

邻居信息结构实现移动IPv6快速切换的机制

张霖¹, 邱述威¹, 黄建¹, 周健²

(1. 安徽建筑工业学院信息中心 合肥 230022; 2. 合肥工业大学网络中心 合肥 230009)

【摘要】分析标准移动IPv6(MIPv6)快速切换机制, 提出一种基于邻居信息结构的移动IPv6快速切换方案(NFMIPv6)。当MN(mobile node)从一个AP(access point)覆盖区域移出时, 它进入的目标区域是有限的, 且该有限目标区域可以提前预知。通过预配置和定时更新的办法使MN提前获取目标有限区域的邻居信息结构, 通过NFMIPv6切换算法提供新发现的AP信息及邻居信息结构的实时更新, 使移动节点在连接当前子网时就能更快速地检测到即将移动到的新的子网, 切换过程缩短了转交地址唯一性验证时间和检测延迟时间。仿真研究表明, 该机制不额外占用网络资源, 减少了切换过程中的乒乓交换, 降低了切换过程中切换延迟时间, 是一种性能优越的移动IPv6快速切换机制。

关键词 移动IPv6; 邻居信息结构; 快速切换

中图分类号 TP

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2011.04.026

Neighbour Information Structure Mechanism for Fast Handoff of Mobile IPv6

ZHANG Lin¹, QIU Shu-wei¹, HUANG Jian¹, and ZHOU Jian²

(1. Information & Network Center, Anhui Institute of Architecture and Industry Hefei 230022;

2. Network Center, Hefei University of Technology Hefei 230009)

Abstract By analyzing the fast handoff scheme of standard MIPv6, a proposal (NFMIPv6) for the rapid switch of MIPv6 is presented basing on the neighbor information table structure. When the MN (mobile node) is moved out from the area covered by an AP (access point), its access target area is limited and can be predicted in advance. By means of the pre-allocation and periodic update, the MN is able to obtain the neighbour information table structure earlier from the limited target area. By AP information provided by the switching algorithm of NFMIPv6 and the real-time update of the neighbor information table, the MN can detect the new subnet where it is going to move rapidly when it is connected with the current subnet. The time for the uniqueness detection of the delivery address and the time for the delay detection can be reduced in the switching process. The stimulation research shows that this system does not occupy additional network resources but reduces the ping-pong exchange and the time for the delay of the switch in the switching process. Therefore, it is a fast handoff scheme of MIPv6 with superior performances.

Key words fast handover; mobile IPv6; neighbour information structure

伴随移动通信技术的迅速发展和手机、PDA、笔记本电脑等便携式智能终端的广泛应用, 人们在移动的过程中仍能保持互联网接入和连续通信。移动IPv6协议Mobile IPv6 (MIPv6)^[1]是下一代网络实现无缝漫游的一种基本技术, 能使移动节点(mobile node, MN)在异构网络中随意移动和漫游, 满足人们的需求。IETF于1996年11月公布了第一个移动IPv6协议草案, 经过24个版本的改进, 于2004年6月将移动IPv6协议(MIPv6)提交为标准^[1]。移动IPv6技术已成为当前研究的热点, 但是现有的移动IPv6协议存在切换延迟大, 分组丢包率高等缺点,

不能满足对延迟敏感的实时应用和对数据丢失敏感的应用。针对上述问题, 通过对标准移动IPv6(MIPv6)快速切换机制的分析, 本文提出了一种基于邻居信息表的移动IPv6快速切换机制, 该机制借助邻居信息表缩短了转交地址唯一性验证时间和检测延迟时间, 达到了降低丢包率和减少延迟的效果。

1 移动IPv6快速切换机制分析

1.1 现有移动IPv6切换技术分析

标准的MIPv6切换算法主要利用IPv6协议的邻居发现、黑洞检测、地址自动配置等机制, 与链路

收稿日期: 2009-06-25; 修回日期: 2009-11-02

基金项目: 国家自然科学基金(60873194); 安徽高校省级自然科学基金重点资助(KJ2009A61); 安徽省高等学校青年教师科研项目(2008jql086)

作者简介: 张霖(1963-), 男, 副教授, 主要从事计算机网络体系结构、移动IPv6网络、QoS方面的研究。

层技术相结合, 解决MIPv4的三角路由问题, 然而这会导致切换延迟的增加^[2], 即标准的MIPv6切换算法是以牺牲切换延迟为代价的。目前, 针对MIPv6切换延迟大、丢包率高的问题, 已提出了多种解决方案, 比较有代表性的有: 基于多播机制的平滑切换方案、基于流的快速MIPv6、优化各局部延迟的解决方案, 但是这些方案的实现都会增大网络的资源消耗, 且对切换延迟的减少相对有限^[3]。相对于以上的各种方案, 快速移动IPv6(FMIPv6)、层次型移动IPv6(HMIPv6)是更具代表性且更加成熟的MIPv6切换方案。MN在原接入路由器(PAR)和新接入路由器(NAR)之间进行切换时, FMIPv6主要通过引入链路层消息触发, 通过在第2层切换之前就实行第3层切换, 以减少切换延迟; HMIPv6通过向移动锚点(mobility anchor point, MAP)注册, 从而减少局部注册延迟。这两种改进型切换机制分别从不同角度减少了切换延迟, 但仍需优化, 具体体现在:

- 1) MN搜索和扫描信道发现可用AP将花费较长时间, 占用整体切换延迟的很大一部分^[4-5];
- 2) MN快速移动会造成FMIPv6切换性能的恶化。

1.2 移动IPv6切换过程和延迟分析

为了使移动节点移动时仍然保持传输层的连接, 移动节点必须始终保持一个固定的IP地址, 该地址就是家乡地址(home address)。家乡地址可用于识别端到端连接的静态地址, 不管移动节点移动到何处, 其家乡地址始终保持不变。由于移动节点的移动性, 欲使通信顺利进行, 移动节点必须绑定另一个IP地址, 即转交地址(care-of address, CoA), 发往移动节点的数据包由该地址转交。转交地址可以被认为是移动节点拓扑结构意义上的地址。与家乡地址网络部分匹配的子网被称为移动节点的家乡网络(home network), 而其余子网称为移动节点的外地网络(foreign network)。家乡网络上有一个路由器, 记录了移动节点的家乡地址与转交地址的绑定信息, 该路由器称为家乡代理(home agent, HA)。在基本移动IPv6协议中, 移动节点在不同网络间切换时需要经过移动检测、新转交地址配置、重复地址检测、绑定注册等过程, 造成较大的切换延迟^[6]。当移动节点离开家乡网络切换到外地或者在不同的网络间切换时, 移动节点检测到自身已切换到新网络后, 配置当前网络的转交地址, 经过重复地址检测验证地址唯一后, 向家乡代理(HA)发送绑定更新

消息(BU)^[6-7]。家乡代理绑定移动节点的家乡地址和转交地址, 向移动节点发送绑定确认消息(BA)。移动节点向通信节点发送绑定更新消息, 以便与通信节点直接建立连接。在切换过程中, 移动节点处于不可达状态。基本移动IPv6协议中存在切换延迟长、数据丢失率高和信令负载大等问题。基本移动IPv6协议切换过程如图1所示。

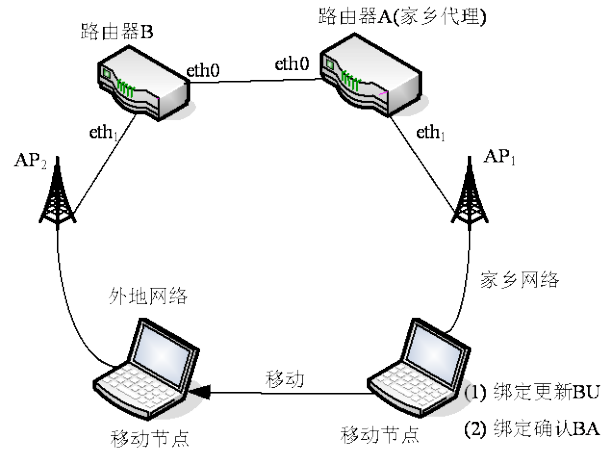


图1 基本移动IPv6协议切换过程

基本移动IPv6的切换延迟包括移动检测延迟、转交地址配置与重复地址检测延迟和绑定注册延迟。移动检测延迟 T_{Detect} 指移动节点发现自身切换到新的网络所需要的时间; 转交地址配置延迟 T_{Coa} 指移动节点配置新网络的转交地址、做重复地址检测确保地址唯一所需要的时间; 绑定注册延迟 T_{BU} 指移动节点切换到新网络后, 向家乡代理发送绑定更新消息, 以及注册其当前转交地址, 并等待家乡代理回送绑定确认消息的过程所经历的时间; 网络层切换延迟 T_{L_3} 包括 T_{Detect} 、 T_{Coa} 和 T_{BU} , 即 $T_{L_3} = T_{\text{Detect}} + T_{\text{Coa}} + T_{\text{BU}}$ 。链路层切换延迟 T_{L_2} 指移动节点从物理上离开一个网络到接入另一个网络所需要的时间。移动节点切换时经历的总切换延迟包括 T_{L_2} 和 T_{L_3} , 即总延迟时间为:

$$T = T_{L_2} + T_{L_3} \quad (1)$$

其中网络层切换延迟时间较长, 是影响移动IPv6切换性能的主要因素。

2 基于邻居信息结构的移动IPv6切换机制

2.1 邻居信息结构的构建与切换算法描述

根据以上分析可以看出, 网络层切换延迟时间是制约移动IPv6切换性能的关键因素之一。当MN从一个AP覆盖区域移动到另一个AP覆盖区域时, AP

之间需要通过广播消息确认MN所在区域的归属,该过程会产生大量的广播消息,占用大量的通信信道。因为MN的流动性导致不能确定其所可能到达的AP区域,所以该过程必然占用大量的时间,造成延迟。虽然MN移动的目标覆盖区域具有不确定性,但其只可能移动到其邻近的AP覆盖区(称之为邻居)。如果其不能移动到邻居AP覆盖区域,通信就会中断,出现所谓的通信盲区。本文假设MN移动区域没有通信盲区,当MN在一个AP覆盖区域移动时,其可能移到的目标AP覆盖区的可能情况是有限种,并且该有限种区域可以提前预知。因为AP是已经存在的,其邻居AP也是可以确定的。MN的移动区域以及可能切换进入的区域是一个有限集合,该集合定义为MN移动区域集合。

建立数学模型时,MN移动区域集合用有限集 Φ 表示, Φ 中的元素包括:1)当前AP,用 a 表示;2)当前AP所有的邻居AP,用 Φ_1 表示, Φ_1 是 Φ 的一个子集,它们之间的集合关系可以表示为 $\Phi=\{a,\Phi_1\}$,未知的(包括临时的或新增的)AP成为MN移动区域有限集合中的元素时, Φ_1 中的元素随着新增的AP数增加。

本文设计的切换机制退化为标准的移动IPv6切换机制,即本文设计的移动IPv6切换机制的最差性能也不比标准移动IPv6切换机制差。

对MN移动区域有限集合中的元素,可以抽象为邻居信息节点,该有限集合就可描述为有限个邻居信息节点组成了一个邻居信息节点结构。

ver		len		AP	备用	
IP1	flag	IP2	flag	...	IP n	flag

图2 邻居信息节点结构图

图2中,ver是IPv4或者IPv6识别位;len是节点的长度;AP是AP的基本信息结构;IP n 备用,flag是可用IP及其使用情况标识。

基于邻居信息表的移动IPv6切换流程(下文中简称为NFMIPv6)通过广播消息获取MN是否移动到临界区,广播消息的数量只需要一次广播即可。切换时,链接层继续使用家乡地址通信,而网络层直接从邻居信息表查找一个转交地址,即从邻居信息表中直接获取转交地址。借助哈希算法查找邻居信息表中的转交地址,可以保证代理地址的唯一性,节约标准移动IPv6代理地址唯一性验证时间。MN获取代理地址后,向家乡网络发送绑定和注册信息,移动切换完成。

移动切换算法描述如下:

NFMIPv6HandOver()

```

{
  Initiate Handover=false;
  Read configure file;//读取配置文件信息
  Create neighbor information by Hash function;//
  创建邻居信息结构
  Initiate Update Timer;//初始化定时器
  Initiate Channel scanning;//初始化隧道
  Initiate MN;//初始化移动节点
  /*通过MN扫描隧道信息确定是否进入新的AR
  区域*/
  While (MN Scanning Channel)
  {
    Read probe responses;
    If (new AR)
    {
      HANDOVER=true;
    }
    Else
    {
      HANDOVER=false;
    }
  }
  /*若进入新的AR则读取邻居信息结构内容*/
  If (true==HANDOVER)
  {
    Read Neighbour Information structure;//
    Search Care-of_address by HASH;//通过
    HASH算法查找邻居信息结构中的转交地址
    Reset Care-of-address of MN;
  }//重置MN的转交地址
  Else
  {
    If (TIME is over)
    {
      Update Neighbor Information structure;
    }
  }
}

```

2.2 算法性能分析

NFMIPv6快速切换算法根据MN的邻居有限性的特点,借助原有MIPv6广播机制获取邻居AP信息。从MIPv6完备性来说,NFMIPv6与标准MIPv6没有太大差异。NFMIPv6通过提供新发现的AP信息及邻居信息表的实时更新,使移动节点在连接当前子网时

就能更快速地检测到即将移动到的新的子网, 并优化切换过程中的CoA唯一性验证和检测。在传统的移动IPv6中, MN通过移动检测判断MN是否移动到了新的子网中, 检测算法有延迟切换算法(lazy cell switching, LCS)和迫切切换算法(eager cell switching, ESC)^[8], 且以迫切切换算法为代表。ESC用来自接入路由器(access router, AR)的路由器通告(router advertisement, RA)消息发现新的子网, 假设RA消息时间间隔为 $[R_{\min}, R_{\max}]$ 之间的均匀分布, 则ESC算法的 T_{Detect} 密度分布函数为:

$$P_{\text{ECS}}(t) = \begin{cases} \frac{2}{R_{\max} + R_{\min}} & \text{如果 } 0 \leq t \leq R_{\min} \\ \frac{2(R_{\max} - t)}{R_{\max}^2 - R_{\min}^2} & \text{如果 } R_{\min} \leq t \leq R_{\max} \\ 0 & \text{其他 } t \end{cases}$$

所以ESC算法的平均时延为 T_{ECS} :

$$T_{\text{ECS}} = \int_0^{R_{\max}} t P_{\text{ECS}}(t) dt = \frac{R_{\max}^3 - R_{\min}^3}{3(R_{\max}^2 - R_{\min}^2)}$$

从上式可以看出, ECS的性能依赖于RA消息的发送时间间隔。MN要在新的子网中配置新的转交地址(NCoA)延时, 而MN一般采用地址自动配置机制配置NCoA, 该过程将耗费少量的延迟。在新的切换算法中, 借助邻居信息表的缓存机制确定当前的AR是否可达, 可缩短RA消息的等待时间。

由于NFMIPv6消除了MIPv6切换过程中的移动检测、新转交地址配置和重复地址检测延迟, 总的切换延迟时间为:

$$T_{\text{NFMIPv6}} = T_{L_s} + T_{\text{BU}} \quad (2)$$

与式(1)相比, 式(2)减少了 T_{Detect} 与 T_{Coa} 的时间, 从而减少了总的切换延迟。如果MN在连接到NAR之前已经确认CoA有效, MN就可以立即使用该CoA, 否则, 通过HASH算法查找邻居信息表中的转交地址, 将优化建立在额外占用存储和处理资源的基础上, 使切换的复杂度降低, 节省带宽资源。根据图2, 一个接点需要额外存储空间约1KB, 按每个接点有10个邻居来计算, 需要就额外开销10 KB存储资源, 相对原有存储和处理硬件来说, 该额外开销不会对切换过程带来明显影响。在切换竞争过程中, 由于邻居信息表不断加入当前AP的邻居AP, MN在切换到新的子网, 完成向家乡代理绑定注册前, 就可以使用先前子网与最新子网之间的双向隧道继续收发数据。如果一次切换未完成, 算法会重置MN的转交地址, 以避免MN返回原来的AR区域, 从而减少转

交地址切换过程中的乒乓交换。

3 仿真与分析

3.1 仿真场景

在NS-2仿真环境下进行仿真, 修改FHMIPv6源代码, 增加邻居信息表处理和维护功能, 生成NFHMIPv6模块, 添加NFHMIPv6模块^[9-10]到NS-2.31版本中。通过C语言宏开关功能, 再次重新编译可生成FHMIPv6模块, 安装到NS-2.31中完成对比实验, 然后对实验数据进行分析。

网络仿真场景如图3所示。图中共设节点 $N_1 \sim N_4$ 和MAP、CN、PAR、NAR(2个)、MN、CN等11个节点, 各节点之间的带宽与延迟如图中标识。采用802.11作为接入技术, NS从0 s开始运行, 80.000 3 s时结束。选用CBR/UDP 作为数据源, 通信节点(correspond node, CN)发送数据, MN 接收数据。MAP 域内的有线链路传输延迟为2 ms, 总的仿真时间为80 s, MN 以1 m/s的速度移动并通过各相邻AR。CN 在仿真开始时以10 ms的间隔发送256 bit的UDP分组到MN, 直到仿真结束。

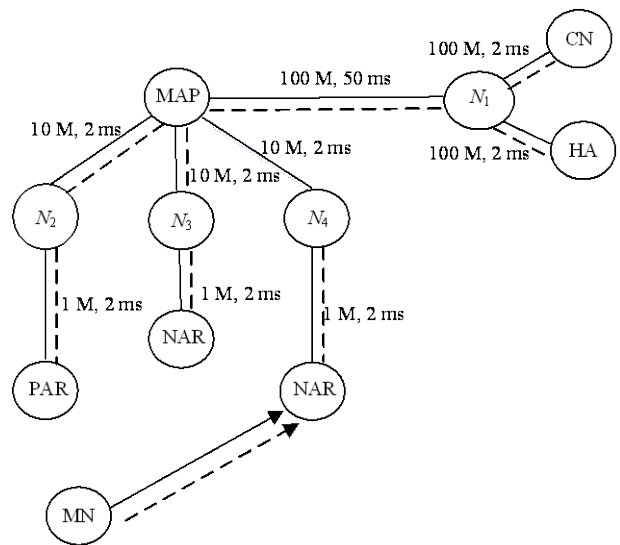


图3 网络仿真拓扑图

3.2 仿真性能分析

移动节点数目对传输延迟的影响如图4所示。由图4中可以看出, 随着移动节点数目的增加, 2种切换机制的切换延迟各有不同, 当移动节点数目增加到25以上时, 信道已经达到饱和, 无线链路的切换延迟变得严重。在最优的情况下, NFMIPv6机制的切换延迟优于FMIPv6大约20%左右, 切换延迟时间减少43 ms。这是因为NFMIPv6切换机制根据邻居信息结构提前获取MN的转交地址, 缩短了地址唯一性验证时间。在性能最差的情况下, NFMIPv6切换

机制退化为FMIPv6切换机制。

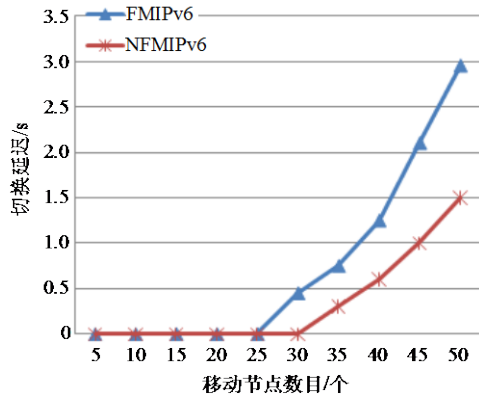


图4 移动节点数目对传输延迟的影响

网络传输延迟对丢包率的影响如图5所示。由图5可以看出,随着网络传输延迟的增大,2种切换机制的丢包率也各有不同,FMIPv6切换机制的丢包率较大,而NFMIPv6机制的丢包率较小。总体来说,NFMIPv6切换机制的丢包率优于FMIPv6大约5%。这是因为NFMIPv6切换机制减少了乒乓交换过程。

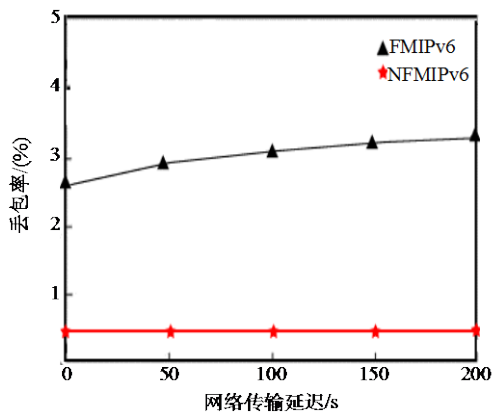


图5 网络传输延迟对丢包率的影响

4 结 论

通过少量信息保证不增加网络通信负担,借助辅助信息提高移动IPv6切换机制,并且使移动节点更加平滑地切换。邻居信息结构占用资源不会过大,本文根据已有通信系统,设计出最小的邻居信息结构,缩短了转交地址唯一性验证时间和检测延迟时间。使用NS-2仿真软件对NFMIPv6切换性能进行评估,根据仿真的结果,NFMIPv6机制切换延迟和丢包率比FMIPv6低,切换延迟和丢包率受网络传输延迟的影响非常小,完全可以达到平滑切换的要求,所以该机制具有可行性。

参 考 文 献

- [1] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. Mobility support in IPv6[S]. RFC3775, Internet Engineering Task Force, 2004.
- [2] McCANN P. Mobile IPv6 fast handovers for 802.11 networks[S]. Internet Engineering Task Force, 2004.
- [3] KIM D G, SHIN H J, SHIN D R. A network-based handover scheme for hierarchical mobile IPv6 over IEEE 802.16e[C]//Proceedings of the 10th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT'08). Phoenix Park, USA: IEEE, 2008: 468-472.
- [4] 杨卫东, 马建峰, 杨超. 无线局域网中一种快速安全的切换方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2008, 35(3): 474-477. YANG Wei-dong, MA Jian-feng, YANG Chao. Fast secure handoff scheme for wireless LANs[J]. Journal of Xi'dian University, 2008, 35(3): 474-477.
- [5] MISHRA A, SHIN M, ARBAUGH W. An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process[J]. Computer Communication Review, 2003, 33(2): 93-102.
- [6] JUNG H Y, KOH S J. Fast handover support in Hierarchical mobile IPv6[C]//The 6th International Conference on Advanced Communication Technology. [S.l.]: [s.n.], 2004: 551-554.
- [7] 王红梅, 贾宗璞, 李刚. 基于MPLS的移动IPv6预测式快速切换方案[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(31): 141-144. WANG Hong-mei, JIA Zong-pu, LI GANG. Predictive fast handoff scheme for MPLS based mobile IPv6[J]. Computer Engineering and Application, 2007, 43(31): 141-144.
- [8] WITRUP T, LILDBALLE A. Seamless handoff in mobile IPv6: Development of the parametric cell switching handoff initiation concept based on theoretical and empirical study of common handoff initiation strategies[D]. Aalborg, Denmark: Department of Computer Science, Aalborg University, 2001.
- [9] WANG Y H, HUANG C S, KUO C S, et al. Dynamic MAP selection mechanism for HMIPv6[C]//Proceedings of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'08). Okinawa, Japan: IEEE, 2008: 691-696.
- [10] HSIEH R, SENEVIRATNE A. A comparison of mechanisms for improving mobile IP handoff latency for end-to-end TCP[C]//MobiCom'03 Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Network in ACM. New York, USA: [s.n.], 2003.

编辑 税红