

一种基于 HIP 的移动性管理机制

邢延霞, 沈苏彬, 毛燕琴

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 主机标识协议 (Host Identity Protocol, HIP) 是一种综合解决主机移动、多宿主及安全问题的有效方案, 为了解决现有 HIP 机制在处理主机移动时存在切换延迟大、丢包率高等问题, 提出了一种高效的基于 HIP 的移动性管理机制。该机制在基于 HIP 的层次化设计模型基础上, 采用 FMIPv6 中的快速切换思想, 引入了链路层触发机制、预先绑定更新机制和分组缓存转发机制。有效解决了移动主机在不同区域范围内的切换问题, 降低了切换延迟和丢包率, 改善了移动主机的切换性能, 实现了透明、平滑、快速的网络切换。

关键词: 主机标识协议; 移动性管理; 切换优化

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)11-0086-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.11.022

A Mobile Management Mechanism Based on HIP

XING Yan-xia, SHEN Su-bin, MAO Yan-qin

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Host Identity Protocol (HIP) is a comprehensive solution to solve mobility, multi-homing and secure issues efficiently. But there are some problems for current HIP, such as long time handoff latency and large packets loss. In order to solve these problems, an efficient mobility management mechanism based on HIP is proposed. The mechanism uses the idea of rapid handover in FMIPv6, introduces the link triggered mechanism, early updating mechanism and packet retransmission mechanism. The new mechanism solves the handover problem in the different area for the mobile host, reducing handoff latency and packet loss rate and improving the handoff performance, which achieves a transparent, smooth and fast handover.

Key words: Host Identity Protocol (HIP); mobility management; handover optimization

0 引言

平滑、安全、有效的移动切换是下一代异质 IP 网络移动性管理发展的重要目标^[1]。主机移动为网络通信带来了技术上的挑战,如会话连续性、分组丢失及安全威胁等,如何有效地解决上述问题,提高主机的切换性能成为影响下一代移动通信发展的关键因素。国内外学者提出了许多移动性管理方案,其中以基于移动 IP 的切换优化方案为主,如层次型移动 IPv6 (Hierarchical Mobile IPv6, HMIPv6)^[2]、快速移动 IPv6 (Fast Handover for Mobile IPv6, FMIPv6)^[3]以及两种技术相结合快速层次移动 IPv6 (Fast Handover for Hierarchical Mobile IPv6, F-HMIPv6)^[4]。尽管如此,在移动 IP 技术中,IP 地址同时担任主机身份标识和位

置标识双重角色,不能从根本上解决主机移动性问题。HIP^[5]引入了一个新的名字空间,从根本上解决了主机身份标识与位置标识分离的问题,但是,目前基于 HIP 的主机移动管理技术研究尚不完善,存在切换时延大、丢包率高、信令开销大等问题^[6-8]。针对以上问题,文中提出了一种改进的基于 HIP 的移动性管理机制,可以降低主机移动的切换时延和丢包率,同时可以降低骨干网上的信令开销。

1 HIP 概述

HIP 在网络层和传送层之间插入了一个新的协议层-主机标识层 (Host Identity Layer, HIL),并且引入了加密的主机标识标签 (Host Identifier, HI) 作为主机的

收稿日期: 2013-01-20

修回日期: 2013-05-06

网络出版时间: 2013-08-28

基金项目: 国家“863”高技术发展计划项目 (2006AA01Z208); 江苏省科技支撑计划项目 (BE2009157)

作者简介: 邢延霞 (1986-), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 研究方向为计算机网络; 沈苏彬, 研究员, 博士生导师, CCF 会员, 研究方向为计算机网络、下一代电信网、网络安全、嵌入式软件、网络计算。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130828.0837.025.html>

身份标识,具有全局唯一性,彻底剥离了 IP 地址的双重属性。在 HIP 中,IP 地址只作为节点的位置标识,用于网络层的分组路由和转发;HI 作为节点的身份标识,用来建立传送层连接。当主机移动导致 IP 地址改变时,HI 保持不变,新的 IP 地址只需要在主机标识层重新映射即可,主机移动对于上层协议保持透明,从而保证了正在进行的通信连接不被中断。

为了支持主机移动性,IETF 提出在 HIP 中引入一个新的功能实体—汇聚服务器 (Rendezvous Server, RVS)^[9],RVS 中总是存储 MN 的最新 IP 地址信息。为了支持 RVS 机制,IETF 对 DNS 进行扩展,使其能够存储 MN (Mobile Node) 的域名、HIT 以及对应的 RVS 的相关信息^[10]。如果通信对端 (Correspondent Node, CN) 想要与 MN 进行通信,CN 发送 I1 报文触发 HIP 基本交换过程,由于 MN 是移动主机,需要通过 RVS 实体将 I1 报文转发给 MN,后续控制报文 R1、I2、R2 将直接在双方之间传送,不再需要 RVS 参与。当正在通信的 MN 的 IP 地址发生改变时,MN 与通信对方需要执行一个三次握手的 UPDATE^[9] 报文交换过程来实现相应的状态更新操作。

2 基于 HIP 的移动性管理机制

2.1 系统结构

该方案中采用层次化设计思想,将 HIP 中的 RVS 服务器设计成三层结构^[6-8],除了原 HIP 中的 RVS 服务器以外,还引入了两个新的移动管理实体:本地汇聚服务器 (Local Rendezvous Server, LRVS) 和子网汇聚服务器 (Subnet Rendezvous Server, SRVS)。LRVS 和 SRVS 实体都在 RVS 基础上扩展了路由功能。系统的整体结构如图 1 所示。

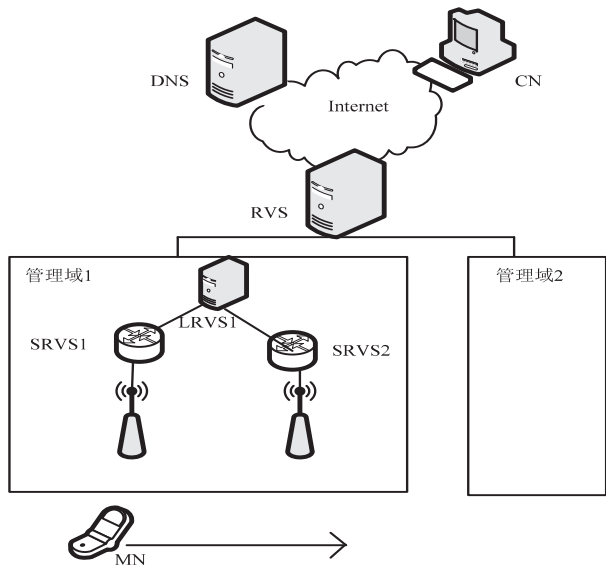


图 1 系统结构设计

基于 RVS 的层次化设计模型在逻辑上将互联网

划分成多个管理域,即微移动域。每个管理域中设置一个 LRVS 实体,负责维护本域中移动主机的 HIT 与对应 SRVS 的 IP 地址映射关系。每个 LRVS 管理域又包含多个子网域,每个子网域中设置一个 SRVS 实体,负责管理移动主机 HIT 和 IP 地址映射关系。每个进入子网域的移动主机,都需要在管理该子网的 SRVS 上注册自己的 HIT 和 IP 地址信息。该机制对于区域的构成没有严格限制,网络管理员可以根据实际需要灵活划分。

在层次化的 HIP 系统结构中,当移动主机在管理域内移动时,只需要将自己的位置变化信息通知给所属域的 SRVS 和 LRVS,而不需要向远方的 RVS 和所有 CN 发送绑定更新 (Binding Update, BU) 消息。移动主机在域内的位置变化对于域外主机保持透明,从而减少了骨干网上移动主机切换过程中 BU 消息的交互数量,减小了切换延迟。

2.2 移动主机注册过程

MN 初次进入网络时,将申请接入本地链路。本地链路上的接入路由器定期广播路由通告消息 (Router Advertisement, RA), RA 消息中包含了管理本域的 SRVS 的 HIT 和 IP 地址信息以及子网前缀信息。MN 收到 RA 通告消息后,提取接入网的网络前缀信息,然后依据这些信息配置 IP 地址。MN 完成 IP 地址配置后,开始执行注册操作:

- 1) MN 把自己的 HIT 和 IP 地址映射关系 $\langle HIT_{MN}, IP_{MN} \rangle$ 注册到本地子网的 SRVS 中。
- 2) MN 在对应 SRVS 上完成注册以后,通过该 SRVS 在本管理域的 LRVS 中进行注册,LRVS 中保存的是 MN 的 HIT 和 SRVS 的 IP 地址绑定信息 $\langle HIT_{MN}, IP_{SRVS} \rangle$ 。
- 3) MN 在其管理域的 LRVS 上完成注册以后,通过该 LRVS 实体在相应 RVS 中进行注册,RVS 中记录的是 MN 的 HIT 和 LRVS 的 IP 地址绑定信息 $\langle HIT_{MN}, IP_{LRVS} \rangle$ 。
- 4) MN 在 RVS 上完成注册以后,再通过该 RVS 向 DNS 发起注册。其中扩展的 DNS 中保存了两个映射关系:一个是 MN 的域名、HIT 和 RVS 的域名的映射关系,一个是 RVS 域名和 RVS IP 地址的映射关系。各网络实体中存储的主要数据结构如表 1 所示。

表 1 实体数据结构

实体	注册信息		
	HIT _{MN}	域名 _{MN}	域名 _{RVS}
DNS	域名 _{RVS}		IP _{RVS}
RVS	HIT _{MN}		IP _{LRVS}
LRVS	HIT _{MN}		IP _{SRVS}
SRVS	HIT _{MN}		IP _{MN}

2.3 通信连接建立过程

CN 在和 MN 进行数据通信之前,双方之间必须先执行 HIP 基本交换过程,HIP 基本交换是一个加密的四次握手过程,主要由 I1、R1、I2、R2 报文交互完成,其目的是在两台通信主机之间建立端到端的 IPsec ESP 安全连接以增强数据传输的安全性。在层次型 HIP 结构基础上,CN 和 MN 的基本交换过程如图 2 所示。

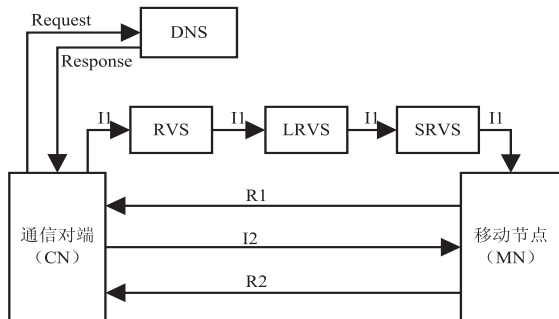


图 2 改进的 HIP 基本交换

CN 根据 MN 的域名查询 DNS,获取与 MN 对应的 RVS 的 IP 地址信息,然后,向该 RVS 发送 I1 报文,RVS 收到该报文后将其转发给与 MN 对应的 LRVS,LRVS 再将 I1 报文转发给 SRVS,最终 SRVS 将 I1 发送给 MN。MN 收到 I1 后,验证 I1 的合法性并向 CN 发送回复报文,后续控制报文 R1、I2、R2 直接在双方之间传送,不再需要上述 RVS 实体的转发。HIP 基本交换过程完成后,通信主机间就可以进行安全的数据传送。

2.4 快速切换管理

在层次化的 HIP 设计模型中,移动主机切换分为域内切换和域间切换。当移动主机在同一 LRVS 管理域内的不同子网间改变其接入位置时发生域内切换。当移动主机在不同的 LRVS 管理域间移动时发生域间切换。为了实现快速切换,新机制引入链路层触发机制、预先绑定更新机制和分组缓存转发机制。另外,新方案在实体的资源记录中新增加了一个状态字段,“Active”代表记录中的字段是有效的,“Inactive”说明记录中的字段还处于无效状态。

下面针对 MN 的域内切换情形详细介绍快速切换的执行流程,假设 MN 在各服务器上已经完成了注册,并且与 CN 之间建立了通信连接,当 MN 和 CN 正在进行数据传送时,MN 发生移动:从子网域 oSRVS 向新子网域 nSRVS 移动 (oSRVS 和 nSRVS 同属于一个 LRVS 管理域)。详细域内切换过程如图 3 所示。

2.4.1 链路层触发

链路层触发是指当移动主机处于无线信号重叠区但还未断开与原链路的二层连接时,提前预测链路层可能发生的切换,同时获取切换进入的下一子网的相

关网络信息。具体操作是通过比较新接入点 AP 的信号强度和预先设定的门限值 ρ 来判断 MN 即将进入的下一子网。在该设计方案中详细的实现过程如下所示:

1) 移动主机位于当前子网服务器 oSRVS 所在链路时,通过链路层触发机制,检测到新的接入点 nAP。比较新接入点的信号强度 P_n 和预先设置的门限值 ρ ,如果 $P_n > \rho$,则移动主机向 oSRVS 发送“路由器请求代理通告 (RtSolPr) 消息”,查询与 nAP 对应的子网服务器 nSRVS 的相关信息。设置门限值的作用是防止移动主机进行盲目切换。

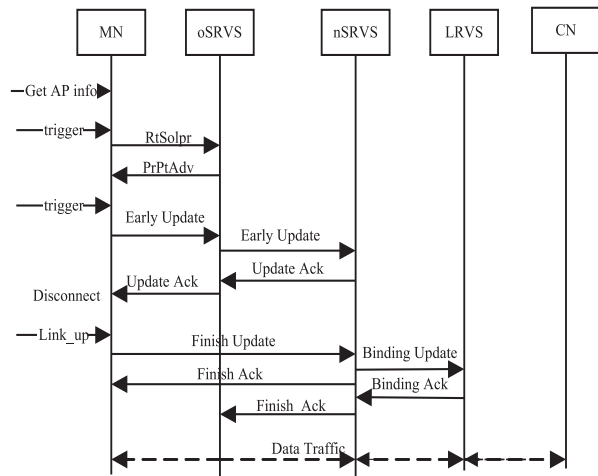


图 3 域内切换

2) oSRVS 向移动主机发送“代理路由器通告 (PrRtAdv) 消息”,该消息中提供了与新接入点对应的 nSRVS 的子网前缀以及 IP 地址等信息。

3) 移动主机收到 PrRtAdv 消息后,在自己的资源记录中增加一条新记录 $\langle \text{HIT}_{\text{nSRVS}}, \text{IP}_{\text{nSRVS}}, \text{Inactive} \rangle$,然后移动主机提取新子网的网络前缀信息,并根据这些信息形成新子网使用的 IP 地址 (nIP),记录在缓存中,标记为 InActive。

4) nIP 地址形成后,移动主机开始执行预先绑定过程。

链路层触发机制完成以后,MN 的后台数据库中存储的资源记录有 $\langle \text{HIT}_{\text{oSRVS}}, \text{IP}_{\text{oSRVS}}, \text{Active} \rangle$ 和 $\langle \text{HIT}_{\text{nSRVS}}, \text{IP}_{\text{nSRVS}}, \text{Inactive} \rangle$;oSRVS 的后台数据库中存储的资源记录有 $\langle \text{HIT}_{\text{MN}}, \text{IP}_{\text{MN}}, \text{Active} \rangle$ 和 $\langle \text{HIT}_{\text{MN}}, \text{IP}_{\text{nSRVS}}, \text{Inactive} \rangle$ 。

2.4.2 预先绑定更新

链路层触发阶段完成以后,移动主机获取了将要切换的网络信息,为了实现快速网络切换,在移动主机没有完成第二层切换的情况下,就开启第三层切换的部分操作,进入预先绑定更新阶段。预先绑定更新是指当移动主机和 oSRVS 还保持着链路层连接时,就发起网络层切换,具体过程如下:

1) 移动主机向 oSRVS 发送预先绑定更新消息 (Early Update, EU), 该消息中包含了移动主机的身份标识 (HIT) 和在新子网中使用的地址 nIP 以及该记录的状态信息。

2) oSRVS 收到 EU 消息后, 建立它到 nSRVS 的分组转发隧道, 并且将该消息转发给新子网服务器 nSRVS。

3) nSRVS 收到 EU 消息后, 首先对该消息中的 nIP 进行重复性地址检测, 然后向 oSRVS 发送回复确认更新报文 (Update Ack, UA)。如果 nIP 重复性地址检测没有通过, nSRVS 会在确认报文中为 MN 提供一个新的可用的 nIP。重复性地址检测完成后, nSRVS 的后台数据库中建立与 MN 相关的资源记录 $\langle \text{HIT}_{\text{MN}}, \text{nIP}_{\text{MN}}, \text{InActive} \rangle$ 。

4) oSRVS 收到确认更新报文 UA 后, 提取该报文中的 nIP 地址并同自己资源记录中的 IP 地址进行比较, 如果二者相同, 则不做任何处理, 如果二者不同, 则将新获取的 nIP 地址写入资源记录中, 同时将 Update ACK 消息转发给 MN。

2.4.3 网络层切换

如果在上述两个阶段完成后, MN 确实向着预测的新子网继续移动, 那么 MN 必然断开与原链路的连接, 执行网络层切换。为了减少链路中断期间造成的分组丢失现象, 新方案引入了分组缓存转发机制, 在 oSRVS 上设置缓存用来暂存发往 MN 的数据分组。MN 发生网络层切换的详细步骤如下所示:

1) MN 进入新子网, 获取新子网中广播的路由器通告消息, 它意识到自己切换到了新链路, 立即向新子网服务器 nSRVS 发送绑定更新完成 (Finish Update, FU) 报文, 告知 nSRVS 其资源记录中的 nIP 地址可以投入使用。

2) nSRVS 收到 FU 消息后, 将资源记录中的新 IP 地址状态改为 Active, 向 oSRVS 和 MN 发送绑定完成确认消息 (Finish Ack, FA), 向 LRVs 发送绑定更新消息 (BU)。今后发往 MN 的数据分组将直接从 nSRVS 获取服务。

3) oSRVS 收到 FA 消息后, 将缓存中的数据分组转发给 nSRVS, 删除 MN 的所有资源记录。

4) MN 收到 FA 消息后, 将 nSRVS 的记录状态改为 Active, 删除与 oSRVS 相关的资源记录。

5) LRVs 收到 BU 消息后, 更改其资源记录中与 MN 相关的 oSRVS 服务器为 nSRVS。然后, 向 nSRVS 发送绑定确认消息 (Binding Ack, BA)。至此, MN 的整个域内切换过程结束。

2.4.4 回退处理

在预先绑定更新过程中, MN 可能会发生“回退移

动”, 即 MN 在切换未完成前却返回了原来的 oSRVS 管理区域。“回退移动”会导致 MN 在相应实体上新增加的记录不能被使用, 但是这些记录却占用实体的内存空间, 从而造成资源浪费。

为了解决上述问题, 文中引入了一个“回退机制”, 其实现原理是在预先绑定更新过程开始时设置了一个 Timer 时钟, Timer 时间到达以后, 重新比较新接入点的信号强度 P_n 和门限值 ρ , 如果 $P_n < \rho$, 说明移动主机发生了“回退移动”。在这种情况下, MN 向子网服务器 oSRVS 和 nSRVS 发送回退 (Roll Back, RB) 消息, 通知它们删除各自数据库中 with MN 相关的新建立的记录, 此过程可以通过查找状态字段来实现, 将“Inactive”对应的那条记录删除即可。另外, MN 也将自己数据库中新增加的条目 $\langle \text{HIT}_{\text{nSRVS}}, \text{IP}_{\text{nSRVS}}, \text{Inactive} \rangle$ 删除。经过回退机制处理, MN 又恢复到了链路层触发前的状态。

3 性能分析

3.1 切换时延分析

(1) 原 HIP 机制切换时延分析。

MN 在不同子网间进行切换时, 首先执行链路层切换, 然后进行网络层切换, 包括移动检测、新子网 IP 地址配置和位置更新, 因此 MN 切换时所产生的总延迟可以用公式 (2) 描述。其中, T_{Link} 为链路层切换时间, T_{Detect} 为移动检测时间, T_{Addr} 为 MN 配置新子网中的 IP 地址时间, T_{Update} 为 MN 和 CN 之间通过三次握手进行位置更新的时间, 包括各报文的传输时延 T_{Tra} 以及重复地址检测时延 T_{Dad} 。在计算切换时延时暂不考虑节点的处理延迟。

$$T_{\text{Update}} = T_{\text{Tra}} + T_{\text{Dad}} \quad (1)$$

$$T_{\text{oHIP}} = T_{\text{Link}} + T_{\text{Detect}} + T_{\text{Addr}} + T_{\text{Update}} \quad (2)$$

(2) 新机制切换时延分析。

通过引入链路层触发机制和预先绑定更新机制, MN 在二层切换前预先获取新接入链路的网络信息, 消除了新 IP 地址配置和重复地址检测等操作所造成的延迟。对于预先绑定式切换, 其切换延迟如公式 (3) 所示。其中 T_{Link} 为链路层切换时间, T_{Detect} 为移动检测延迟, T_{Fu} 为 MN 向 nSRVS 发送 FU 报文到接收到 nSRVS 回复的 FA 报文的时间。由于 MN 和 nSRVS 在同一链路上, 所以 T_{Fu} 一般只有几 ~ 几十毫秒。另外, 由于使用链路层触发, T_{Detect} 时间很短可以忽略不计。

$$T_{\text{nHIP}} = T_{\text{link}} + T_{\text{Detect}} + T_{\text{Fu}} \quad (3)$$

新机制与原机制相比减少了移动检测时间、新 IP 配置时间和重复地址检测时间, 同时在层次化结构中, 域内切换只需要跟本地链路的 nSRVS 交互, 减少了信令报文的传输时延。综上所述, 新机制的切换时延总

和 T_{nhp} 要远远小于原 HIP 机制的切换时延总和 T_{ohp} 。

3.2 丢包率分析

在原 HIP 机制中,移动主机的切换时延较大,通常会造成通信连接中断几秒甚至几十秒,造成严重的数据分组丢失。新机制在层次化结构设计基础上又引入了快速切换技术,大大减少了 MN 的切换延迟,进而降低了丢包率。除此之外,在 MN 切换过程中新机制还使用了分组缓存转发技术,进一步减少了数据包丢失,基本实现了 MN 的平滑切换。

3.3 信令开销分析

新机制采用层次化设计思想,将主机移动划分为域内移动和域间移动两种情况,大大减少了主机域内切换时发往域外的 BU 消息数量。但是,新机制中引入链路层触发机制和预先绑定更新机制加快移动主机切换过程,而这种快速切换的实现是以增加 MN 的切换相关信令开销为代价的。

4 结束语

文中设计了一种基于 HIP 的切换优化机制。该机制采用层次化设计思想和快速切换思想,在移动主机发生网络层切换之前预先更新各实体的绑定关系,为三层切换做好准备。同时新机制在 SRVS 服务器中增加了缓存机制,减少切换过程中的分组丢失,降低了丢包率。性能分析表明,新机制能够有效地减少移动主机的切换延迟和丢包率,具有更好的切换性能,能够满

足实时性业务发展需求。

参考文献:

- [1] Nikander P, Gurtov A, Henderson T R. Host identity protocol (HIP): connectivity, mobility, multi-homing, security, and privacy over IPv4 and IPv6 networks[J]. IEEE communications surveys & tutorials, 2010, 12(2): 186-204.
- [2] Soliman H, Catelluccia C, Malki K E. Hierarchical mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)[S]. IETF RFC 4140, 2005.
- [3] Koodli R. Mobile IPv6 fast handovers[S]. IETF RFC 5268, 2008.
- [4] 杨 怡. 面向分层移动 IPv6 的高效快速切换方案[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(10): 225-228.
- [5] 咎风彪, 徐明伟, 吴建平. 主机标识协议 (HIP) 研究综述[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(2): 224-228.
- [6] 杨水银, 周华春, 张宏科, 等. 基于动态层次位置管理的 HIP 移动性支持机制[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(7): 1615-1618.
- [7] 刘星宇. 一种改进的 HIP 移动管理方案[J]. 西安邮电学院学报, 2011, 16(1): 36-39.
- [8] 杨水银. 主机标识协议的移动性管理研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [9] Laganier J, Eggert L. Host identity protocol (HIP) rendezvous extension[S]. IETF RFC 5203, 2012.
- [10] Nikander P, Laganier J. Host identity protocol domain name system extension[S]. IETF RFC 5205, 2012.
- [3] Blanes I, Serra-Sagrista J. Cost and scalability improvements to the Karhunen-Loeve transform for remote-sensing image coding[J]. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2010, 48(7): 2854-2863.
- [4] Blanes I, Serra-Sagrista J. Pairwise orthogonal transform for spectral image coding[J]. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2011, 49(3): 961-972.
- [5] Abrardo A, Barni M, Magli E, et al. Error-resilient and low-complexity onboard lossless compression of hyperspectral images by means of distributed source coding[J]. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2010, 48(4): 1892-1904.
- [6] 粘永健, 万建伟, 何 密, 等. 基于分布式信源编码的高光谱图像无损压缩研究进展[J]. 宇航学报, 2012, 33(7): 860-869.
- [7] 粘永健, 辛 勤, 汤 毅, 等. 基于多波段预测的高光谱图像分布式无损压缩[J]. 光学精密工程, 2012, 20(4): 906-912.
- [8] Nian Y J, Wan J W, Tang Y, et al. Near lossless compression of hyperspectral images based on distributed source coding[J]. Science China: information sciences, 2012, 55(11): 2646-2655.
- [9] 张 兵, 高连如. 高光谱图像分类与目标检测[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [10] 汤 毅, 辛 勤, 李 纲, 等. 基于内容的高光谱图像无损压缩研究[J]. 光学精密工程, 2012, 20(3): 668-674.
- [11] 粘永健, 苏令华, 孙 蕾, 等. 基于聚类的高光谱图像无损压缩研究[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(6): 1271-1274.
- [12] Mielikainen J, Huang B. Lossless compression of hyperspectral images using clustered linear prediction with adaptive prediction length[J]. IEEE geoscience and remote sensing letters, 2012, 9(6): 1118-1121.

(上接第 85 页)

一种基于HIP的移动性管理机制

作者：[邢延霞](#)，[沈苏彬](#)，[毛燕琴](#)，[XING Yan-xia](#)，[SHEN Su-bin](#)，[MAO Yan-qin](#)

作者单位：[南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

Computer Technology and Development

ISTIC

年，卷(期)：

2013(11)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201311023.aspx