

网络移动支持研究^{*}

蔡一兵¹ 王春峰¹ 孙利民² 李忠诚¹

(中科院计算技术研究所 北京 100080)¹ (中科院软件研究所 北京 100080)²

摘要 未来移动互联网将由移动节点和移动网络组成。移动 IP 技术提供节点移动支持。移动网络技术提供网络移动支持。本文介绍了移动网络的应用需求、研究计划;然后对网络移动支持的基本要求和方法进行总结和阐述,并针对双向隧道法的 IP 隧道传输性能问题提出基于 MPLS 隧道的优化法;最后对网络移动支持的扩展要求进行讨论。

关键词 移动 IP, 移动网络, MPLS, IPv6

Research on Network Mobility Support

CAI Yi-Bing¹ WANG Chun-Feng¹ SUN Li-Ming² LI Zhong-Cheng¹

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)¹

(Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)²

Abstract The future mobile Internet will be composed of mobile nodes which are supported by mobile IP technology and mobile network supported by mobile network technology. The article first introduces the application demands and related research plans of mobile network. Then it expatiates on the basic requirements and related solutions to the support of network mobility. With the aim to the IP tunnel transmission performance of bi-directional tunnel method, it puts forward the optimized method based on MPLS tunnel. Finally, it discusses the advanced requirements to the support of network mobility.

Keywords Mobile IP, Mobile network, MPLS, IPv6

1 引言

计算机微型化和无线技术的快速发展导致各种功能强大、轻巧便携的移动信息设备的不断涌现。未来的移动互联网将由移动节点和移动网络两大类实体构成,移动 IP 技术和移动网络技术将成为移动互联网的支撑技术。前者解决 IP 节点移动中不间断通信问题,后者解决 IP 子网移动中保持不间断通信问题。虽然移动 IP 支持节点移动,包括主机或者路由器,但是并没有完全满足网络移动需求^[1]。近两年移动网络成为

国际研究和应用的热点。

移动网络关注的问题是:如何对整个网络的移动性进行管理,使得整个网络在改变因特网的接入点时,能够保持其在因特网拓扑中的可达性。如果不通过某种明确机制来保证网络的移动性,现存的通信将中断,与全球因特网的连通性将丧失。虽然现有移动 IP 技术不能完全提供网络移动的支持,但理想的网络移动支持方案应尽可能基于移动 IP,目的是保持与节点移动的最大互操作性,同时满足网络移动应用的各种新要求^[2]。

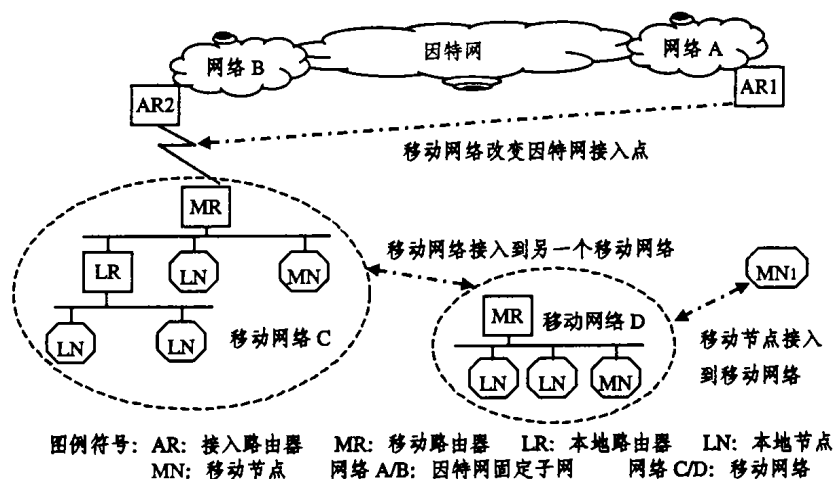


图 1 叠套移动网络场景

^{*}项目背景:中国科学院重大方向性项目“IPv6 关键技术研究示范系统”。蔡一兵 博士生,工程师,主要研究方向:移动网络,IP 宽带网络技术。王春峰 博士,主要研究方向:IP 宽带网络技术。孙利民 博士,研究员,主要研究领域为无线移动网络,宽带接入网。李忠诚 研究员,博士生导师,主要从事计算机网络,测试,容错计算和计算机可靠性和性能评估方面的研究工作。

由于移动网络技术具有广泛商业及军事应用前景,引起全球二十几家机构关注,包括政府部门、电信运营商、电信制造商、大学等。相关研究项目有:欧洲关于通过车载 IPv6 网络为不同乘客提供因特网接入的 OverDRiVE 项目^[3]。日本 Keio 大学关于互联网汽车的、面向移动 IPv6 网络研究的 WIDE 项目^[4]。Cisco 公司和波音公司在美军网络中心战背景下关于 IPv4 移动路由器的研究项目^[5];美国海军关于 IPv4 移动网络连通性、安全性、抗毁性为研究目的 Neah Bay/Mobile Router 项目^[6,7]。北约 INSC 计划,研究内容包括如何利用各国的军事/民用子网,支持飞机、舰艇和装甲车的移动网络不间断接入。美国航空航天局 NASA、国防部 DOD 关于移动网络技术在军事通信和空基网络中的应用框架描述^[8,9]。

IETF 组织于 2002 年 10 月成立 NEMO(Network Mobility)小组进行移动网络标准化工作。工作分为两个阶段:近期目标是提出 NEMO 基本方案,该方案采用双向隧道支持移动网络内部所有节点通信不间断。远期目标是提出 NEMO 扩展方案,满足各种复杂移动网络需求,支持路由优化、具有安全性保障。目前相对成熟草案有三个:草案^[10]定义网络移动相关术语。草案^[11]概述网络移动支持目标,提出基本解决方案应满足要求,但未考虑 NEMO 扩展方案要求。草案^[12]在移动 IPv6 基础上,提出双向隧道基本支持协议,可保证网络移动所有节点会话的不间断性,支持网络叠套性,对内部节点屏蔽网络移动。其他已提交并还在有效期内的草案有二十几个,分别集中在以下几个方面:关于基本方案的研究:威胁分析、部署用例、试验经验、优化方法;关于扩展方案研究:要求、路由优化;关于移动网络的安全性研究。

本文将网络移动支持的基本要求和方法进行总结和阐述,并针对双向隧道法的传输性能,提出基于 MPLS 的双向隧道优化法;最后结合已有研究,对网络移动支持的扩展要求进行讨论。

2 基本要求

根据移动对象和相对移动目标的不同,图 1 的移动网络支持分为三种:1、移动网络相对因特网发生移动。2、移动网络相对另一个移动网络发生移动。3、移动节点相对移动网络发生移动。移动网络如果出现多种移动,则称为叠套移动网络(Nested Mobile Networks)。网络叠套性是移动网络与移动 IP 的显著区别,增加了移动网络支持的复杂性。

图 1 移动节点 MN1 接入到移动网络 D,移动网络 D 接入到移动网络 C,移动网络 C 在家乡网络 A、B 间移动,构成多层叠套移动网络。下面是可能应用场景:乘客甲申请开通因特网接入服务,其携带的个人域网络通过火车公共接入网络接入因特网。乘客乙是甲同事,乙携带笔记本接入到甲的个人域网络,乙与甲交流资料并冲浪。

针对未来移动网络应用场景需求,NEMO 小组对移动网络支持的基本要求如下:1)IP 层透明性:在 IP 层提供网络移动支持,IP 层以上不作要求,与底层接入网无关;2)协议兼容性:与现有因特网地址和路由框架兼容。充分利用现有移动 IPv6 成果,只对移动路由器和家乡代理作修改,尽量不涉及对通信终端修改;3)移动透明性:通过移动路由器屏蔽网络移动,移动路由器后面节点感知不到网络移动;4)网络叠套性:允许外地移动主机、外地移动路由器接入和离开移动网络,允许移动主机、移动路由器在移动网络内部的本地移动。至少支持两层叠套网络,理想方案应不限制叠套网络的层数;5)安全

性:对家乡代理和移动路由器之间的信令消息提供必要鉴别、授权、抗重放保护,必要时采取加密保护,至少达到目前移动 IPv6 的安全级别。

3 支持方法

3.1 前缀范围绑定更新法

前缀范围绑定更新法(PSBU—Prefix Scope Binding Updates)^[11]是对移动 IPv6 绑定更新 BU(BU—Binding Updates)的改进,用移动网络的网络前缀代替家乡地址与转交地址进行绑定。移动路由器移动到外地网络,获得转交地址后,发送 PSBU 给家乡代理和移动网络的各通信节点。基本过程如下:通信节点首次向移动网络的内部节点发送的 IP 包,首先到达移动路由器的家乡网络。家乡代理截获后,通过隧道转发给移动路由器。移动路由器收到后,从解封后的 IP 包源地址段获得通信节点地址,并将 PSTU 发送给通信节点。通信节点收到移动路由器的 PSTU 后,创建一个新条目,用于将网络前缀和移动路由器的转交地址绑定。通信节点再发送 IP 包给移动网络中的任何节点时,直接把 IPv6 包的源地址设置为移动路由器的转交地址,并在路由头(Routing Header)中添加目的节点地址。移动路由器收到 IP 包后,检查路由头,然后转发到指定节点。

基于移动节点家乡地址的鉴别机制是移动 IPv6 的安全机制之一。前缀范围绑定更新法采用移动网络前缀代替家乡地址与转交地址绑定,造成通信节点无法确认是否存在恶意节点的假冒行为,存在安全威胁。此外该方法需要对通信节点进行修改,并且不提供对叠套网络的支持。所以虽然该方法最早提出,但未能成为 NEMO 小组的基本解决方案。

3.2 双向隧道法

移动 IPv6 支持移动节点和家乡代理之间通过双向隧道方式进行通信^[13]。双向隧道法^[12]是基于移动 IPv6 双向隧道的最小扩展解决方案,通过对移动路由器和家乡代理的路由表管理和绑定缓存的扩展,在两者之间建立双向隧道来保持网络移动的会话不间断和可达性。基本过程如下:当移动路由器移到外地网络后,将获得的转交地址通过绑定更新方法通知家乡代理。家乡代理将移动路由器的转交地址和家乡地址的绑定条目写入绑定缓存,建立移动网络前缀和移动路由器家乡地址绑定。家乡代理捕获所有发送到移动网络的 IP 包,通过隧道转发到移动路由器,由移动路由器解封后转发到移动网络的内部节点。移动网络内部节点的缺省网关设置成移动路由器,来自移动网络内部节点的 IP 包到达移动路由器后,由移动路由器经隧道转发到家乡代理,家乡代理解封后转发到相应通信节点。

双向隧道法的优点是支持叠套网络,简单安全,只涉及移动路由器、家乡代理,与移动网络的通信节点无关。该方法目前成为 NEMO 小组认可的基本解决方案,并写入基本要求草案^[11]。对该方法的改进主要集中在叠套网络场景下的传输性能优化问题,即当移动网络存在多个叠套移动路由器时,多层 IPv6 隧道头将导致 IP 包变大,多层隧道处理带来 IP 包转发时延增大。下面介绍相关三种优化方法:

前缀委托法^[14]原理 移动路由器使用前缀委托协议从接入路由器中获得接入路由器的网络前缀,并在所属于网内广播该前缀。子网内部的移动节点使用这个前缀,形成自己的转交地址,并实现绑定更新。由于移动节点采用接入路由器的网络前缀,而不是移动路由器的家乡网络前缀,解决了入口过滤

问题带来的路由优化限制。该方法不足在于:采用委托前缀选项,需要对现有 IPv6 邻居发现协议和移动 IPv6 协议作部分修改。要求 IPv6 接入路由器采用修改后的 IPv6 邻居发现协议,并引入新的前缀委托延时。

邻居发现协议代理法^[15] 对前缀委托法的进一步优化。该方法在移动路由器添加邻居发现代理功能,为所在移动网络的移动节点代理邻居发现。路由优化原理不变:移动路由器转发接入路由器的前缀到整个移动网络,移动节点使用接入路由器的前缀形成转交地址。移动节点使用该转交地址,通过优化路由与相关节点进行通信。该方法对 IPv6 接入路由器无特殊要求,只涉及到移动路由器和移动节点协议改动。该法缺点是:如果移动网络深度叠套,在整个网络中进行重复地址检测带来的时延开销将抵消路由优化效果。

反向路由头法^[16] 针对叠套网络的路由优化问题提出一种新机制,而不是要解决所有移动网络问题。原理如下:先获取叠套移动网络拓扑,然后根据该拓扑,由最底层的移动路由器和对应家乡代理建立双向 IP 隧道,避免叠套移动网络的多层隧道问题。具体过程如下:定义一种新的 IPv6 路由头,称为反向路由头。当最底层移动路由器收到内部节点发送给移动网络外部的通信节点的 IP 包后,在 IP 包中添加反向路由头。沿途移动路由器,包括最低层的移动路由器,将自己的转交地址写入到反向路由头中。该 IP 包经过各级路由器对应的家乡代理转发,到达最底层移动路由器对应的家乡代理后,IP 包中的反向路由头将包含叠套移动网络的拓扑结构。当该家乡代理收到通信节点发送给最低层移动路由器的内部节点 IP 包,在 IP 包中添加最底层移动路由器的隧道头和反向路由头,直接发送给移动网络的最外层移动路由器。各层移动路由器根据反向路由头,将 IP 包顺次转发到最低层移动路由器。如此避免了多层隧道,在最底层移动路由器和对应家乡代理之间形成单个隧道。

3.3 MPLS 双向隧道优化法

MPLS 双向隧道优化法针对双向隧道法的 IP 隧道传输性能问题提出。双向隧道法的处理包括三个过程:外地网络发现、家乡代理注册、家乡代理和移动路由器之间 IP 隧道封装及数据转发。其中 IP 隧道封装存在传输开销大、转发速度慢、QoS 无保障问题,影响移动网络整体传输性能。主要原因如下:对于移动网络内部通信主机的每个 IP 包,家乡代理和移动路由器都需要经历路由表查找、IP 隧道报头封装、拆封等操作;隧道中的中间路由器需要进行路由表分析,寻找最长匹配等处理。

为此我们提出 MPLS 双向隧道优化法:为了在 MPLS 网络中提供移动网络支持,首先让家乡代理和移动路由器具有 MPLS 的标签边缘路由器(LER, Label Edge Router)功能,称为 LER/HA 和 LER/MR。然后通过标签分布协议在 LER/HA 和 LER/MR 之间建立 LSP 隧道。当 LER/HA 截获到 IP 包后,用标签头封装,通过 LSP 隧道传输到 LER/MR。由 LER/MR 负责将标签剥离,将 IP 包转发到移动网络内部。采用 MPLS 的 LSP 隧道代替 IP 隧道具有以下优点:1、使用二层 LSP 隧道代替三层 IP-IN-IP 隧道,可充分利用 MPLS 的快速交换能力,有效减小三层的隧道处理开销和中间路由器转发处理开销;2、建立的 LSP 隧道为移动网络内所有节点提供 IP 包承载,提高整个移动网络的吞吐率。3、提供面向整个移动网络的基于 MPLS 的 QoS 保障;4、LSP 隧道属于二层,可提供 IPv4 和 IPv6 的移动网络服务。5、提高移动网络数据安全性,

达到类似帧中继的安全级别。

MPLS 技术集成了二层路由灵活性和三层交换的高速性,为骨干网络的高速 IP 转发提供了较好的解决方案。近两年国际电联 ITU 研究如何在 MPLS 上提供移动 IP 的宏移动管理支持^[17]。如何在 MPLS 网络上提供移动网络支持还未看到相关文献。未来的火车、飞机、移动武器平台将包括成百上千个 IP 设备,构成中等规模的移动接入网络,MPLS 双向隧道优化法将有效提高移动网络的传输性能和 QoS 保障,值得深入研究。

4 扩展要求

双向隧道法针对网络移动连通不间断性的基本目标,对路由优化、传输性能安全性等未作严格要求。草案^[11]对网络移动支持的近期目标提出明确要求,未涉及 NEMO 小组远期目标要求。下列问题随着网络移动支持研究的深入,值得我们关注:

- **叠套网络的路由优化问题** 双向隧道法虽然支持叠套移动性,但多层叠套将导致多层 IP-IN-IP 隧道开销(处理时延增加、IP 包头变长)。新的路由优化机制应允许移动网络内部节点和通信对端的 IP 包走优化路由,与移动网络叠套层数无关,优化信号开销尽量小,并提供安全保障。

- **本地直达路由优化问题** 双向隧道法不支持本地直达优化问题,比如移动网络本地节点要访问加入的移动节点,移动网络本地节点的 IP 包先发送到移动路由器,通过隧道传递到移动路由器的家乡代理,再由移动路由器的家乡代理转发到移动节点的家乡代理。移动节点家乡代理收到后,在 IP 包中添加移动节点的转交地址为终点的隧道头后,转发回移动路由器的家乡代理。该代理把 IP 包通过隧道传递到移动路由器,最后由移动路由器从隧道中取出,转发给移动节点。上述路由不合理,本地直达优化目标是当有移动节点或者移动子网加入到移动网络时,允许在家乡代理不参与的情况下,移动节点/子网与移动网络中的其他节点直接通信。

- **家乡代理的脆弱性问题** 家乡代理是移动网络的核心节点,负责移动路由器/节点的移动管理和数据截获、转发任务。一旦由于网络故障造成家乡代理不可达,或者家乡代理发生故障,则所有首次访问移动主机或移动网络的通信节点将无法完成通信的初始化。如果移动网络有多个家乡代理^[14]或者存在其他移动管理机制在网络中宣告移动信息,则通信可以继续。

- **性能要求与无缝切换** 先进移动网络解决方案应减小管理信令开销,缩短切换时延,降低包丢失率,使移动网络切换对高层应用冲击最小化。移动路由器是移动网络的关键设备,移动路由器的切换效率将直接影响到移动网络内部所有通信节点的切换效率。

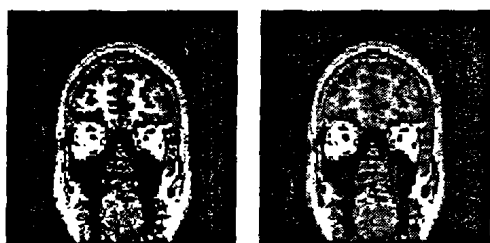
- **安全性考虑** 移动 IP 安全隐患通常只影响单个移动 IP 节点通信安全,属于节点级安全;而移动网络安全隐患将直接威胁整个移动网络通信安全,属于网络级安全。为此移动网络应提供比移动 IPv6 更高的安全级别保护。

- **移动网络的管理要求** 先进方案应能够允许移动路由器参加到家乡网络的路由和网络管理操作,包括地址分配(状态地址分配和无状态地址分配)、路由协议信号、动态 DNS 交互等。

结束语 关于网络移动支持的扩展要求还未形成统一认

(下转第 179 页)

32:1压缩后的恢复效果。图11是对茶几图像采用 Bighm 多小波进行分解,选择对应的 EZW 编码改进方法进行32:1压缩后的重构结果。实验表明,选择合适的多小波进行分解可以在保证质量前提下,获得高的压缩比,而且重构后的图像质量较优。表明多小波在图像压缩方面将有更好的应用潜力,这与多小波在理论上所具有的优秀性质是一致的。



(a) CT 原图 (b) 32:1 重构结果

图10 CT 图像与还原后结果



(a) 原图 (b) 32:1 重构结果

图11 茶几图像与还原后结果

结论 传统的图像压缩方法存在着压缩比小的问题。在大压缩比情况下,重构后的图像质量较差。小波具有极强的多分辨分析能力,所以通过小波变换进行图像压缩已经成为一种重要图像压缩方法^[11]。基于单小波的图像压缩已经取得了很大的进展。相比于单小波,多小波具备对称性,短支撑性,二

阶消失矩和正交性等一系列优点,所以多小波在信号处理方面比单小波更有优势。提了一种新的基于小波变换的图像压缩算法,该方法以多小波变换为依据,通过对图像进行预滤波,离散多小波变换来实现图像的多小波分解。并根据多小波的分解特性,对不同的多小波提出不同的编码方法。实验结果表明:根据图像的频率分布特性,选择相应的多小波进行分解,并使用对应的编码方法进行编码,可以获得较为理想的压缩效果,在图像质量几乎不下降的情况下,极大地提高了压缩比。

参考文献

- 1 Mallat S. A Wavelet Tour of signal Processing[M]. Boston: Academic Press, 1998
- 2 Mallat S. A theory for multi-resolution decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 1998, 11(7): 674~693
- 3 Donoho D, Johnstone I. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81: 425~452
- 4 Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image code based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Trans on Circuits and System for Video Tech. , 1996, 6(3): 243~249
- 5 Chai B-B, Vass J. Significance-linked connected component analysis for wavelet image coding[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1999, 8(6): 77~83
- 6 Taubman H. High performance scalable image compression with EBCOT[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2000, 9(7): 1157~1168
- 7 Goodman T N T, Lee S L. Wavelet of multiplicity[J]. Trans, Amer Math Soc, 1994, 338(2): 639~652
- 8 Geronimo J, Hardin D. fractal functions and wavelet expansions based on several functions[J]. J Approx Theory, 1994, 78: 373~401
- 9 Geronimo J, Hardin D. construction of orthogonal wavelets using fractal interpolation functions[J]. SIAM J Math Anal, 1996, 27: 1158~1192
- 10 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445~3461
- 11 Cotronci M, Iazzaro D. Image compression through embedded multi-wavelet transform coding[J]. IEEE trans on Ip. , 2000, 9(2): 184~189

(上接第22页)

识,相应的先进方案研究刚刚开始。由于 IPv6 还未进入大规模商业部署,IPv6 为研究者提供了灵活研究空间,关于网络移动支持的研究主要集中在如何提供 IPv6 网络移动支持。双向隧道法是基于移动 IPv6 的最小扩展方法,简单安全,适用于纯 IPv4 网络或纯 IPv6 网络。随着 IPv4 向 IPv6 过渡,如何在 IPv4/IPv6 混合网络下提供网络移动支持,对双向隧道法构成新的挑战。

参考文献

- 1 Ernst T. Network Mobility Support in IPv6; [PhD thesis]. Université Joseph Fourier, October 2001. <http://www.inria.fr/rrrt/tu-0714.html>
- 2 Lach Hong-Yon, Petrescu Janneteau C, A. Network Mobility in Beyond 3G systems. Communications Magazine, IEEE, July 2003, 41(7)
- 3 Wolff M. Evaluation of Mobility Management Approaches for IPv6 based Mobile Car Networks. KiVS 2003, Leipzig, 25-28th February 2003
- 4 Ernst T, Uehara K, Mitsuyaz K. Network mobility from the InternetCAR perspective. In: Proc. of the 17 th Intl. Conf. on Advanced Information Networking and Applications, March 2003
- 5 Kim J H, Leung K, Echols K, Shel D, Denny M. Demonstration of Static Network Mobile Router for Mobile Platforms. Military Communications Conference, Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force, 2001
- 6 Ivancic W D, Stewart D H, Bell T L, Paulse P E, Shell D. Securing Mobile Networks in an Operational Setting. Computer Communications, 2003. CCW 2003. In: Proc. 2003 IEEE 18th Annual

Workshop on, Oct. 2003. 139~147

- 7 Stewart D H, Bell T L, Kachmar B A, et al. Mobile router technology development. In: Proc. of the 4th ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, July 2001
- 8 Ivancic W D, Stewart D, Bell T L, et al. Mobile-IP Priority Home Agents for Aerospace and Military Applications. IEEE Aerospace Conference 2004, Big Sky, Montana, March 2004
- 9 Stewart D H, Ivancic W H, Bell T L, et al. Application of Mobile Router to Military Communications. Military Communications Conference, 2001. MILCOM 2001. Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force. IEEE, Oct. 2001, 1: 28~31
- 10 Ernst T, Lach H-Y. Network Mobility Support Terminology. (draft-ietf-nemo-terminology-0), work in progress, Feb. 16, 2004
- 11 Ernst T. Network Mobility Support Goals and Requirements. (draft-ietf-nemo-requirements-02), work in progress, Feb. 2004
- 12 Devarapalli V, Wakikawa R, Petrescu A, Thubert P. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. (draft-ietf-nemo-basic-support-02), Dec. 2003
- 13 Johnson D B, Perkins C E, Arkko J. Mobility support in ipv6. (draft-ietf-mobileip-ipv6-24), June 2003
- 14 Lee K, Jeong J, Park K, Kim H. Route Optimization for Mobile Nodes in Mobile Network based on Prefix Delegation. (draft-ietf-nemo-ro-pd-02), Feb. 2004
- 15 Jeong J, Lee K, Park J, Kim H. ND-Proxy based Route and DNS Optimizations for Mobile Nodes in Mobile Network. (draft-jeong-nemo-ro-ndproxy-02), February 2004
- 16 Thubert P, Molteni M. IPV6 Reverse Routing Header and its Application to Mobile Networks. (draft-thubert-nemo-reverse-routing-header-03), Oct. 2003
- 17 Choi J K. Mobile IP Services over MPLS. draft new Recommendation Y. MIPoMPLS presented at ITU-T SG 13 meeting, 21 July-1 Aug. 2003