

# 基于 PMIPv6 的移动网络快速切换方案

唐 伟 汤红波 陈 璐

(国家数字交换系统工程技术研究中心 郑州 450002)

**摘 要** 针对移动网络应用在代理移动 IPv6 域中存在切换时延大并且缺乏对域间切换有效支持的问题,提出一种基于 PMIPv6 的移动网络快速切换方案。该方案通过结合二层机制在移动节点完成注册之前进行预切换,提前获取节点信息,建立缓存数据转发隧道,利用扩展的信令消息进行不同域间实体的交互,实现对域间切换的有效支持,并引入双重缓存机制,避免了切换过程中的分组丢失。分析和仿真结果表明,本方案相对传统机制,降低了系统切换时延。

**关键词** 代理移动 IPv6,移动网络,快速切换,切换时延,域间切换

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## PMIPv6 Based Fast Handover Scheme for Network Mobility

TANG Wei TANG Hong-bo CHEN Lu

(National Digital Switching System Engineering & Technological R&D Center, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract** A PMIPv6 based fast handover scheme for Network Mobility was proposed to solve the problem of long handover delay and lack of effective inter-domain handover scheme to support Network Mobility in Proxy Mobile IPv6 Network. With the help of L2 scheme to perform pre-handover before mobile node getting registered, information is acknowledged and tunnel for buffering packets is established in advance. Inter-domain handover is supported by extending signaling to make entities communication in different domain and eliminates the packet loss problem by introducing double buffering scheme. Analysis and simulation show that this proposal can reduce the delay during handover compared to the existing mechanisms.

**Keywords** Proxy mobile IPv6 (PMIPv6), Network mobility (NEMO), Fast handover, Handover delay, Inter-domain handover

随着移动通信技术的迅猛发展,单个移动终端的接入方式已不再适于用户需求,越来越多的无线设备逐渐形成了局域网和车载网等移动网络,这些网络要求以一个相对稳定的整体通过公共接入点访问网络,在运动中从 Internet 上获取信息。IETF 在移动 IPv6 的基础上提出了移动网络基本支持协议(Network Mobility Basic Support, NEMO-BS)<sup>[1]</sup>,该协议在网络物理和拓扑结构发生变化时能够执行整体切换,有效地减少了切换信令的数量,实现了对网络整体移动性的支持。由于 NEMO 是由传统移动 IPv6 扩展而来,它仍是一种基于主机的移动性管理方案,因此需要对移动终端的协议栈进行修改,但这会增加终端的复杂度,而且大量信令在无线链路上传输容易造成切换的不稳定和网路资源开销过大等问题。相比之下,代理移动 IPv6 (Proxy Mobile IPv6, PMIPv6)<sup>[2]</sup> 作为最基本的基于网络的移动性管理协议,不需要终端参与移动性管理过程,降低了用户开销,节省了无线网络资源,便于对网络的管控和优化,因而得到广泛关注。

切换管理是移动性管理的重要组成部分,它和位置管理一起完成对终端的移动性支持,降低切换时延对于满足 IPTV、视频会议等实时通信的需求具有重要意义。Soto 等提

出的 N-PMIPv6<sup>[3]</sup> 机制以及 Yan 等提出的 N-NEMO<sup>[4]</sup> 机制实现了 PMIPv6 域中对 NEMO 的支持,但在切换过程中造成较大的切换时延,并且可能产生分组丢失现象,且这两种方案都不支持 NEMO 的域间(inter-domain)切换。而文献[5-7]仅针对单个移动终端设计了 PMIPv6 协议的域间切换机制,它并不支持移动网络的整体切换。

为此,本文提出一种基于 PMIPv6 的移动网络快速切换方案 (PMIPv6 based Fast Handover Scheme for Network Mobility, FHP-NEMO),该方案根据网络条件分为预先式和反应式,在移动节点完成注册过程之前进行预切换,在切换过程中对数据包进行双重缓存,避免了分组乱序和丢包现象,并且利用扩展的信令消息有效支持了 NEMO 的域间切换,降低了切换时延。分析和仿真结果表明,本方案降低了切换时延,提升了通信效率。

## 1 相关工作

### 1.1 NEMO-BS 和 PMIPv6 协议基本原理

如图 1(a)所示, NEMO 运动到外地网络时,通过接入路由器 (Access Router, AR) 访问 Internet, NEMO-BS 协议将整

到稿日期:2013-01-25 返修日期:2013-04-2 本文受国家 973 计划项目(2012CB315901),国家 863 计划项目(2011AA010604)资助。

唐 伟(1988—),男,硕士生,主要研究方向为移动 IP 技术, E-mail: tangwei8802@163.com; 汤红波(1968—),男,教授,主要研究方向为移动通信技术; 陈 璐(1989—),女,硕士生,主要研究方向为移动通信技术。

个网络的移动性管理功能集中到移动路由器(Mobile Router, MR)上,由 MR 向其家乡代理(Home Agent, HA)注册当前转交地址(Care of Address, CoA),保证家乡地址的全局可达性。MR 与 HA 之间通过发送绑定更新(Binding Update, BU)和绑定确认(Binding Acknowledgement, BA)建立 IPv6-in-IPv6 的双向隧道,负责对来自通信对端(Correspondent Node, CN)的数据包进行解封封装,并转发到 NEMO 内的移动网络节点(Mobile Network Node, MNN)。在 NEMO 发生整体移动的过程中,内部的节点无法感知到接入点的变化,因而可以保证移动的透明性。

如图 1(b)所示,PMIPv6 协议引入两个新的移动性管理实体:本地移动锚点(Local Mobility Anchor, LMA)和移动接入网关(Mobile Access Gateway, MAG)。LMA 类似 NEMO 中的 HA,作为移动节点(Mobile Node, MN)在 PMIPv6 域的拓扑锚点,负责维持 MN 在域内的可达性。MAG 类似 NEMO 中的 AR,可以检测移动节点的接入或离开,代替 MN 完成移动性管理。LMA 与 MAG 之间通过发送代理绑定更新(Proxy Binding Update, PBU)和代理绑定确认(Proxy Binding Acknowledgement, PBA)建立双向隧道。数据包可通过该隧道到达 MAG,再由 MAG 路由至 MN。当 MN 在 MAG 之间移动时,收到由 LMA 分配的同样的家乡网络前缀(Home Network Prefix, HNP),即认为自己仍在家乡网络域内,从而无需重新配置 IP 地址,维持了通信的连续性。

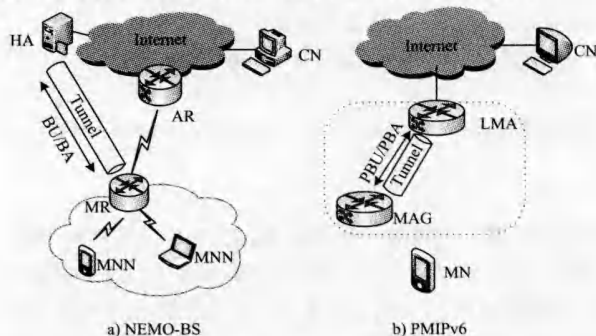


图 1 PMIPv6 和 NEMO-BS 协议的基本原理

## 1.2 现有切换机制

图 2 所示为在 PMIPv6 域中应用 NEMO 的基本场景<sup>[8]</sup>,其由两个 LMA 域组成。每个 LMA 域内由一个 LMA、两个 MAG 构成。PMIPv6 网络中应用 NEMO 的目标是使得 MR 以及 MNN 在不改变 IP 地址的前提下自由地连续通信,保证切换过程对节点的透明性。

当 NEMO 网络从 MAG1 运动到 MAG2 区域时, MAG1 和 MAG2 同属于 LMA1 域,这种切换称为域内(intra-domain)切换;而当 NEMO 网络从 MAG2 运动到 MAG3 区域时,由于 MAG2 和 MAG3 分属于不同的 LMA 域,这种切换称为域间切换。

N-PMIPv6 和 N-NEMO 能够支持 NEMO 的域内切换: N-PMIPv6 机制扩展了 PMIPv6 域,采用嵌套隧道为 NEMO 内的节点转发数据包,增大了隧道开销,同时所有切换信令都是在网络层进行,产生较大的切换时延;N-NEMO 机制采用隧道级联的方法,通过区分全局隧道和本地隧道以及扩展相关信令消息,减小了隧道开销,但是每次 NEMO 整体切换时,都必须进行一次额外的本地 PBU/PBA 交互,进一步增加了

切换时延。

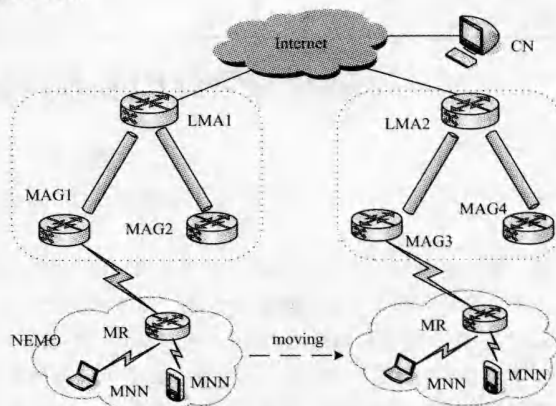


图 2 PMIPv6 域中应用 NEMO 场景

由于 PMIPv6 协议并未给出支持域间切换的方法,目前只能采用传统全局移动性协议 MIPv6 来支持 NEMO 的域间切换,不妨将该方法称为 MP-NEMO。当 NEMO 从 LMA1 域移动到 LMA2 域,与 MAG2 相连的 MR 接口断开后同 MAG3 进行二层连接,完成相关注册过程,MR 重新获得家乡地址并通过重复地址检测(Duplicate Address Detection, DAD)后,才可以重新进行通信,而 DAD 是切换过程中耗时最长的一个部分,会造成极大的切换时延,无法满足实时通信的需求。

## 2 基于 PMIPv6 的 NEMO 快速切换方案

### 2.1 基本介绍

本文采用由 IEEE 802.21<sup>[9]</sup>定义的链路层触发子来描述 NEMO 在 PMIPv6 域中的情形。链路层触发子可看作是链路层通知某一特定事件将要发生或者已经发生的一种抽象。移动性管理实体可以连续不断地获得如无线信号强度等链路层信息。相比网络层路由器通告算法,链路层触发子允许 MR 或 MAG 快速检测连接或者断开。

若 MR 接收的来自当前 MAG 的信号强度低于某一门限值,MR 从链路层向网络层发送链路即将断开(link going down)触发子,通知当前 MAG 断开事件将要发生,该触发子包括将接入 MAG 的标志符。类似地,链路断开(link down)触发子表明 MR 与前 MAG 之间的链路断开事件已经发生,而链路连接(link up)触发子表明 MR 与新 MAG 之间的链路连接事件已经发生。

假定在整个 PMIPv6 域中,各网络提供商事先已实现各移动性管理实体的认证和授权信任关系,因而各实体都可以彼此进行信令交互和数据转发。每个 MAG 都可以获取和维持其他 MAG 的网络前缀和地址信息,并且 MAG 具有数据缓存功能,可以缓存在切换过程中不能正常接收的数据包。

当 NEMO 进入两个 MAG 的无线信号重叠区时,若移动速度和网络质量允许在离开旧链路前完成切换的所有准备工作,称其为预先式快速切换的 NEMO 方案(Predictive FHP-NEMO, PFHP-NEMO),否则称为反应式快速切换的 NEMO 方案(Reactive FHP-NEMO, RFHP-NEMO)。

### 2.2 PFHP-NEMO 的切换流程

#### 2.2.1 域内切换

图 3 所示为 PFHP-NEMO 方案的域内切换场景下信令

流程,具体步骤描述如下:

步骤 1 当链路层产生 link going down 触发子时,MR 发送含有切换目标 MAG2 的标识符 MAG2-ID 和 MR-ID 的 L2 层报告到 MAG1。

步骤 2、3: MAG1 向 MAG2 发送含有 MR-ID、MNN 的 HNP 以及 LMA 地址在内的切换发起消息(Handover Initiate, HI)到 MAG2。MAG2 检查 MR 优先级、自身可利用缓存大小以及 NEMO 内 MNN 数量和运动速率等,向 MAG1 发出包含接收或者拒绝的切换确认消息(Handover Acknowledge, HAck)。如果 HAck 显示为确认接收,MAG1 和 MAG2 更新各自的代理绑定更新列表,一条缓存转发隧道便在 MAG1 和 MAG2 之间建立,隧道两端分别为 MAG1-CoA 和 MAG2-CoA。

步骤 4 当链路层产生 link down 触发子,即 MR 离开 MAG1 的覆盖范围,MAG1 对由 LMA1-MAG1 隧道而来的数据包进行解封装,再通过 MAG1-MAG2 隧道将数据包转发到 MAG2 中进行缓存以避免数据包的丢失,这个阶段的数据包即为旧缓存数据包(Old Buffering Packet, OBP)。

步骤 5、6 当链路层产生 link up 触发子,即 MR 接入 MAG2, MAG2 立即将 OBP 转发至 MR,以有效降低切换延迟。

步骤 7、8 按照 PMIPv6 协议操作过程, MAG2 与 LMA1 进行 PBU/PBA 消息交互以建立转发数据的 LMA1-MAG2 双向隧道,LMA1 为 NEMO 内各个节点更新绑定缓存入口表项。值得注意的是,该 PBU/PBA 消息采用捎带(piggyback)<sup>[10]</sup>方式融合了 MAG1 的注销(DeRegistration) PBU/PBA 消息,也就是说 MAG1 的注销过程以及 MAG2 的注册过程同时进行,减少了整体的信令开销。

步骤 9 LMA1-MAG2 双向隧道建立后,原隧道至 MAG1 的数据包改为路由到 MAG2 处进行缓存。这个阶段的数据包即为新缓存数据包(New Buffering Packet, NBP)。

步骤 10-12 NEMO 在域内移动时,收到由 LMA1 分配的同样 HNP, MNN 无需重新配置地址,保证了切换的透明性。MAG2 按照先转发剩余的 OBP 后转发 NBP 的顺序依次将缓存内的数据包路由到 MR, MR 再转发到 MNN。通过采用双重缓存数据机制有效地避免在切换过程中由于链路变化导致的数据乱序问题发生,减小了分组丢失。

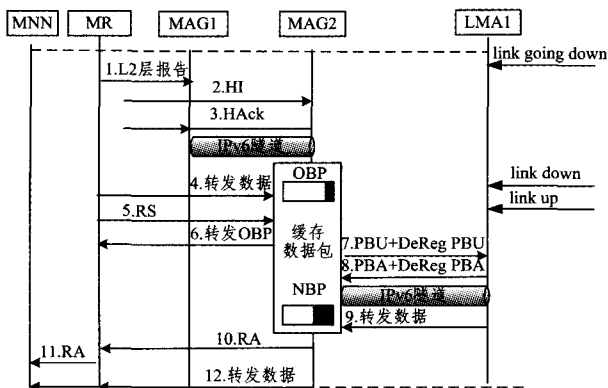


图 3 PFHP-NEMO 方案的域内切换流程

### 2.2.2 域间切换

当 NEMO 从 MAG2 运动到 MAG3,而 MAG2 和 MAG3 关联不同的网络管理域时,造成 MNN 收到不同的 HNP,因而 MNN 需要重新进行地址配置过程,失去了通信的连续性。

在域间切换技术研究中,特别需要考虑如何保持域间切换的通信连续性,减少切换产生的分组丢失。

RFC5949<sup>[11]</sup>对 RFC5568<sup>[12]</sup>中的 HI/HAck 消息进行扩展,增加了表示代理的“P”标志符和表示转发数据的“F”标志符,在 LMA 域内不同 MAG 之间能够建立转发数据的双向隧道,但是并未定义 LMA 域间的 HI/HAck 消息格式。

本文借用原域内 HI/HAck 消息格式,在原消息基础上添加标志符,用来区别 LMA 域间的交互。如图 4 所示,使用原 HI 消息中的保留位,添加一个标志符“T”,表明此消息用于域间切换。图 5 所示为相应扩展了的域间 HAck 消息格式。

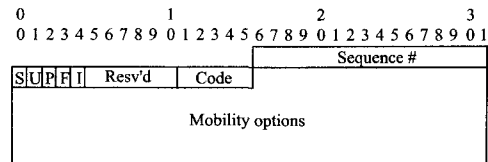


图 4 扩展的域间 HI 消息格式

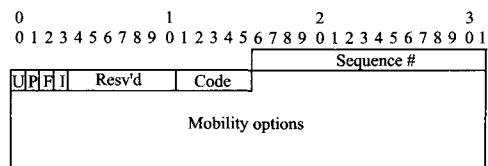


图 5 扩展的域间 HAck 消息格式

图 6 所示为 PFHP-NEMO 方案的域间切换流程,与域内切换的不同之处简单分析如下:

步骤 1-7 MAG2 通过 L2 层报告得知 NEMO 将要进入 LMA2 域中的 MAG3 覆盖范围,与 MAG3 之间采用扩展的 HI/HAck 消息进行交互来建立缓存数据转发隧道,以便当 link down 触发子产生时, MAG2 及时将数据包通过该隧道转发到 MAG3 处进行缓存。LMA1 接收到 MAG2 发来的 HI 消息后,与 LMA2 进行域间 HI/HAck 交互,使得 LMA2 能够在 link up 触发子产生之前收到 MR-ID、MNN 的 HNP 等信息。

步骤 11、12 该过程建立 LMA2-MAG3 双向隧道,由于 LMA2 之前已经知道 NEMO 内节点信息,可将 LMA1 发来的 HNP 通过 PBU/PBA 交互过程发送至 MAG3,这样当 NEMO 接入 MAG3 时接收到不变的 HNP,不会感知网络状态的变化,保证了切换的透明性。

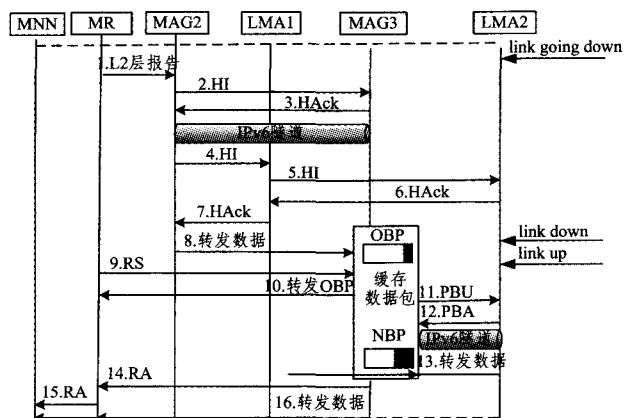


图 6 PFHP-NEMO 方案的域间切换流程

### 2.3 RFHP-NEMO 的切换流程

当 NEMO 运动速度过快或网络条件不佳,无法在接入新

MAG之前完成切换准备工作,将采用 RFHP-NEMO 方案,即当图 3 的步骤 3 和图 6 的步骤 3 中 HAck 包含拒绝切换的消息时,系统将启动反应式快速切换流程。鉴于 RFHP-NEMO 二层链路重新连接之前的情况与 PFHP-NEMO 相类似,下面只介绍 link up 触发子产生后的情况。

### 2.3.1 域内切换

图 7 所示为 RFHP-NEMO 方案的域内切换流程,简单描述如下:

步骤 1-5 链路层产生 link up 触发子后, MAG2 通过二层机制获知 MR 接入并检测到 MR-ID,在进行网络层信令过程之前,向 MAG1 发送包含了 MR-ID 的 HI 消息, MAG1 更新代理绑定更新列表后,向 MAG2 回应包含 NEMO 内节点 HNP 信息的 HAck 消息,建立转发缓存数据的双向隧道。由于 MR 的二层链路实际上已经发生改变,为了减小切换延迟及丢包现象, MAG2 收到 MR 发送的 RS 消息后立即将 OBP 路由到 MR。

步骤 6-11 与 PFHP-NEMO 方案域内切换的步骤 7-12 相同,在此不再赘述。

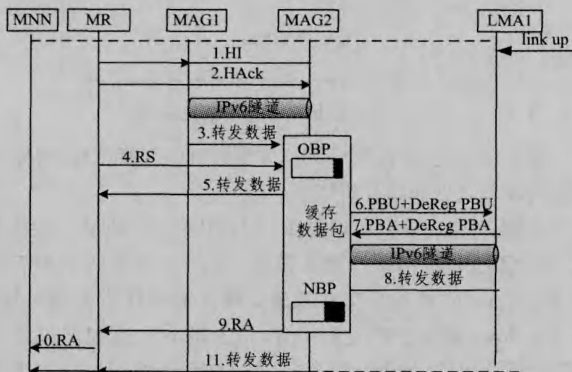


图 7 RFHP-NEMO 方案的域内切换流程

### 2.3.2 域间切换

图 8 所示为 RFHP-NEMO 方案的域间切换流程,与域内切换不同之处简单说明如下:

步骤 1、2 MAG3 通过二层机制感知 MR 接入,与 LMA1 域的 MAG2 采用扩展的域间 HI/HAck 消息进行交互, MAG3 能够获得 NEMO 内各节点 HNP 信息,并在 MAG3 和 LMA2 之间建立数据转发隧道。

步骤 6、7;同 PFHP-NEMO 方案域间切换的步骤 11-16, MAG3 在步骤 2 获得的 HNP 等信息通过 PBU/PBA 交互与 LMA2 建立双向隧道, LMA2 为新接入的 NEMO 内各节点创建绑定缓存入口表项。

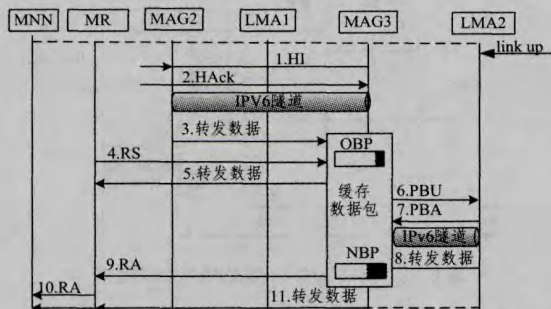


图 8 RFHP-NEMO 方案的域间切换流程

## 3 性能分析和仿真

### 3.1 参数假设

本文中的切换时延指 MR 从前 MAG 链路断开到初次接收新 MAG 转发数据的时间,为二层时延和三层时延之和。二层时延是指 MR 从前 MAG 断开到接入 MAG 的时延,记为  $T_{L2}$ 。三层时延包括运动检测时延  $T_{MD}$ 、重复地址检测时延  $T_{DAD}$ 、注册时延  $T_{REG}$  以及数据传输时延  $T_P$ ,其他参数定义如表 1 所列。为了简化分析过程,本文不考虑相关安全认证产生的时延。

表 1 相关参数的定义

符号	符号定义
$t_{RS}$	MR 向 MAG 发送 RS 的时间
$t_{RA}$	MAG 向 MR 发送 RA 的时间
$t_{BU}$	MR 向 MAG 发送 BU 的时间
$t_{BA}$	MAG 向 MR 发送 BA 的时间
$t_{PBU}$	MAG 向 LMA 发送 PBU 的时间
$t_{PBA}$	LMA 向 MAG 发送 PBA 的时间
$t_{P1}$	LMA 向 MAG 发送数据的时间
$t_{P2}$	MAG 向 MR 发送数据的时间
$t_{HI}$	MAG 向 MAG 发送 HI 的时间
$t_{HAck}$	MAG 向 MAG 发送 HAck 的时间

为了分析过程方便,令 MR 和 MAG 之间传输时间  $t_{RS} = t_{RA} = t_{BU} = t_{BA} = t_{P2} = t_1$ , LMA 和 MAG 之间传输时间  $t_{PBU} = t_{PBA} = t_{P1} = t_2$ , MAG 和 MAG 之间传输时间  $t_{HI} = t_{HAck} = t_3$ ,这里认为两个 MAG 在域内和域间的传输时延差别相对于整体时延可以忽略不计。其中  $t_1$  是在无线链路上传输,而  $t_2$  和  $t_3$  是在有线链路上传输。

本文采用 M/M/1 排队模型来模拟数据服务时延的情形。假设  $t_s$  指移动性管理实体对数据的服务时延,包括对数据包的处理时延和传输时延,且在处理数据时没有数据包丢失现象。数据处理过程服从指数分布,设  $\mu$  为平均数据处理率,数据传输过程服从泊松分布,设  $\lambda$  为平均数据到达率,可得利用率  $\theta = \lambda/\mu$ ,那么服务时延  $t_s = 1/(1-\theta)\mu$ 。设  $t_a$  为无线链路单跳传播时延,  $p$  为无线链路传输失败概率,则有:

$$t_1 = \frac{p h_{MAG-MR} (t_s + t_a)}{1-p} \quad (1)$$

式中,  $h_{MAG-MR}$  为 MAG 与 MR 之间的无线链路跳数。

由于 LMA-MAG 以及 MAG-MAG 之间是在有线链路上传输,可认为不存在传输失败的可能性,则有:

$$t_2 = h_{LMA-MAG} (t_s + t_p) \quad (2)$$

$$t_3 = h_{MAG-MAG} (t_s + t_p) \quad (3)$$

式中,  $h_{LMA-MAG}$  为 LMA 与 MAG 之间的有线链路跳数,  $h_{MAG-MAG}$  为 MAG 与 MAG 之间的有线链路跳数,  $t_p$  为有线链路单跳传播时延。设有线链路距离为  $d$ ,传播速率为  $v$ ,则  $t_p = d/v$ 。

### 3.2 时延分析

以下分别从域内域间两个方面对所提 PFHP-NEMO、RFHP-NEMO 方案性能进行分析;在同一个 LMA 域内分别与 N-PMIPv6、N-NEMO 进行对比,在不同 LMA 域时与 MP-NEMO 进行对比。

#### 3.2.1 域内切换时延分析

如图 3 所示,对于 PFHP-NEMO,在 link up 触发子产生之前, MAG2 已经获知 NEMO 内信息并和 MAG1 建立隧道进行数据缓存,完成切换的所有准备工作,因而不存在  $T_{MD}$  和

$T_{DAD}$ 时延。MR接入MAG2并发送RS消息,即 $T_{REG} = t_{RS}$ ,MAG2立即将OPB转发至MR,即 $T_P = t_{P2}$ ,因此有:

$$T_{RFHP-NEMO}^{域内} = T_{L2} + 2t_1 \quad (4)$$

如图7所示,对于RFHP-NEMO,在link up触发子产生之前无法完成切换的所有准备工作,为尽可能降低切换时延,首先通过HI/HACK信令交互在MAG1和MAG2之间建立双向隧道并且使MAG2得知MR当前CoA,即 $T_{REG} = t_{HI} + t_{HACK} + t_{RS}$ ,MAG1通过隧道向MAG2转发缓存数据,MAG2收到RS消息后立即发送OBP至MR,即 $T_P = t_{P1} + t_{P2}$ ,因此有:

$$T_{PFHP-NEMO}^{域内} = T_{L2} + 2t_1 + 3t_3 \quad (5)$$

N-PMIPv6机制中,MR和MAG之间通过RS/RA交互进行接入状态的确认,MAG和LMA之间通过PBU/PBA完成HNP的分配以及数据传输过程,因此有:

$$T_{N-PMIPv6}^{域内} = T_{L2} + 3t_1 + 3t_2 \quad (6)$$

N-NEMO机制相对于N-PMIPv6,运用隧道分离的方法降低了系统信令开销,但是MR需要与MAG多进行一次本地PBU/PBA信令交互,即:

$$T_{N-NEMO}^{域内} = T_{L2} + 3t_1 + 5t_2 \quad (7)$$

### 3.2.2 域间切换时延分析

分别对图6和图8进行分析,不难计算出PFHP-NEMO的域间切换时延为:

$$T_{PFHP-NEMO}^{域间} = T_{L2} + 2L_1 \quad (8)$$

而RFHP-NEMO方案的域间切换时延为:

$$T_{RFHP-NEMO}^{域间} = T_{L2} + 2t_1 + 3t_3 \quad (9)$$

对于MP-NEMO方案,它使用硬切换的方式进行域间切换,NEMO在离开MAG2重新获得CoA后,必须进行一次DAD过程,而该过程是整个切换过程中时延最大的部分;其他环节时延不难得出:运动检测时延 $T_{MD} = 2t_{PBU} + 2t_{PBA} + t_{RS} + t_{RA}$ ,注册时延 $T_{REG} = t_{BU} + t_{PBU} + t_{PBA} + t_{BA}$ ,传输数据时延 $T_P = t_{P1} + t_{P2}$ ,因此有:

$$T_{MP-NEMO}^{域间} = T_{L2} + T_{DAD} + 5t_1 + 7t_2 \quad (10)$$

### 3.3 性能验证

本文使用NS-2工具进行实验仿真,采用图2所示的网络仿真拓扑,相关参数值设置如表2所列<sup>[13,14]</sup>。

表2 相关参数值

参数	值	参数	值	参数	值
$T_{L2}$	50ms	d	1000m	$h_{MAG-MR}$	1hop
$T_{DAD}$	1000ms	v	$2 * 108m/s$	$h_{LMA-MAG}$	2hops
$t_a$	30ms	$\mu$	450packets/s	$h_{MAG-MAG}$	1hops

图9(a)所示为当 $\lambda = 50\text{packets/s}$ 时,PFHP-NEMO、RFHP-NEMO、N-PMIPv6和N-NEMO方案域内切换时延随无线链路失败概率变化的情况。 $t_p = 1000/2 * 10^8 = 0.005\text{ms}$ ,即有线链路传播时延与系统的整体时延相比可忽略不计。N-NEMO比N-PMIPv6多了一次本地PBU/PBA交互,导致切换时延有所提升。 $p$ 衡量了MAG与MR之间无线链路状况,随着 $p$ 的增加,无线链路上传输时延急剧增加,而PFHP-NEMO和RFHP-NEMO较少地在无线链路上进行切换信令的交互,故当 $p$ 较大的时候,PFHP-NEMO和RFHP-NEMO的性能优势表现得更为明显。

图9(b)所示为当 $p = 0.25$ 时各方案域内切换时延随数据到达率变化的情况。 $\lambda$ 影响服务时延,这时PFHP-NEMO和RFHP-NEMO时延较低的原因是它们避免了在LMA1和

MAG2之间进行切换信令交互。PFHP-NEMO由于在二层链路重新接入之前已经完成所有切换准备工作,故比RFHP-NEMO切换时延更低。

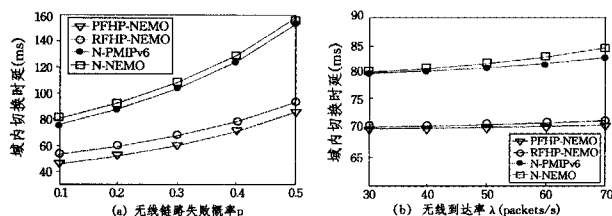


图9 域内切换时延变化图

图10(a)和(b)分别为当 $\lambda = 50\text{packets/s}$ 时,PFHP-NEMO、RFHP-NEMO和MP-NEMO方案域间切换时延随无线链路失败概率变化的情况,以及当 $p = 0.25$ 时各方案域间切换时延随数据到达率变化的情况。相对于传统MP-NEMO方案,PFHP-NEMO、RFHP-NEMO采用快速切换的方法在节点注册之前进行切换准备工作,使得新接入实体提前获取NEMO内节点信息,从而不需要重新配置地址,省去了时延为1000ms的DAD过程,减小了切换时延。

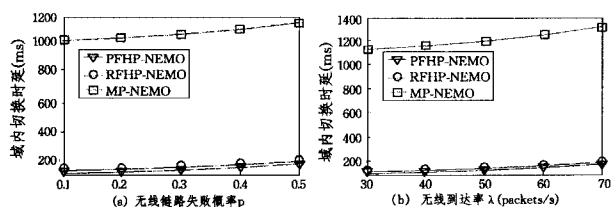


图10 域间切换时延变化图

通过以上分析表明:在link up触发子产生之前,PFHP-NEMO已经完成所有相关切换准备工作,即将接入的新MAG能够提前获知NEMO内节点信息,并且缓存数据转发隧道已经建立。在link down触发子产生之后,MAG可以立即将缓存数据包OBP转发至MR,保证了会话的连续可达,故适用于网络条件良好时的NEMO低速运动场景。而RFHP-NEMO在节点注册之前不能完成所有切换准备工作,只能在link up触发后通过建立缓存数据隧道才能转发OBP,适用于网络条件不佳时的NEMO中高速运动场景。

**结束语** 鉴于现有PMIPv6域中支持NEMO的机制切换时延较大并且缺乏对域间切换的有效支持,本文提出了一种基于PMIPv6的移动网络快速切换方案。该方案根据网络情况分别采用预先式和反应式,在节点完成注册之前采用二层机制提前进行预切换,同时设计一种双重缓存机制,以减少系统数据乱序现象及丢包率。分析表明,该方案在切换时延方面优于现有机制,优化了网络性能。

### 参考文献

- [1] Devarapalli V, Wakikawa R, Petrescu A, et al. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol [S]. IETF RFC 3963. 2005
- [2] Gundavelli S, Leung K, De varapalli V. Proxy Mobile IPv6 [S]. IETF RFC 5213. 2008
- [3] Soto I, Bernardos C J, Calderon M, et al. NEMO-Enabled Localized Mobility Support for Internet Access in Automotive Scenarios [J]. IEEE Communication Magazine, 2009, 47(5): 152-159

(下转第51页)

19%以上。

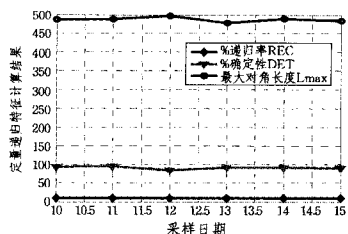


图4 样本序列网络总出口量序列的定量递归特征提取值

采用 REC 定量递归分析特征提取的方法,在多维相空间中,对网络流量序列进行流量异常监测,全段样本网络流量序列时域抽取波形如图 5 所示,引入 REC 定量递归分析特征的网络流量异常谱递归图结果如图 6 所示。从图 6 可以看出,网络流量在流量序列出现异常特征时将会以异常光谱特征形式的点显示于递归图中,计算异常谱的点递归率等定量递归分析特征,得到准确的异常数据监测结果。从计算流程可知,采用本文方法无需引入网络流量序列的初始特征和先验信息,尤其适合于大数据量时间序列和非平稳数据的检测和分析。仿真结果表明,本文提出的网络流量监测算法和模型能有效检测出网络流量序列的隐藏异常流量特征,异常特征监测频谱清晰可见,采用蒙特卡洛算法计算得到的对异常特征预测预报监测的准确率为 99.7%,比采用传统的其它非线性递归特征提高了 13.2%,展示了算法在网络流量和非平稳数据序列分析中的优越性能。

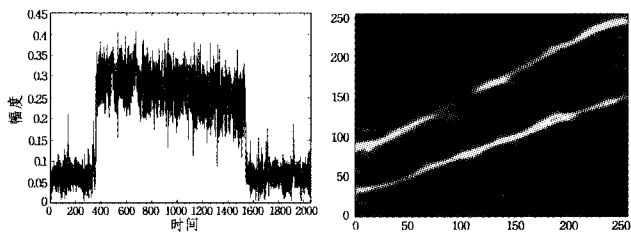


图5 流量序列样本时域抽取 图6 基于 REC 特征分析的网络流量序列特征监测

**结束语** 本文使用非线性时间序列分析的方法对网络流量序列进行相空间重构和定量递归 REC 特征提取及异常监测研究,利用递归图和定量递归分析的方法,检测出网络总出口流量的确定性,通过递归图确定性分析和检验,证明网络流量序列是可预测评估的;提出了 REC 递归率这一新的非线性

定量递归分析特征量,并以改特征量作为监测网络流量序列的数据支撑。仿真分析得出结论:(1)网络流量序列的定量递归特征具有较强的稳定性和自相似性,本文提出的递归率特征监测网络流量序列比较稳定准确,精度较传统特征统计方法提高 19%以上;(2)本文提出的时间序列分析和监测方法无需引入网络流量序列的初始特征和先验信息,尤其适合于大数据量时间序列和非平稳数据的检测和分析;(3)采用 REC 递归率特征对异常流量序列预测预报监测的准确率为 99.7%,比采用传统的其它非线性递归特征提高了 13.2%。研究成果展示了算法在网络流量和非平稳数据序列分析中的优越性能,能有效应用于网络数据处理和网络安全管理领域。

## 参考文献

- [1] 闫源江,胡光波,周勇. 舰船辐射噪声的非线性和确定性检验[J]. 舰船电子工程,2010,30(10):150-153
- [2] Stan C, Cristescu C P, Dimitriu D G. Analysis of the intermittent behavior in a low-temperature discharge plasma by recurrence plot quantification[J]. Physics of Plasmas, 2010, 17(4): 1-6
- [3] Ian T P, James W S, Sadasivam S, et al. Attractor structure discriminates sleep states: Recurrence plot analysis applied to infant breathing patterns [J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2010, 57(5): 1108-1116
- [4] 朱凡, 吴敏. 基于定量递归分析的校园网流量特性分析[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(6): 275-281
- [5] 李超顺, 周建中, 方仍存, 等. 基于混沌优化的模糊聚类分析方法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(10): 2977-2980
- [6] 汪中才, 黎永碧. 基于数据挖掘的入侵检测系统研究[J]. 科技通报, 2012, 28(8): 150-152
- [7] Kousik G, Basabi B, Roy C A. Using recurrence plot analysis to distinguish between endogenous and exogenous stock market crashes[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2010, 389(9): 1874-1882
- [8] 赵岩, 何鹏. 网络流量的非线性组合预测模型应用研究[J]. 计算机仿真, 2012, 6(29): 140-144
- [9] 张宾, 杨家海, 吴建平. Internet 流量模型分析与评述[J]. 软件学报, 2011, 22(1): 115-131
- [10] 丁玲, 赵小刚. 改进 BP 神经网络用于入侵检测[J]. 微计算机信息, 2012, 28(3): 131-134

(上接第 47 页)

- [4] 延志伟. 基于 MIPv6/PMIPv6 的移动性支持关键技术研究[D]. 北京:北京交通大学, 2011
- [5] 袁琦凯, 张奇支. 基于瞬间绑定的 PMIPv6 协议的域间切换方案[J]. 华南师范大学学报:自然科学版, 2012, 44(2): 58-62
- [6] 周华春, 张宏科, 秦雅娟. 一种基于代理移动 IPv6 的全局移动性管理结构和协议[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(12): 2999-3004
- [7] AL-Hashimi H N, Baka K A, Ghafoor K Z. Inter-domain Proxy Mobile IPv6 based Vehicular Network[J]. Network Protocols and Algorithms, 2010, 2(4): 74-85
- [8] Lee J-H, Han B-J, et al. Network Mobility Basic Support within Proxy Mobile IPv6: scenarios and analysis[S]. IETF draft-jhlee-netlmm-nemo-scenarios-01. 2008
- [9] IEEE, Std P802. 21, IEEE standard for local and metropolitan area networks media independent handover services[S]. 2008

- [10] Im I, Jeong J. Security-Effective Fast Authentication Scheme for PMIPv6-based NEMO with Global Mobility Support[C]// IC-DIPC. 2012: 90-95
- [11] Yokota H, Chowdhury K, Koodli R, et al. Fast Handover for Proxy Mobile IPv6[S]. IETF RFC 5949. 2010
- [12] Koodli R, et al. Mobile IPv6 Fast Handovers [S]. IETF RFC 5568. 2009
- [13] Lee K, Seo W, Cho Y, et al. Inter-domain Handover Scheme Using an Intermediate Mobile Access Gateway for Seamless Service in Vehicular Network[J]. International Journal of Communication Systems, 2010, 23: 1127-1144
- [14] Mussabbir Q B, Yao Wen-bing, Niu Ze-yun, et al. Optimized FMIPv6 using IEEE 802. 21 MIH Services in Vehicular Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Special Issue on Vehicular Communications Networks, 2007, 56(6): 3397-3407