

# 基于多隧道的 MIPv6 快速切换改进方案

吕莹莹, 穆玲玲, 李向丽

(郑州大学信息工程学院, 郑州 450001)

**摘 要:** 在研究移动 IPv6 快速切换协议的基础上, 提出一种基于多隧道的快速切换改进方案。该方案通过改进切换流程, 引入隧道状态和生存期管理机制, 避免预测移动节点的切换信息, 同时降低移动节点运动速度对切换造成的影响, 减少因乒乓运动带来的信令开销。仿真实验表明, 基于多隧道的快速切换方案具有较好的切换性能。

**关键词:** 移动 IPv6; 快速切换; 多隧道; 丢包率; 信令开销

## Improved Scheme of MIPv6 Fast Handover Based on Multi-tunnel

LV Ying-ying, MU Ling-ling, LI Xiang-li

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

**【Abstract】** On the basement of research on the Fast handover for Mobile IPv6 protocol(FMIPv6), this paper proposes an improved scheme of fast handover which is based on multi-tunnel. Through improvement of the fast handover procedure and introduction of the tunnel status and life cycle management mechanism, this scheme can avoid forecasting the handover information of mobile node, decrease the effects caused by the moving speed of mobile node and reduce the spending of signaling that is from ping-pong movement. Simulation results show that the fast handover scheme based on multi-tunnel has good performance.

**【Key words】** mobile IPv6; fast handover; multi-tunnel; packet loss rate; signaling cost

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.07.033

### 1 概述

使用移动 IPv6 协议(MIPv6)<sup>[1]</sup>, MN 在子网间切换时会产生较大的切换延迟和丢包, 无法为时间敏感的语音和视频业务提供有效支持。为此, IETF 提出移动 IPv6 快速切换协议(FMIPv6)<sup>[2]</sup>。FMIPv6 通过引入链路层触发器来预测 MN 的切换信息, 提前交互信息, 加快切换速度, 从而减少通信的中断时间, 减少分组丢失, 保证 MN 与 CN 的通信畅通。FMIPv6 可为实时系统提供支持, 但仍然存在一些问题, 具有改进的空间。本文分析 FMIPv6 的优势与存在的问题, 在 FMIPv6 的基础上提出一种基于多隧道的快速切换改进方案。

### 2 移动 IPv6 快速切换协议

本文通过比较 MIPv6 与 FMIPv6 在切换时的延迟与丢包来分析 FMIPv6 的性能。MIPv6 的切换延迟从整体上可分为链路层切换延迟和网络层切换延迟。其中, 网络层切换延迟是影响移动 IPv6 切换延迟的主要因素, 包括移动检测延迟、转交地址配置延迟和绑定更新延迟<sup>[3]</sup>。

MIPv6 在切换过程中产生的延迟和丢包数分别如式(1)、式(2)所示:

$$T(\text{MIPv6}) = T_{L2} + T_{\text{detect}} + T_{\text{CoA}} + T_{\text{BU}} \quad (1)$$

$$\text{Packet Loss}(\text{MIPv6}) = L_{L2} + L_{\text{detect}} + L_{\text{CoA}} + L_{\text{BU}} \quad (2)$$

FMIPv6 通过预测机制, 提前完成转交地址配置和重复地址检测过程。MN 进入新的接入网后能立刻使用新的转交地址继续与 CN 通信, 从而消除了移动检测和转交地址配置延迟。在数据分组丢失方面, FMIPv6 通过建立新旧子网之间的双向隧道, 保证 MN 与 CN 进行新的绑定成功之前可以正常通信, 消除了绑定更新延迟带来的数据分组丢失。因此, FMIPv6 切换过程的切换延迟与数据丢失数分别如式(3)、式(4)所示(无缓存):

$$T(\text{FMIPv6}) = T_{L2} + T_{\text{BU}} \quad (3)$$

$$\text{Packet Loss}(\text{FMIPv6}) = L_{L2} \quad (4)$$

式(1)~式(4)中各变量的含义如表 1 所示。

表 1 变量符号与含义

变量符号	代表含义
$T_{L2}$	链路层切换延迟
$T_{\text{Detect}}$	移动检测延迟
$T_{\text{CoA}}$	转交地址配置延迟
$T_{\text{BU}}$	绑定更新延迟
$L_{L2}$	链路层切换延迟引起的数据包丢失数
$L_{\text{detect}}$	移动检测延迟引起的数据包丢失数
$L_{\text{CoA}}$	转交地址配置延迟引起的数据包丢失数
$L_{\text{BU}}$	绑定更新延迟引起的数据包丢失数
$T_{\text{MN-PAR}}$	MN 与 PAR 间链路延迟
$T_{\text{PAR-NAR}}$	PAR 与 NAR 间链路延迟

FMIPv6 与 MIPv6 相比在延迟和丢包上都有明显改善。但是 FMIPv6 仍然存在一些问题:

(1) FMIPv6 中存在预测不准确的情况, 可能引发错误切换, 造成一定时间的通信中断和数据包丢失。

(2) 由于隧道建立过程过多地依赖于 MN 本身, 当 MN 的运动速度过快时, 会出现隧道未建立、数据分组未缓存的情况, 从而造成分组丢失。

(3) 乒乓运动是快速运动的一种特例, 乒乓切换的时间间隔越小, PAR 就越频繁地忙于建立和拆除隧道, 产生巨大的信令开销, 使网络的性能受到严重影响。

**基金项目:** 河南省教育厅自然科学研究计划基金资助项目(2010A520040)

**作者简介:** 吕莹莹(1985—), 女, 硕士研究生, 主研方向: 无线网络, 移动 IPv6; 穆玲玲、李向丽, 副教授

**收稿日期:** 2010-10-02 **E-mail:** iellmu@zzu.edu.cn

### 3 基于多隧道的快速切换改进方案

#### 3.1 基本思想

由于MN的切换过程总是由所在接入网络切换到某个邻居接入网络,因此通过建立PAR与所有邻居AR间的多隧道,可避免MN或PAR预测切换信息。每个邻居AR则根据自己的子网前缀配置MN的转交地址并进行重复地址检测,以保证不论MN切换到哪个接入网络,都可以立刻使用NCoA继续保持通信。在基于多隧道的快速切换方案中,PAR收到RtSolPr消息后立即建立多隧道,不再依赖于PAR是否收到FBU消息,因此,只要MN发起切换就能成功建立隧道并且缓存发往MN的数据分组。当隧道建立之后,通过对隧道的状态和生存期进行管理,提高隧道的利用率,避免因MN进行乒乓运动导致的隧道的频繁建立与拆除。

#### 3.2 隧道状态与生存期

隧道的状态和生存期由PAR控制。在基于多隧道的快速切换方案中,隧道具有阻塞和激活2种状态,使用HI消息中保留字段的一位作为隧道状态标识位(A位)。为了区别HI消息,在这里把具有隧道状态标识位的消息称为AHI消息。当隧道状态标识位设置为0时,PAR需要建立状态为阻塞的双向隧道;当状态标识位设置为1时,PAR建立状态为激活的隧道。

PAR作为隧道建立的发起者,同样需要管理隧道的拆除。如果MN在子网间来回快速切换就会造成隧道频繁的建立和拆除,因此,当PAR与NAR间的隧道被激活后,其他处在阻塞状态的隧道并不立刻拆除,而是由PAR设定一个隧道生存时间。生存时间结束后,由PAR统一拆除建立的隧道。生存时间用 $T$ 表示,根据实际情况设定,为MN建立隧道设置的生存时间初始值为 $T_0$ 。如果MN在生存时间结束后未返回PAR所在子网,则认为MN进行线性运动。如果MN在隧道生存时间未结束前返回原网络并再次发生切换,激活隧道后重新设置隧道生存时间,生存时间增加 $\Delta T$ ,逐次累加。生存时间可用式(5)表示:

$$T = T_0 + (n-1) \times \Delta T \quad (5)$$

其中, $n$ 表示在PAR所在网络发生切换的次数。

当生存期结束后,PAR向所有邻居AR发送FBACK消息,利用FBACK消息中的lifetime字段(设置为0)通知邻居AR拆除隧道。

#### 3.3 切换流程

改进方案的切换流程如图1所示。

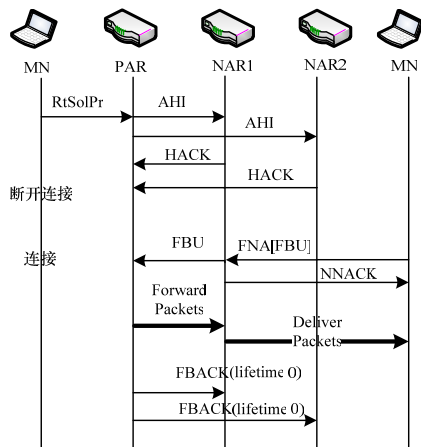


图1 基于多隧道的快速切换方案

具体描述如下:

(1)MN向PAR发送的RtSolPr消息中需要包含MN链路层地址。PAR收到RtSolPr消息后,向所有邻居AR发送AHI消息,要求与各个邻居AR建立隧道,隧道状态为阻塞。

(2)收到AHI消息后,邻居AR根据自己的子网前缀配置MN的NCoA,同时进行重复地址检测。配置的NCoA包含在HACK中返回给PAR。通过AHI和HACK消息,PAR与全部邻居AR建立了处在阻塞状态的双向隧道,隧道建立后,PAR缓存MN的数据分组。

(3)当2层链路切换完成后,MN向NAR发送FNA消息,其中包含FBU消息。NAR向MN返回NNACK消息,该消息中包含MN的NCoA。

(4)NAR将与PAR的隧道状态改为激活,PAR收到FBU后激活与NAR的单向隧道,并开始通过隧道转发MN的数据。PAR开始记录隧道的生存时间,当生存期一到,PAR向所有邻居AR发送FBACK消息,拆除隧道。

#### 3.4 性能分析

从以上切换流程可以看到,在基于多隧道的快速切换方案中,不存在错误切换的现象,同时与FMIPv6相比降低了算法实现的复杂度。在FMIPv6中,当MN运动速度过快时,隧道建立往往无法完成,PAR也不会将MN的分组发往NAR并进行缓存,造成丢包。改进方案通过提前建立隧道并且减少隧道建立对MN的依赖来降低MN高速运动对切换造成的影响。在FMIPv6预测切换信息正确的前提下,如果忽略节点对消息的处理延迟,FMIPv6从切换开始到隧道建立所需时间如式(6)所示:

$$T_{\text{tun1}} = 3 \times T_{\text{MN-PAR}} + T_{\text{CoA}} + 2 \times T_{\text{PAR-NAR}} \quad (6)$$

采用改进方案所需时间如式(7)所示:

$$T_{\text{tun2}} = T_{\text{MN-PAR}} + T_{\text{CoA}} + 2 \times T_{\text{PAR-NAR}} \quad (7)$$

可以看出,使用改进方案建立隧道比FMIPv6提前了 $2 \times T_{\text{MN-PAR}}$ ,缓存数据分组时间比FMIPv6同样提前了 $2 \times T_{\text{MN-PAR}}$ ,即隧道建立和缓存分组过程提前时间为2倍的从MN到PAR的无线传输时延。在改进方案中,隧道的建立时间提前的同时隧道建立不再依赖于MN是否完成转交地址配置、快速绑定更新等过程,降低了对MN的依赖。

下面比较FMIPv6与基于多隧道的快速切换方案在切换过程中的信令开销。信令开销由信令传输开销和各节点对信令的处理开销2个部分组成:

$$C_s = C_t + C_p \quad (8)$$

其中, $C_s$ 为切换过程中信令开销; $C_t$ 为信令传输总开销; $C_p$ 为各节点对信令处理所用总开销。当MN返回PAR所在网络后再一次切换时使用FMIPv6所产生的信令开销如下<sup>[4]</sup>:

$$C_{s-\text{FMIPv6}} = (9\eta + 3n + 2m + 2s)\delta + a_m + 3a_p + 2a_n + a_h + a_c \quad (9)$$

使用改进方案产生的信令开销如下:

$$C_{s-\text{MFIPv6}} = (7\eta + n + 2m + 2s)\delta + a_m + 2a_p + a_n + a_h + a_c \quad (10)$$

其中, $a_m$ 、 $a_p$ 、 $a_n$ 分别表示MN、PAR和NAR对信令的处理所用开销; $a_h$ 、 $a_c$ 表示注册信令在HA、CN上的处理开销; $n$ 表示PAR与NAR之间的平均跳数; $m$ 表示NAR与HA之间的平均跳数; $s$ 表示NAR与CN之间的平均跳数; $\eta$ 表示为单位距离上无线链路传输开销与有线链路的倍数; $\delta$ 为传输开销与距离的比例常数。

由式(9)和式(10)可以看出,使用基于多隧道的快速切换方案,当MN进行乒乓运动时,可避免隧道的频繁建立与拆除,明显减少了信令开销。

### 4 仿真实验及分析

为了验证上述理论分析结论,本文采用NS-2实验平台<sup>[5]</sup>

分别对 FMIPv6 和基于多隧道的快速切换改进方案进行模拟仿真。仿真场景的网络拓扑结构如图 2 所示,给出了链路特征即带宽(Mb/s)和延时(ms)。实验采用 IEEE 802.11 作为接入标准,选用 CBR/UDP 作为数据源,CN 以每 10 ms 发送一个分组的速率向 MN 发送数据包,数据分组大小为 256 Byte。

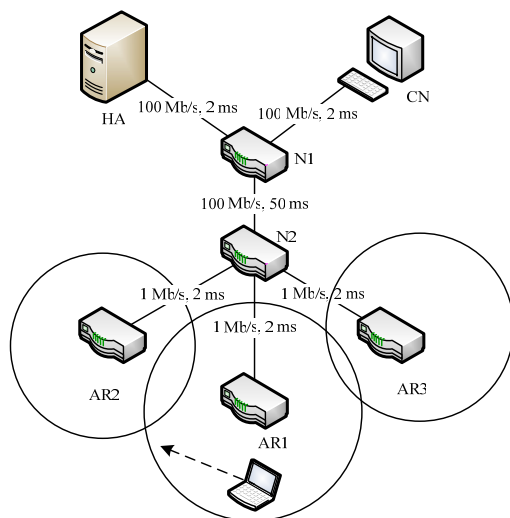


图 2 仿真场景的网络拓扑结构

#### 4.1 丢包率比较

本文分别模拟 FMIPv6 与改进方案的切换过程,经过多次实验,计算 MN 在不同运动速度下所产生的丢包率,结果如图 3 所示。

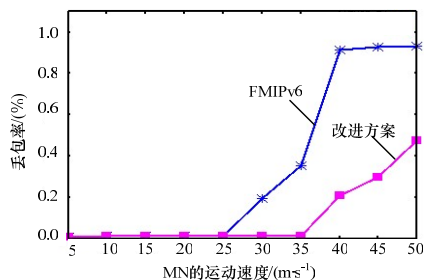


图 3 不同运动速度下的丢包率对比

MN 的运动速度在 5 m/s~50 m/s 范围内取值。可以看出,使用 FMIPv6, MN 运动速度在 25 m/s 内可以保持非常低的丢包率,随着 MN 运动速度的增加,开始出现丢包现象,当到达 40 m/s 后,丢包率在 0.8% 以上。对于改进方案来说,保持低丢包率的最大速度提高为 35 m/s, MN 的运动速度超过 35 m/s 后开始出现丢包现象。在改进方案中,PAR 只要接收到 RtSolPr 消息,隧道就可以成功建立,因此, MN 取 40 m/s、45 m/s 和 50 m/s 这 3 个值时,使用改进方案仍能缓存 MN 的数据分组,保持较低丢包率。由此可见,基于多隧道的快速切换改进方案在 MN 高速运动的情况下仍能成功建立隧道并

且缓存数据,具有较小的丢包率。

#### 4.2 信令开销比较

在整个仿真过程中, MN 在接入路由器 AR1、AR2 和 AR3 之间进行随机切换,切换的总次数为 500,分别统计切换序号为 100、200、300、400 和 500 时的信令开销,结果如图 4 所示。

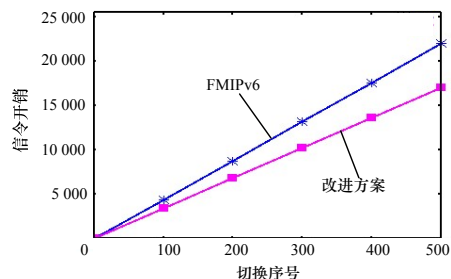


图 4 2 种方案的累计信令开销对比

使用 FMIPv6 协议,由于每次切换都需要重新建立隧道,因此当 MN 在 AR1、AR2 和 AR3 之间进行乒乓运动时,累计信令开销较大。对于改进方案来说,由于提前建立了与各个邻居 AR 间的隧道,并引入统一的隧道生存期,因此避免隧道的频繁建立与拆除,减少了信令开销。

#### 5 结束语

本文提出一种基于多隧道的 MIPv6 快速切换改进方案,能够降低 MN 运动速度对于切换性能造成的影响,减少因乒乓运动带来的信令开销,提高切换性能。今后的工作是在 FMIPv6 的基础上进一步减小切换延时,同时考虑如何在改进方案中加入安全保障机制,进一步提高改进方案的安全性能。

#### 参考文献

- [1] Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility Support in IPv6[S]. RFC 3775, 2004.
- [2] Koodli R. Fast Handovers for Mobile IPv6[S]. RFC 4068, 2005.
- [3] Wu Chenwen, Wang Ping. Improved Fast Handover Scheme for Hierarchical Mobile IPv6[C]//Proc. of the 4th International Conference on Computer Science & Education. Nanning, China: IEEE Press, 2009.
- [4] Liu Jiemin, Dou Jingxin, Zou Hongxing, et al. Reducing Signaling Cost with Simplified mSCTP in Fast Mobile IPv6[C]//Proc. of International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Harbin, China: IEEE Press, 2008.
- [5] 余 勇,王康华,孙 为. HMIPv6 的 LT-TMAP 快速切换方案[J]. 计算机工程, 2010, 36(5): 125-127.

编辑 顾姣健

(上接第 74 页)

- [4] Fan Kai, Wei Xi, Long Dongyang. A Load-balanced Route Selection for Network Coding in Wireless Mesh Networks[C]//Proc. of IEEE International Conference on Communications. Dresden, Germany: [s. n.], 2009.
- [5] Katti S, Rahul H. XORs in the Air: Practical Wireless Network Coding[J]. IEEE-ACM Transactions on Networking, 2008, 16(3):

497-510.

- [6] IEEE. IEEE Standard 802.11[EB/OL]. [2010-05-06]. [http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs\\_update.htm](http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs_update.htm).
- [7] University of Science and Technology of China. 802.11s Implementation on NS2[EB/OL]. (2010-05-05). <http://wireless.ustc.edu.cn/wngwiki/Resources>.

编辑 任吉慧