率对切换时延的影响

4.3.2 无线网络时延对切换时延影响

根据 Chirstian^[9] 给出的参考值, 设预测式快速切换发生概率 $P=0.9$, 结果如图 8 所示: 无线网络时延越小, 两种方案的切换总时延越小, 当无线网络时延小于 121ms 时, FHIMP 方案的总切换时延始终小于 IMP 方案时延。

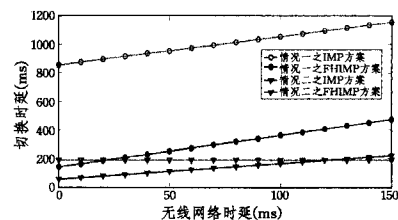


图 8 无线网络时延对切换时延的影响

结束语 本文关注双协议栈节点归属于 PMIPv6 时在家乡 PMIPv6 域和外地 MIPv6 域的互通问题, 结合域内快速切换进行域间切换优化设计。本文建议的优化方案 FHIMP 在路由通告的标志位选项中添加一个标志位, 不需要修改和增加新的管理消息。数值分析结果表明, FHIMP 方案能减少切换时延, 在预测式发生概率较大的情况下, 切换性能明显优于未优化的方案, 提高了用户在移动过程中的用户体验。

参考文献

- [1] Johnson D, Perkins C, Arkko J. IETF RFC 3775 Mobility Support in IPv6[S]. 2003

(下转第 78 页)

(2) 本实验主要考察 AQSR 算法与最小代价优先 QoS 路由算法在业务会话连接的阻塞率及自适应性方面的差异。图 4、图 5 展示了通过仿真 120 个时间步, AQSR 算法与最小代价算法的性能比较。如图 4 所示, 在 20 步以后, AQSR 算法开始优于最小代价算法, 并在 80 步时达到最优, 这是因为蚁群算法需要一个对网络的适应过程; 另外在网络达到平稳后, 通过改变网络节点的服务请求来观察算法的适应性。图 5 展示了每个节点的服务呼叫数增大为原来的 5 倍时, 网络的波动情况。从图中可以看出, 基于蚁群的 AQSR 算法具有更好的适应性。

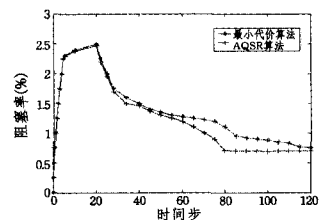


图 4 AQSR 算法与最小代价算法的平均阻塞率比较

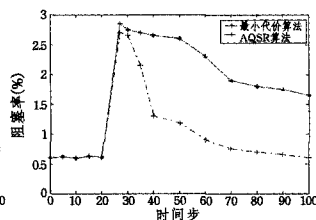


图 5 AQSR 算法与最小代价算法在突发服务需求时的自适应过程比较

结束语 本文首先建立了主动 Overlay 物联网服务路由逻辑拓扑结构, 然后对物联网服务路由问题进行了建模。在此基础上, 提出了一种基于 Agent 和 ACO 的主动 Overlay 物联网 QoS 蚁群服务路由优化算法。该算法结合移动 Agent 对蚁群算法进行了改进, 实现了保证 QoS 的服务路径选择。最后从理论上证明了该算法的正确性和收敛性, 同时通过仿真实验对该算法的实际性能进行了验证和比较, 实验结果表明, 该算法具有较好的性能, 同时能够保证网络负载均衡。

但是对于物联网环境下的 QoS 服务路由这样一个复杂的问题来说, 在本文研究的基础上还有许多值得继续研究的问题, 如有效的 Overlay 物联网的动态维护、资源预留、安全问题、结点物理层信息的获取等。

参考文献

- [1] 孙其博, 刘杰, 黎葬, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1-9
- [2] 孔宁, 李晓东, 罗万明, 等. 物联网资源寻址模型[J]. 软件学报, (上接第 50 页)
- [2] Gundavelli S, Leung K, Devarapalli V, et al. IETF RFC 5213 Proxy Mobile IPv6[S]. 2008
- [3] Giaretta G. IETF draft-ietf-netlmm-mip-interactions-07 Interactions between PMIPv6 and MIPv6: Scenarios and related issues[S]. 2010
- [4] Lee K-W, Seo W-K, Kum D-W, et al. Global Mobility Management Scheme with Interworking between PMIPv6 and MIPv6[C]// IEEE International Conference on Wireless & Mobile Computing, Networking & Communication. Avignon, France, 2008: 153-158
- [5] Yan Z-W, Zhou H-C, Wang H-C, et al. Design and implementation of a hybrid MIPv6/PMIPv6-based mobility management architecture[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2011, 53

2010, 21(7): 1657-1666

- [3] 李刚, 马修军, 韩燕波, 等. 动态网络环境下的透明服务组合[J]. 计算机学报, 2007, 30(4): 579-587
- [4] 吴步丹, 金芝, 赵彬. 面向服务的建模: 一种全过程复用的方法[J]. 计算机学报, 2008, 31(8): 1293-1308
- [5] 赵有健, 张铁蕾, 崔勇. 多约束服务质量路由中的路径压缩算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(12): 2091-2100
- [6] 冀俊忠, 黄振, 刘椿年. 基于变异和信息素扩散的多维背包问题的蚁群算法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(4): 644-654
- [7] Nilssen A. Security and privacy standardization in internet of things[S]. eMatch'09-Future Internet Workshop, Oslo, Norway, September 2009
- [8] Wolf W. Cyber-physical Systems[J]. IEEE Computer, 2009, 42(3): 88-89
- [9] Giusto D, Iera A, Morabito G, et al. The Internet of Things[M]. New York: Springer, 2010: 102-105
- [10] Atzori L, Iera A, Giacomo Morabito. The Internet of Things: A survey[J]. Computer Networks, 2010, 54: 2787-2805
- [11] Commission of the European Communities. Internet of Things—An action plan for Europe[R]. Commission of the European Communities, 2009
- [12] ITU. ITU Internet Report 2005: The Internet of Things[R]. ITU, 2005
- [13] Kranz M, Holleis P, Schmidt A. Embedded Interaction: Interacting with the Internet of Things[J]. IEEE Internet Computing, 2010, 14(2): 46-53
- [14] Dorigo M, Maniezzo V, Colomni A. Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 1996, 26(1): 29-41
- [15] Jain J, Gupta R, K T. Ant Colony Algorithm in MANET-Review and Alternate Approach for Further Modification[J]. Information Technology and Mobile Communication Communications in Computer and Information Science, 2011, 147(3): 344-347
- [16] Cheng De-qiang, Xun Yang-yang, Zhou Ting, et al. An Energy Aware Ant Colony Algorithm for the Routing of Wireless Sensor Networks[J]. Intelligent Computing and Information Science Communications in Computer and Information Science, 2011, 134: 395-401
- (3/4): 421-442
- [6] Koodli R. IETF RFC 5568[S]. Mobile IPv6 Fast Handovers. 2009
- [7] Yokota H, Chowdhury K, Koodli R, et al. IETF RFC 5949[S]. Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6, 2010
- [8] Haberman B, Hinden R. IETF RFC 5175[S]. IPv6 Router Advertisement Flags Option, 2008
- [9] Makaya C, Pierre S. An Analytical Framework for Performance Evaluation of IPv6-Based Mobility Management Protocols[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(3): 972-983
- [10] Sooyeol R, Misum K, Mun Y-S. Enhanced Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6[C]//2009 International Conference on Computational Science and Its Applications. Yongin, 2009: 39-43