

# MIPv6 家乡代理功能在高性能路由器中的设计与实现\*

郑超, 郭云飞, 赵靓, 何红永

(解放军信息工程大学 国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 提出了一种移动 IPv6 (MIPv6) 协议中家乡代理功能在高性能路由器上的实现方案。将 MIPv6 协议规范中家乡代理的协议处理功能和报文转发功能加以分解, 并将它们分布于高性能路由器主控单元和线路接口板上。测试结果表明, 该方案无需改变路由器原有结构即能可靠地实现移动 IPv6 功能。

**关键词:** 高性能路由器 移动 IPv6 家乡代理

随着互联网业务的进一步发展以及移动电话、PDA 和笔记本等移动数据通信终端数量的增加, 越来越多的互联网用户希望能在任何地点、以任意接入方式(有线或无线)、用固定的 IP 地址和网络配置参数连接到 Internet 或企业网络, 并且在移动过程中不中断正在进行的通信。移动 IP 的设计目标就是移动节点在改变网络接入点时不必改变其 IP 地址, 能够在移动过程中保持通信的连续性, 对上层协议保持透明性。IETF 在 1996 年就制定了基于 IPv4 的移动 IP 协议(即移动 IPv4), 但是移动 IPv4 实现起来较复杂, 稳定性和安全性也较差, 因此没有得到很好的推广。随着 IPv4 地址资源日渐紧缺, 向 IPv6 网络过渡已成必然趋势。基于 IPv6 的移动 IP 协议(即移动 IPv6, 简称 MIPv6)得到业内的一致看好, 有望成为推动下一代互联网技术应用的一个亮点。

移动 IPv6 协议<sup>[1]</sup>定义了三个实体: 移动节点、通信对端节点和家乡代理。本文将重点讨论移动 IPv6 协议中家乡代理功能的实现。家乡代理实际上就是移动节点家乡链路上的一个路由器。通常路由器按照性能可以粗略地分成高性能路由器和中低端路由器, 其中, 高性能路由器要求以线速进行包转发, 一般采用硬件来满足线速转发, 于是, 高性能路由器就采用分布式硬件转发、集中式控制处理的分布式体系结构。在这种具有分布式体系结构的高性能路由器中实现 MIPv6 的家乡代理功能可能存在问题, 本文将在分析高性能路由器中 MIPv6 协议的功能需求之后提出实现方案来解决这些问题并给出测试结果。

## 1 高性能路由器中 MIPv6 协议的功能需求

高性能体系结构路由器最主要的特点是数据平面与控制平面相分离<sup>[3]</sup>, 即采用分布式硬件转发、集中式控制与处理。其基本构成包括: 线路接口板、转发模块、输出处理模块、主控单元和交换网络。其中, 主控单元是

路由器的控制中心, 负责运行协议、生成硬件转发数据包所需要的转发表, 并下发给各转发模块。转发模块收到数据包后, 硬件实现转发表的线速查找, 将其经高速交换网络和输出处理模块送往相应的线路接口板输出。运行在主控单元的主控软件由嵌入式 Linux 实时操作系统及运行在操作系统之上的各种基本协议和路由协议组成。本文只讨论移动 IPv6 协议在路由器上的实现。

移动 IPv6 模块的功能主要在 Linux 内核中实现, 但是需要线路接口板配合, 以便将与移动 IPv6 相关的所有协议报文和数据报文全部上交到主控单元进行处理。协议处理功能和报文转发功能分布在路由器主控单元和线路接口板上。作为移动 IPv6 协议中的家乡代理节点, 协议处理的主要工作就是对绑定更新消息的处理。家乡代理如果收到绑定更新消息, 则需对要绑定的家乡地址进行重复地址检测(DAD), 检测成功的地址在本地建立绑定缓存列表。除此之外, 主控单元还要建立邻居发现(ND)代理功能及隧道功能等, ICMP 协议处理模块也需要做适当的修改, 以便增加对移动 IPv6 的支持。另一方面, 在协议处理阶段, 路由器需要在支持家乡代理功能的线路接口板上配置家乡代理地址以及该地址对应的任播地址, 使得接口板可以接收到需要家乡代理处理的全部移动 IPv6 协议报文和数据报文。

## 2 MIPv6 协议的实现

### 2.1 实现方案

针对 MIPv6 的功能需求及高性能路由器的构造特点, 提出了如下实现方案: 主控内核空间运行移动 IPv6 报文的处理、移动节点家乡地址和转交地址绑定缓存的维护等功能可利用 Linux 开放源代码来实现; 此外, 内核还要将成功绑定后的移动节点家乡地址实时通告给系统数据维护模块, 再由系统数据维护下发到线路接口板, 使得接口板能够将移动 IPv6 数据报文上交主控进

\* 基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2004AA103130)

行处理。同时,接口板上配置家乡代理地址及该地址对应的任播地址,这样,需要家乡代理处理的移动 IPv6 协议报文将被线路接口板接收并转交主控处理。线路接口板还要将主控生成的移动 IPv6 协议报文、隧道封装/解封装后的移动 IPv6 数据报文转发给移动节点或通信对端。该实现方案如图 1 所示。

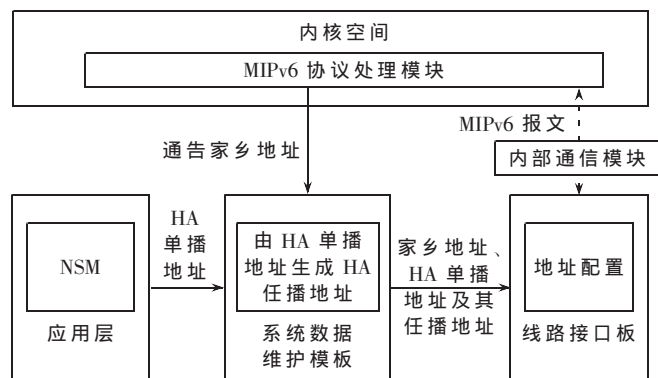


图 1 移动 IPv6 实现方案图

该方案建立的模型可以描述为:主控内核对系统数据维护的输出——移动节点的家乡地址;系统数据维护对接口板的输出——移动节点家乡地址及其对应的任播地址;接口板与主控内核的交互——移动 IPv6 协议报文及数据报文。由此可以看出,该方案实现的基本流程为:首先路由器需要在支持家乡代理功能的接口板上配置家乡代理地址以及该地址对应的任播地址,其中,家乡代理地址是在初始化阶段由主控应用层 NSM 模块下发给系统数据维护,再由系统数据维护生成任播地址(生成规则见参考文献[2]),然后将家乡代理地址及其任播地址一并下发给接口板,这样就可使接口板将所有需要家乡代理处理的移动 IPv6 协议报文转交主控处理;主控根据移动 IPv6 协议生成移动节点家乡地址和转交地址绑定缓存,并将成功绑定后的移动节点家乡地址向系统数据维护实时通告,再由系统数据维护下发接口板。通过以上配置,接口板可以将目的地址是指定地址的 IPv6 数据报文中交主控处理,这类数据报文需要通过隧道递交到远离家乡网络的移动节点;主控将处理后生成的移动 IPv6 协议报文、隧道封装/解封装后的移动 IPv6 数据报文下发给接口板输出。

### 2.2 方案分析

本方案中,与移动 IPv6 相关的协议处理功能和报文转发功能被分布在路由器主控单元和线路接口板上,具体实现的数据流图如图 2 所示。最初(移动节点尚未在家乡代理中注册过)接口板只截获目的地址是家乡代理地址及其任播地址的分组并送交主控。分组到达 IP 层时,要进行 ND 代理检测。参考文献[1]中指出,在支持移动 IP 功能的路由器中,必须支持代理 ND 功能。由于代理 ND 功能主要是在 IP 层数据报文的接收过程中完成的,因此 IP 层收到 IPv6 报文后,检测 IPv6 报文是否代

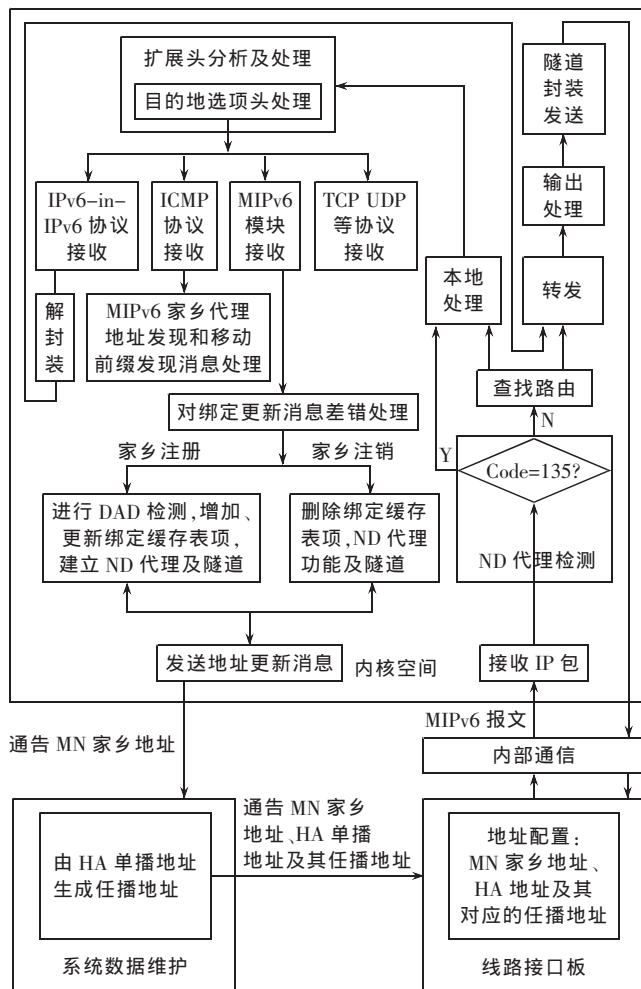


图 2 MIPv6 数据流图

理节点地址的 ND 请求消息(即 ICMP 报文,其 code 域值为 135),如果是就直接交本地协议栈处理;如果不是则查找路由,根据 IPv6 报文目的地址判断:如果是需要本地处理的数据报文就直接发送本地协议栈处理,如果目的地址不是本地地址则进行路由查表并转发输出。

对交由本地处理的 IPv6 报文进一步分流,在扩展头分析处理后,交由不同的协议模块处理。在 IPv6 报文的所有扩展头中,主要分析处理以下几种情况:目的地选项扩展头、路由扩展头、分段扩展头、认证扩展头及无扩展头。在移动 IPv6 协议中特别新增了两类路由头和家乡地址目的地选项,但作为家乡代理节点,正常情况下不会收到两类路由头,因为如果收到的 IPv6 报文其目的地址是移动节点家乡地址,则在查找路由时已转发输出,如果该报文其目的地址是移动节点的转交地址,则家乡代理节点根本就收不到。

在判断收到的 IPv6 报文是移动 IPv6 协议报文(nextheader=135)时,则交由移动 IPv6 协议模块进行处理。作为家乡代理节点,只可能处理绑定更新消息以及与“动态家乡代理地址发现机制”相关的协议报文。当移动节点要进行家乡注册时,若不知道家乡代理的单播地

址,则首先会向其家乡子网前缀所对应的家乡代理任播地址发送 ICMP“家乡代理地址发现请求”消息,收到此请求消息的家乡链路上的家乡代理将向移动节点返回一条 ICMP 家乡代理地址发现的应答消息,并给出家乡链路上的一组家乡代理的 IP 地址;若移动节点已经知道家乡代理的 IP 地址(单播地址),则直接发送绑定更新消息。家乡代理收到绑定更新消息后,首先对要绑定的移动节点家乡地址进行 DAD 检测,检测成功的地址在本地要建立移动节点家乡地址和转交地址的绑定缓存项,并将成功绑定后的移动节点家乡地址通过 Linux 内核提供的 Netlink 机制中的 Rtnetlink 消息向系统数据维护实时通告。此时,配置了移动节点家乡地址、家乡代理地址及其任播地址的接口板就可以接收所有与移动 IPv6 相关的协议报文和数据报文并上交主控进行处理。

在 ICMP 协议处理过程中,需要调用移动 IPv6 模块的 ICMP 处理子模块,主要是针对移动 IPv6 家乡代理地址发现和移动前缀发现消息处理。而 IPv6-in-IPv6 隧道协议也要配合移动 IPv6 模块将移动节点通过家乡代理发往通信对端的数据报文和部分协议报文(如 HOTI、COTI 等)进行解封装处理,再由转发输出模块输出。

由上述分析可见,实现方案对路由器原有体系结构并不需要做任何调整,仅对相关部件适当增加软件功能和进行正确配置即可,其中包括在主控软件的内核中增加移动 IP 协议处理功能、增加与系统数据维护模块的交互以及对线路接口板进行地址实时配置等。

### 3 功能测试

为了完成该方案的功能测试,先构建如图 3 所示的简单测试环境。其中,MN 是移动节点,CN 是通信对端, $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  是路由器, $R_1$  是具有移动 IPv6 功能的高性能路由器。路由器  $R_1$  的 Eth0 网卡所连接的链路作为家乡链路,家乡链路的网络前缀是  $3ffe:3240:8007:1004::/64$ ,路由器  $R_3$  的 Eth3 网卡所连接的链路作为外地链路,外地链路的网络前缀是  $3ffe:3240:8007:1002::/64$ ,移动节点在这两个链路之间切换,实现移动 IPv6 功能。

在测试中使用的协议分析软件是 Ethereal。其测试

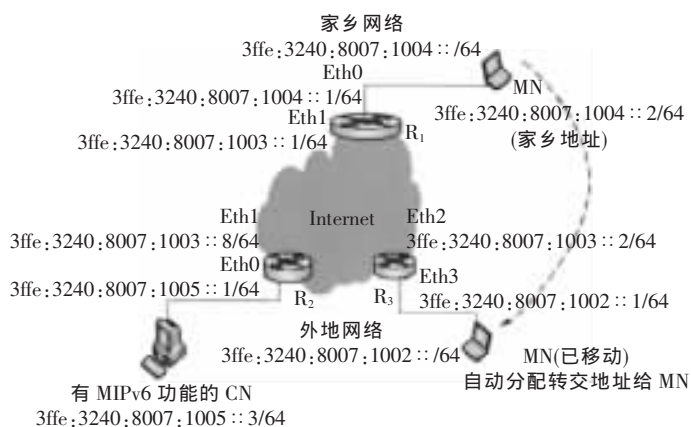


图 3 方案测试环境

过程:首先查看移动节点有没有收到路由通告,如果没有收到,移动 IP 将不能正常工作。当移动节点在外地链路时,通过收到的路由通告确定自己发生了移动,然后自动生成一个转交地址,并通过邻居发现消息确定这个地址的惟一性,接着就向家乡代理发送绑定更新消息;家乡代理收到绑定更新消息后会发送绑定应答消息,移动节点收到绑定应答之后,绑定已建立,此时从通信节点 Ping 移动节点就可以正常收发数据包。

现以家乡代理发给外地链路移动节点的绑定应答消息为例,将 Ethereal 软件抓屏和截获的具体数据包展示,如图 4 所示。通过分析,数据包与 RFC3775 协议规定的报文格式一致,即家乡代理成功地实现了移动节点转交地址的注册。



图 4 软件抓屏和具体数据包

从测试结果可以看出,此方案简单可靠地实现了高性能路由器上移动 IPv6 家乡代理功能。

本文针对高性能路由器中分布式转发、集中式处理的特点,提出了移动 IPv6 在高性能路由器中的实现方案,并对方案进行了功能测试。测试结果表明,该方案简单有效,无需对路由器原有体系结构进行调整,只需通过在主控软件中增加基于 Linux 开放源码的移动 IPv6 协议处理功能以及通过系统数据维护模块、线路接口板的有机配合,即可实现移动 IPv6 的家乡代理功能。

### 参考文献

- 1 Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility support in IPv6. IETF RFC3775, June 2004
- 2 Johnson D, Deering S. Reserved IPv6 subnet anycast addresses. IETF RFC2526, March 1999
- 3 朱培栋. 高性能路由器. 北京: 人民邮电出版社, 2005

(收稿日期: 2006-06-26)