

基于移动节点在 PAR 和 NAR 间频繁切换的 预测式快速移动 IPv6 新方案

贾宗璞^{1,2}, 王红梅², 刘淑芬¹

(1. 吉林大学计算机科学与技术学院, 吉林长春 130012; 2. 河南理工大学计算机科学与技术学院, 河南焦作 454000)

摘要: 针对移动节点频繁地在 PAR 和 NAR 间频繁切换时, 现有的预测式 FMIPv6 存在着时延大、丢包率高、信令冗余大等问题, 本文提出了一种新的解决方案. 该方案定义了新的 Hop-by-Hop 选项报头 TM (Tunneling Message)、PCoA 表和双向隧道表, 并将 TM 捎带在 NAR 向 PAR 发送的最后一分组数据包的确认中, 告知 PAR, MN 不久将会移回 PAR 域, 以便 PAR 提前准备好其与 NAR 之间以前建立好的双向隧道, 从而达到 MN 的快速和平滑切换. 理论分析表明, 该方案能有效地减少切换时延、丢包率及信令冗余等问题, 提高移动用户的 QoS.

关键词: 移动 IPv6; 快速切换; FMIPv6; 预测式 FMIPv6

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2007) 12-2380-04

Novel Scheme Based on Mobile Node Hands Over Frequently between PAR and NAR for Predictive Fast Handovers for Mobile IPv6

JIA Zong-pu^{1,2}, WANG Hong-mei², LIU Shu-fen¹

(1. School of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012;

2. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: A novel scheme based on mobile node handovers frequently between PAR and NAR for predictive fast handovers for mobile IPv6 was proposed to solve the problems of long latency, high lost packets and excessive signaling redundancy in existing schemes. A new Hop-by-Hop option header named TM, PCoA table and tunneling table were defined in this paper. TM is put in the acknowledgement of the last data packets between NAR and PAR, telling PAR that MN will be back to the domain of PAR in the near future, and hoping that the previous bidirectional tunneling between PAR and NAR is available. Theory analysis shows that this scheme would be viewed as an effective method to solve the above problems and can improve the Quality of Service for mobile users.

Key words: mobile IPv6; fast handoff; FMIPv6; predictive FMIPv6

1 引言

针对 MIPv6 移动管理协议中移动节点在移交过程所造成的移交时延等问题, IETF 制定了 RFC 文献 Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)^[1]. 它的主要目的是使移动节点位于前接入路由器 (Previous Access Router, PAR) 时, 就可以通过 PAR 得到邻近新接入路由器 (New Access Router, NAR) 的相关信息, 从而避免移动节点在移交时对路由器通告的等待; 在进行移动节点新的转交地址的配置等工作中, 消除配置 NAR 的时延; 并在移动节点对 NCoA (New Care of Address) 进行绑定更新时, 通过 PAR 为移动节点进行报文转发, 使得移动节点仍能

与相关通信节点保持正常通信.

预测式快速移交 (Predictive Fast Handovers)^[1] 是 FMIPv6 的模式之一, 它的特点是当移动节点 (MN) 每次接入到新的接入路由器 (NAR) 之后, 必须在家乡代理 (HA) 和相关通信节点 (CN) 处进行完整的注册过程. 而当 MN 频繁地在 PAR 和 NAR 间频繁切换时, 该模式存在着时延大、丢包率高、信令冗余大等问题, 本文对此进行了详细分析, 并提出了新的解决方案.

2 预测式快速移交 (PFMIPv6)

预测式快速移交是 FMIPv6 草案所描述的实验移交模式, 在该模式下, 移动节点可以实现平滑切换 (图 1).

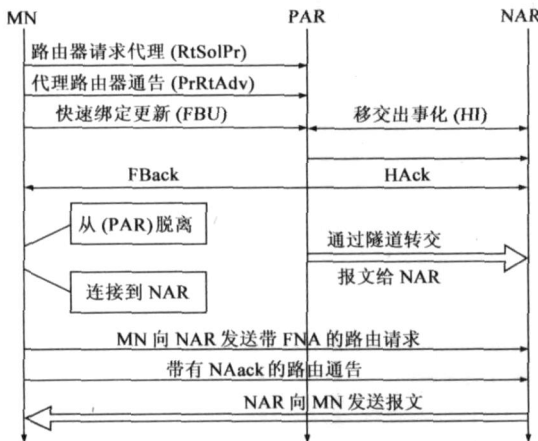


图 1 预测式快速移交操作流程

由图 1 可知,移动节点(MN)每次接入到新的接入路由器(NAR)之后,必须向家乡代理(HA)和相关通信节点(CN)进行注册.也就是说,移动节点一旦连接到接入路由器 a 并分配了转交地址后,它便会启动对家乡代理和相关通信节点的绑定更新过程.而即使在该绑定更新过程完成前,移动节点就离开了接入路由器 a 而进入另一接入路由器 b,这个与接入路由器 a 相关的绑定更新过程也必须被完整的进行.这样,只有接入路由器 a 的绑定更新完成之后,移动节点才能启动针对接入路由器 b 的绑定更新过程.因此,如果移动节点在 PAR 和 NAR 之间频繁地来回切换,就会造成移动节点向家乡代理(或相关通信节点)的注册过程频繁地发生.在这样的情况下,显然会导致信令冗余,切换时延和丢包率也将大幅度增加^[2].

3 问题定义

在现有的预测式快速移交模式下,用户的切换时延 $T_{handoff}$ 不仅包括由 MIPv6 协议操作引入的时延 T_{mip} , 还包括建立连接的时延 $T_{connection}$ ^[1,3].

$$T_{handoff} = T_{mip} + T_{connection} \quad (1)$$

$$T_{connection} = T_{MN, PAR} + T_{PAR, NAR} \quad (2)$$

$$T_{MN, PAR} = T_{RtSolPr} + T_{PrRtAdv} + T_{FBU} + T_{FBACK} \quad (3)$$

$T_{RtSolPr}$ 是 MN 向 PAR 发送的代理路由请求通告时延^[4], $T_{PrRtAdv}$ 是 PAR 向 MN 回复的路由通告时延^[4], 它们的时延是一样的,随 MN 和 PAR 之间的距离增长而增长.

$$T_{RtSolPr} = T_{PrRtAdv} = 2 D_1 + n_1 P_{PAR} \quad (4)$$

$$T_{FBU} = T_{FBACK} = 2 D_2 + n_2 P_{PAR} \quad (5)$$

式(4)、(5)的第一部分是信令的传输时延, D_1 是 MN 与 PAR 的传输距离, P_{PAR} 和 P_{PAR} 分别是 PAR 处理路由请求和通告及 FBU 的时延, n_1 、 n_2 是比例系数.

所以

$$T_{MN, PAR} = 4 D_1 + n_1 P_{PAR} + n_2 P_{PAR} \quad (6)$$

$$T_{PAR, NAR} = T_{HI} + T_{HACK} = 2 D_2 + m P_{NAR} \quad (7)$$

D_2 是 PAR 与 NAR 的传输距离, m 是比例系数, P_{NAR} 是网络节点处理 HI 和 HACK 移交启动(Handover Initiate)和移交确认(Handover Acknowledge)的时延, m 是网络节点个数.

由参考文献[3,5]可知,

$$T_{mip} = 2 D_3 + 2 T_{wl} + P_{CN} \quad (8)$$

式(8)中 D_3 是 NAR 和 CN 之间的距离, T_{wl} 表示注册消息的无线传输时延, P_{CN} 表示 CN(Corresponding Node)处理消息的时延.

式(6)、(7)、(8)中, P_{PAR} 、 P_{PAR} 、 P_{NAR} 、 P_{CN} 是路由器和 MN 处理信息所需的时延,不是本文讨论的范围,为了简化式子,都以 P_R 表示.

由式(1)、(2)、(6)、(7)、(8)可知,FMIPv6 的切换时延

$$T_{handoff} = 4 D_1 + 2 D_2 + 2 D_3 + 2 T_{wl} + k P_R \quad (9)$$

由式(9)可知,FMIPv6 要耗费 MN 到 PAR 之间 4 个距离的时间,PAR 到 NAR 之间 2 个距离的时间,NAR 与 CN 之间 2 个距离的时间,这样,随着 D_i ($i = 1, 2, 3$) 增加, $T_{handoff}$ 会大幅度增加,而且当 MN 在 PAR 与 NAR 之间频繁地进行切换时,信令冗余度急剧增加,丢包率也大幅度增长,移动用户所获得的 QoS 将会急剧下降.

4 解决方案

4.1 主要思想

当 MN 在 PAR 和 NAR 间来回切换时,定义一新的 IPv6 Hop-by-Hop 选项报头,并将其携带在 NAR 向 PAR 发送的最后一分组数据包的确认中,告知 PAR, MN 不久将会移回 PAR 域,以便 PAR 提前准备好其与 NAR 间之前建立好的双向隧道,实现 MN 的快速平滑切换.移交切换如图 2 所示.

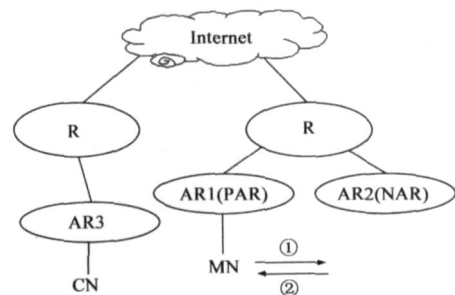


图 2 MN 在 PAR 与 NAR 间频繁切换示意图

4.2 TM 报头的定义

新定义的 IPv6 Hop-by-Hop 选项报头,称之为 TM (Tunneling Message) 报头.由于 TM 是 NAR 向 PAR 对最后一分组数据包进行确认时发送的消息,将 TM 报头放入 NAR 对 PAR 的数据包确认中.这不仅可以最大限度

地利用已有信令,还能在业务数据发送前建立好连接。

TM报头的定义采用类型—长度—值(TLV)的编码方式。如图3所示:

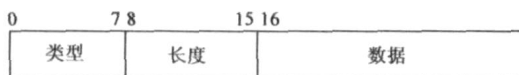


图3 TM报头定义

图中各域的设置和含义如下:

类型:占8位,前3位为0,表示当路由器不认识该选项时,可以忽略,且该选项不能改变到达目的地的选路,后5位设置为表明报头的类型为TM报头,其值可以选择尚未使用的Hop-by-Hop选项报头的编码值^[6]。

长度:占8位,以字节为单位,标识TM报头的后续各域的总长度。

数据:选项数据对应的是TM选项类型的数据值,其值也可以选择尚未使用的Hop-by-Hop选项报头的选项数据的编码值^[6]。

4.3 PAR隧道状态表

由文献[7,8],引入新的概念:PAR隧道表。PAR隧道表用于记录其与多个NAR之间的隧道连接信息,连接状态为1:PAR与NAR之间的单向隧道是通的,如表1中PCoA1-NCoA2;连接状态为0:PAR与NAR之间的单向隧道是阻塞的。在规定时间内,如果连接状态被置为1,则可启动该单向隧道,否则该隧道被阻止。只有当PAR和NAR两个隧道表的连接状态都是1时,才表示该双向隧道已被启动。

表1 PAR隧道表定义

| | 连接状态 | PAR IP地址 | PAR 端口 | NAR IP地址 | NAR 端口 |
|-----|------|----------|--------|----------|--------|
| 连接1 | 1 | PCoA1 | 1 | NCoA2 | 2 |
| 连接2 | 0 | PCoA2 | 2 | NCoA5 | 5 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

4.4 操作流程

改进的操作过程如图4,具体过程如下:



图4 改进的操作流程

(1)MN第一次从PAR移到NAR,完成了与NAR的绑定更新(BU),该过程按FMIPv6进行。

(2)PAR标记该最后的分组,通过隧道向NAR转发

数据分组,直至发送完最后一个分组。

(3)NAR向PAR发送确认,在对最后一分组进行确认时捎带发送包含TM报头的消息:MN不久还要回到原来的网络,希望得到原PAR的服务。

(4)PAR收到消息后,向NAR发送确认TMack,同时在PAR表中,将PAR和NAR的隧道状态置为0,即不立即撤销其与NAR建立好的双向隧道,而是等待唤醒。

(5)当MN从NAR又回到PAR时,NAR就向PAR发送一唤醒信号TW,并在NAR表中,将NAR与PAR的隧道状态置为1。

(6)PAR向NAR发送确认TWack,并将PAR表中的PAR与NAR隧道状态置为1。

这样PAR和NAR之间的双向隧道就启动了,NAR就可以通过隧道向PAR发送数据分组了。

4.5 存在问题及解决办法

(1)在PAR连接多个移动主机的情况下,PAR用PCoA1转发CN向MNa发送的数据分组。在MNa离开PAR的规定时间内,若有另一个MNb向PAR注册,为了避免把PCoA1分配给MNb,PAR建立PCoA表(表2)。表信息如下:

表2 PCoA表的定义

| 现在正在使用的PCoA | 最近使用的PCoA | 很长时间未使用的PCoA |
|-------------|-----------|--------------|
| PCoA5 | PCoA1 | PCoA2 |
| PCoA6 | PCoA3 | PCoA4 |
| ... | ... | ... |

PAR从PCoA表中的很长时间未使用列选择一个CoA即PCoA2或PCoA4分配给MNb,而不是最近使用列中的PCoA1或PCoA3。

(2)PAR和NAR之间的双向隧道维持时间T应选一个合适的值。因为时间过长,若MN未回到PAR,则会加重PAR和NAR负载,造成资源浪费,影响网络性能;时间过短,则在MN未回到PAR时,隧道就解除了,两路由器所做的工作都白费了,也造成资源浪费。

因而时间T的大小取决于MN的平均移动速度,或移动频率 v ,这个 v 通常我们是可以预测出来的,从而可以预先设定。

(3)按照预测式FMIPv6,当MN发生切换时,要求新转交地址的配置和重复地址检测过程,而本文所讨论的范围是MN在PAR和NAR之间来回频繁切换的情况,根据PCoA表和NCoA表(NAR也建立NCoA表,和PCoA表结构相同),AR(Access Router)知道哪些地址是可分配的,因而并不需要这个过程。

4.6 改进效果

在改进方案中,PAR与NAR可重用MN在第一次移动时产生的数据,节省了通信时产生的信令开销和时间开销。我们模拟了乒乓切换在原有方案与改进方

案中的时延,分析了 TCP 有效实际吞吐量和丢包率.表 3 给出了改进方案与原有方案的性能对比情况.

表 3 性能对比表

| 方案 | 总切换时延(ms) | 第一个包被重传的平均时间(ms) | 平均有效实际吞吐量(Kbytes/s) | 丢包率(%) |
|------|-----------|------------------|---------------------|--------|
| 原有方案 | 361 | 291 | 90.240 | 12.637 |
| 改进方案 | 100 | — | 101.574 | 1.664 |

注:总切换时延(D) (ms)是指在切换期间第一个被 CN 重传的包被 CN 首次发出的时刻与这个包被 MN 接收时刻的差值.第一个包被重传的平均时间(ms)是指在切换期间第一个被 CN 重传的包的重传时刻与 CN 首次发送这个包的时刻的差值.平均有效实际吞吐量(Kbytes/s)是指单位时间内接收端实际接收到的有效数据量.

5 结论

本文定义了一新的 IPv6 Hop-by-Hop 选项报头 TM, PCoA 表和双向隧道表,使用已有的 PAR 与 NAR 之间的双向隧道为 MN 快速转发报文.建立的预测式快速移动 IPv6 新方案具有如下优点:

(1) 在预测式 FMIPv6 中, MN 依靠接入点底层信号的强度等信息来判断,自己何时向多个 NAR 的哪个 NAR 进行移交,这将会产生一个移动探测时延.而所提方案也有相同的操作过程,不同的是 MN 不用判断向多个 NAR 的哪个 NAR 进行移交,而是直接移接到 PAR.这将简化 MN 移交的操作,更易于实现.

(2) 和预测式 FMIPv6 相比,所提方案省略了新转交地址的配置和重复地址检测过程,因而节省了转交地址配置时延.

(3) 和预测式 FMIPv6 相比,本方案利用 PAR 与 NAR 之间的双向隧道转发报文,因而完全不需要 MN 向家乡代理(HA)和相关通信节点(CN)反复注册的过程.这个特点不仅减少了 MN 的切换时延,而且有效地减少了切换所产生的信令.

参考文献:

[1] R Koodli, Ed. Fast handovers for mobile IPv6 [DB/OL]. [ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc4068.txt/200507](http://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc4068.txt/200507).

- [2] 王峰. 移动 IPv6 网络中移动节点移交方案仿真分析[D]. 成都:电子科技大学, 2005.
- [3] D Johnson, C Perkins, J Arkko. Mobility support in IPv6 [DB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3775.txt/200609>.
- [4] T Narten, E Nordmark, W Simpson. Neighbor discovery for IPv6 version 6 (IPv6) [DB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2461.txt?number=2461/199812>.
- [5] 王胜灵, 侯仪宾, 黄建辉, 等. 一种移动 IPv6 与多协议标签交换融合的新方案[J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(8): 841.
- [6] S Deering, R Hinden. Internet protocol version 6 (IPv6) specification [DB/OL]. <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2460.txt/199812>.
- [7] J Lau, M Townsley, I Goyret. Layer two tunneling protocol version 3 (L2TPv3) [DB/OL]. <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc3931.txt/200503>.
- [8] C Huitema. Teredo: tunneling IPv6 over UDP through network address translations (NATs) [DB/OL]. <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc4360.txt/200602>.

作者简介:



贾宗璞 男, 1963 年生于河南邓州, 吉林大学博士研究生, 河南理工大学计算机科学与技术学院院长, 教授, 硕士生导师, 河南省教育厅学术技术带头人, CCF 高级会员, 河南省计算机学会常务理事, 焦作市计算机学会理事长. 主要研究方向: 网络与安全技术、计算机控制技术、电子政务. 近年来, 主持或参与完成了移动 IP 与 MPLS 结合技术研究、轮胎成型机控制系统设计、焦作市电子政务信息系统、焦作市社会治安综合评估监测系统等十多项科研项目, 其中有 8 项通过省部级鉴定, 获省级科技进步奖 2 项, 市级科技进步奖 7 项, 曾荣获河南省煤炭系统科技工作先进个人称号. 发表科技论文二十多篇. 主编、参编教材 4 部, 获煤炭高等学校优秀教材二等奖 1 项. E-mail: jiazp@hpu.edu.cn

王红梅 女, 1981 年生于湖南涟源, 硕士研究生. 主要从事网络技术方面的研究.

刘淑芬 女, 1950 年生于吉林, 教授, 博士生导师. 主要研究方向: 网络与安全技术、计算机支持的协同工作.