

文章编号:1001-9081(2008)04-0837-04

基于移动代理技术的移动 IP 网络中链路快速建立方法

李蔚¹,李源^{1,2},刘洋¹

(1. 华中科技大学 武汉光电国家实验室,武汉 430074; 2. 华中师范大学 计算机科学系,武汉 430079)

(weilee@hust.edu.cn)

摘要:提出了一种新型移动 IP 漫游切换过程中链路建立方法,通过在移动主机中集成移动代理,并结合 MPLS 来完成链路建立时的自动信令和自主建立过程,可以改变目前移动 IP 网络中树状的网络体系结构,使得切换时建立新链路的信令过程大大简化,显著减小切换时延。给出了链路建立过程和性能分析,通过仿真模拟可以减少时延 27%~41%。

关键词:移动 IP 网络;移动代理;多协议标记交换;链路建立

中图分类号: TP393.03 **文献标志码:** A

A novel fast link establishment method for mobile IP communication networks based on mobile Agent

LI Wei¹, LI Yuan^{1,2}, LIU Yang¹

(1. Wuhan National Laboratory of Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China;

2. Department of Computer Science, Central China Normal University, Wuhan Hubei 430079, China)

Abstract: A new method for establishing communication links fast in mobile IP networks for handoff based on mobile Agent was proposed. Combined with Multiple Protocol Label Switching (MPLS) and mobile Agent in the signal processing, an automatic dynamic fast link establishment was achieved, which could reduce the delay dramatically. Simulation shows that transmission delay can be reduced to 27 to 41 percent in switching.

Key words: mobile IP network; mobile Agent; Multiple Protocol Label Switching (MPLS); link establishment

0 引言

随着无线互联网的迅猛发展和移动主机的迅速增加,移动通信的蜂窝范围从宏蜂窝缩小到微蜂窝,甚至是微微蜂窝,极大地增加了移动主机在各个小区之间漫游时的切换时延,频繁的切换必然导致通信负荷和阻塞率的增加。为了减少时延,人们提出了基于多协议标记交换(MPLS)的IP微移动技术协议^[1],应用于微小移动网络中的快速链路建立。但是该技术采用树状的层次化结构,未给出如何寻回切换过程中发送到前一个代理数据的方式,即默认为重传,这样造成的切换时延必将难以被接受。一旦网络拓扑结构发生变化,整个系统需要重置^[2-4]。除此之外,对于IPv6已经提出解决方案的三角路由问题,该体系也没有考虑到^[5-6]。因此,找到一种灵活的分布式的,结合MPLS,并从根本上改变传统的移动IP路由机制,适应移动IP网络动态性的体系结构是十分必要的。

移动代理技术是目前在计算机网络中应用广泛的具有自主移动、自主执行功能的技术^[7]。如果能够通过移动代理完成移动主机在发生不同代理小区漫游切换时的链路建立,信令过程将大大简化。而信令过程所引起的网络负荷也将显著下降。

由于移动代理具有数据携带功能,在完成信令过程的同时让移动代理携带途经各节点的实时邻接拓扑信息,并传播到网络中,再对选路算法做相应的适宜动态拓扑结构的改进,则可以实现对移动IP系统路由的优化,解决目前存在的三角

路由问题。那么系统结构将更加灵活,更具可靠性,系统性能也将得到很大提高。

基于此,本文提出了一种基于移动代理(Mobile Agent, MA)的结合MPLS的通信链路快速建立方案,可以相对完善地解决上述问题。论文首先介绍如何采用移动代理技术来改造移动微IP在切换时的网络结构,改变目前基于MPLS的树状网络拓扑。其次,将移动代理引入改进后的微移动网络来实现快速的链路建立信令过程,并分析其性能。最后,通过在一个网络中的仿真验证提出方法的效率。

1 基于移动代理技术IP微移动网络

移动IP定义了三种功能实体:移动主机、家乡代理和外地代理。与移动主机通信的主机称为通信主机,通信主机可以是移动的,也可以是静止的。通信主机与移动主机通信时,通信主机总是把数据包发送到移动主机的家乡地址,而不考虑移动主机的当前位置情况。当移动主机离开家乡链路时,它的家乡代理把发往移动主机的所有数据包转发到移动主机的当前位置。家乡代理可以使用代理ARP或其他有效方法在家乡链路上截获发往移动主机的数据包。对于每个截获的数据包,家乡代理使用隧道技术把它们发送到移动主机的当前转交地址。如果转交地址是外地代理的IP地址,那么这个外地代理是隧道的终端,此时外地代理从数据包中移走隧道报头,并把剩余部分发送到移动主机。如果移动主机使用一个临时地址作为转交地址,那么数据包将直接通过隧道传送

收稿日期:2007-10-12;修回日期:2007-12-19。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60772013);国家863计划项目(2006AA03Z422);华中科技大学科研基金项目(2006M041)。

作者简介:李蔚(1968-),女,湖北武汉人,副教授,博士,主要研究方向:智能网络与通信;李源(1971-),男,湖北武汉人,讲师,博士研究生,主要研究方向:计算机网络;刘洋(1984-),男,湖北人,工程师,硕士,主要研究方向:移动通信网络。

到移动主机。

一个基于 MPLS、支持微移动技术的分级网络结构如图 1 所示。

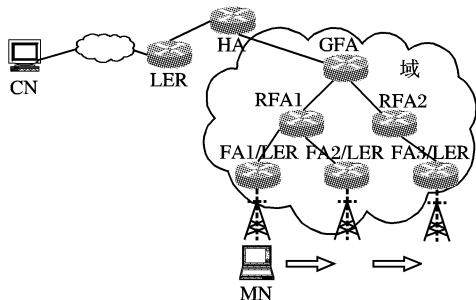


图 1 基于 MPLS 的微移动网络结构

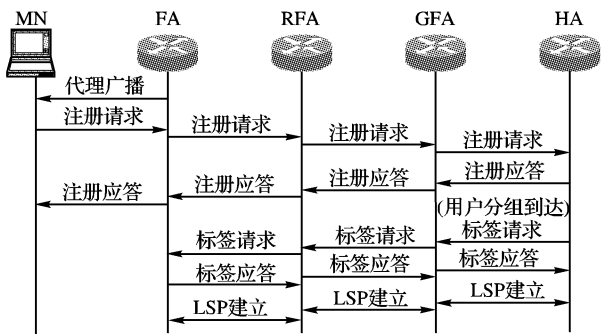


图 2 MN 注册和 LSP 建立

从图 1 中还可以看到,当移动节点在同一域内移动时,只需更新相关的 FA 或 RFA 的位置信息即可。也就是通过网关代理(GFA)向归属代理和通信节点(CN)隐藏了移动节点的移动。将移动节点的移动最大限度地本地化,以减少移动节点在移动过程中向移动代理和通信节点注册与绑定更新的次数,从而达到减少切换时延和网络链路信令开销的目的。

其链路建立机制与移动 IP 基本相同。首先, MN 通过接收 FA 发出的代理广播消息来确定自己是在归属域中还是在异地域中,如果 MN 确定自己处于异地域中, MN 将会从 FA 获得一个转交地址 CoA。接着, MN 发送注册请求消息给 FA, 收到消息的 FA 将为这个移动节点(用其归属地址标识)建立一个列表,并将自己的 IP 地址插入到注册消息分组中,使用正常的移动 IP 分组转发功能将注册请求消息发送到 RFA。然后,收到消息的 RFA 采用相同的操作将分组转发给 GFA, 如果 MN 是首次进入该域, GFA 还将把注册消息发送给 HA。当 HA 收到 GFA 转发来的注册请求消息,由于 GFA 将其 IP 地址插入到注册消息分组中, HA 便可以从该消息中获取 GFA 的 IP 地址,并根据此地址向 GFA 发送注册应答消息。GFA 收到注册应答消息后,通过检查建立的列表信息,确认是哪一个移动节点的注册应答,从而将应答消息转发给相应的 RFA。RFA 采取重复相同的操作,逐层转发,通过 FA 最终将应答消息转发到移动节点。如图 2 所示,链路建立需要较多的步骤。而且还有三个主要的问题:

- 1) 虽然数据传输由于摆脱了 IP in IP 方式获得改善,但切换时链路建立过程依然比较复杂,切换造成的时延需要进一步缩短。
- 2) 树状体系限制了系统的可扩展性和灵活性,微移动域的 GFA 一旦失效,整个微移动域的通信将被中断。
- 3) 没有提出 MN 进行代理切换时将已发往前一个代理的数据切换到当前代理的方案,数据的丢失也会造成时延。

为了解决这些问题,本文将移动代理引入 IP 网络建立过程,首先基于移动代理将 IP 微移动网络进行重新划分,如图 3 所示。

在异构的网络环境中,移动代理是在自我控制之下,可以从一台机器移动到另一台机器的自治的程序。它可以在任意的执行点挂起,将自己传送到另外一台机器,然后在这台新的机器上,从挂起点继续执行。各种环境对移动代理的性能要求不同。根据要求把对移动代理的定义分为强定义和弱定义。强定义要求移动代理具有自主意识,能够根据环境自我决定下一步迁移的路线和执行的动作,也就是说具有智能。弱定义仅认为移动代理是一种移动的代码,可以在主机间携带数据和状态自由迁移。本文所涉及的移动代理属于后者。

图 3 是改进的基于移动代理并结合 MPLS 的 IP 微移动网络,依然采用通过微移动域将微移动中产生的数据对主干网进行屏蔽的体系结构,但由于结合了 MA 的可自主移动功能,微移动域可不再以树状结构组织,而采用具体拓扑形式任意的网状结构,其结构不再是树状,每层内都可以按物理位置随意连接。最高层的 GFA 将微移动域与主干网屏蔽,微移动域内有必要的话还可分多层。

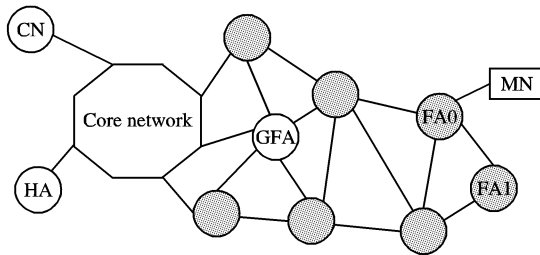


图 3 图 1 改进后的体系结构

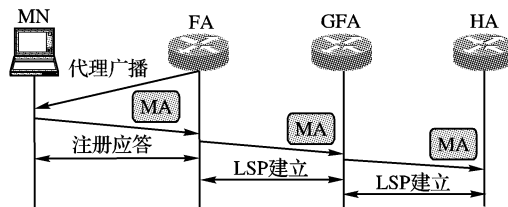


图 4 图 2 改进后的注册与 LSP 建立过程示意图

2 基于移动代理的快速链路建立

在图 3 改进的体系结构中,基于 MA 的移动 IP 网络结构依然由主干网和微移动域组成,由于具有了移动代理的主动选路机制,可以实现快速链路建立过程,切换发生时的链路重建过程发送一次 MA 即可完成。MA 可沿所需的通信路径自主定向依次移动,直到到达目的节点,完成链路建立。

链路建立过程如图 4 所示,包括三个步骤:

- 1) 代理发现。当 MN 发现自己处于新代理区域中时,将发送 MA 进行链路建立或者一段时间没有收到代理信息,而通信即将发起,将主动进行广播搜索。
- 2) 建立链路。MA 从 FA0 到达 FA1 后,如判断此为新代理(这里的新不一定指地理位置,如果上次通信结束到此次通信开始间隔时间过长, LSP 已被取消,则代理删除原注册信息时, MA 再次到达,该代理依然被视为新代理),则进行注册; FA1 返回注册消息,此后将上行数据从发往 FA1 转至 FA0,并且 MN 开始从 FA0 接受下行数据。完成注册后的 MA 将根据当前 FA(即 FA1)所在微移动域的查询路由表,以当前域的 GFA(CGFA)为目的地移动。到达 CGFA 后,查询路由表驱动 LDP 建立 CGFA 往 MN 分组的 LSP 至 FA1,然后判断

是否发生了域间移动,若没有发生,则任务完成 MA 销毁;若发生了,则 MA 以 HA 为目的地移动,同样建立 HA 至 CGFA 的 LSP。链路建立即完成。

3)数据切换过程。在链路未建立完成期间,仍有数据发往 FA0。MN 收到注册回复后,不再从 FA0 接收下行数据,并以 FA0 为目的地址发出第二个 MA,建立往 MN 分组的 LSP 至 FA1,将切换过程中发往 FA0 的下行数据转至 FA1。这样可以避免切换过程中包丢失导致的延时。

从图 2 与图 4 的比较可以看出,切换的信令过程明显简化,同时,由于第二个 MA 在新链路建立同时完成了对发往前一个代理的数据寻回工作,切换时延将会大大降低。

而且 LSP 的建立与拆除与移动主机的业务发起与完成相关联,每个移动主机不再在未发生代理转换期间一直占用大量网络资源。

移动主机在收到代理广告发现到达新代理,或要进行通信而长时间没有收到代理信息时即要发送 MA 建立 LSP 通信链路。当第一个 MA 完成注册后,移动主机发送的第二个 MA 将完成寻回切换过程中发往前一代理数据的工作,即建立一条由前一代理到移动主机的 LSP。因此,代理发现移动主机发送 MA 的关键步骤应如图 5 所示。

为了判断 MA 进入的是否是新代理,在收到 FA 的注册应答之后,要对 MA 重新进行初始化,但由于在新代理注册后需要发送第二个 MA 完成切换数据寻回过程,因此对注册应答信息(如当前注册的 FA、GFA)应做暂存,待第二个 MA 发送出去后,立即对后面可能发出的 MA 进行重新初始化。

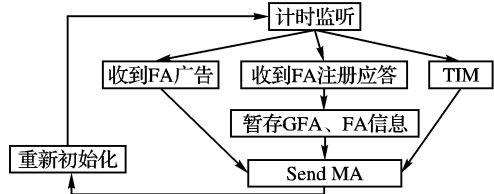


图 5 移动主机 MA 发送机制流程

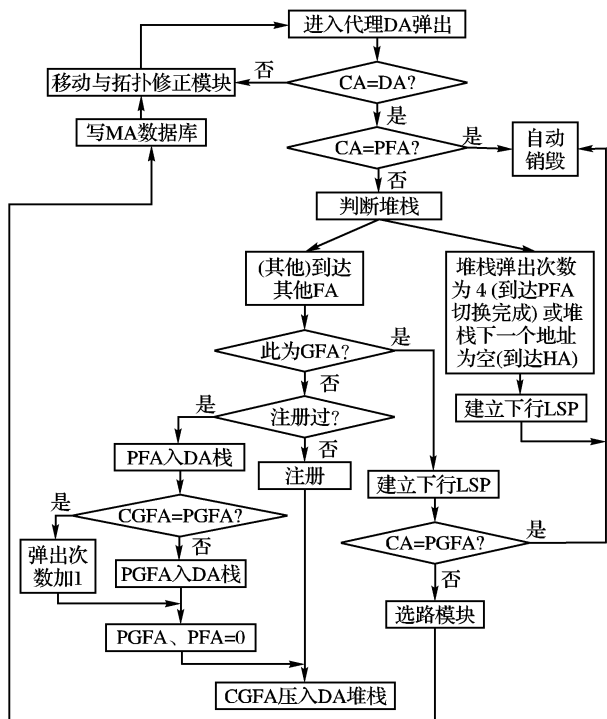


图 6 MA 功能流程

另一方面,MA 离开移动主机,进入代理节点后,基于

Aglet 平台的 MA 的功能区结构如图 6 所示。

MA 新到达一个节点后,首先判断是否到达了自已要去的栈顶目的地(DA),如果不是,则进入移动与拓扑修正模块,根据 DA 地址通过 ATP 协议继续移动,并完成拓扑信息的散布工作;如果是,那么进入应用过程。判断是否到达还是原先注册过的 MA,如果是,则 MA 直接销毁,因为 LSP 依然存在,还未被拆除,通信可以直接继续。如果当前代理(CA)不是 PFA,那么可判断已进入新代理,接着要对新代理做出操作。

进入新 FA 后,通过注册标志判断是否注册过以及是否完成了切换丢失数据的找回,以此判断 MA 是属于第一 MA 使命还是第二 MA 使命。通过对 DA 堆栈的修改来决定 MA 的任务类型——是第一还是第二。任务决定后,进入选路模块,根据网络状况得到正确的路径,驱动 LSP 申请,并将路径信息传递给 LDP,完成此段 LSP 建立。

3 基于移动代理的链路建立过程性能分析

无论移动节点发生的是域内切换或是域间切换,第二个 MA 建立寻回切换过程丢失建立 LSP 的过程都要稍长于第一个 MA 完成切换发生节点(GFA、HA 或 CN)所需的时间。所以新链路建立时间 T_{linkMA} 事实上取决于第二个 MA 的任务时间。除了第二个 MA 的任务时间 T_t ,再加上收到注册应答后发送 MA 的反应时间 T_s ,MA 驱动 LDP 协议后末段 LSP (PFA 到 PGFA)的建立时间 T_{LDP} ,以及切换后数据回传时间 T_b ,MA 移动至 PFA 时间 T_m ,即式(1)所示:

$$T_{linkMA} = T_s + T_t + T_{ldp} + T_b \tag{1}$$

其中, T_t 又包含 MA 移动至 PFA 在单链路中传送的时间 T_m ,以及在每个节点 MA 运行时间 T_p 。随发生切换的地理位置不同, T_m 、 T_{LDP} 以及 T_p 的个数也不相同。但由于 $T_m \ll T_p$,故可省去,以一层微域为例。

如果发生域内切换则 MA 将通过两个节点,建立链路时间如式(2)所示:

$$T_{link1MA} = T_s + 2T_p + T_{LDP} + T_b \tag{2}$$

如果发生域间切换则 MA 将通过四个节点,建立链路时间如式(3)所示:

$$T_{link2MA} = T_s + 4T_p + 3T_{LDP} + T_b \tag{3}$$

而对于无移动代理的 MPLS 与微移动技术结合方案,通过对图 4 的分析,我们可以发现,由于 CFA 不能立即对 MN 的注册消息作出应答,那么放弃原通信 LSP 的时刻应该从 MN 发起注册请求开始,而新链路建立完成应该为丢失的数据包在新的 LSP 建立完成之后被重传到 MN 的时刻。那么新链路建立时间 T_{linkMP} 应该包括注册完成时间 T_r 、用户数据以传统方式发送到切换发生节点时间 T_d 、LSP 建立时间 T_{LDP} 以及数据重传时间 T_{re} 。

对于 T_r 又由注册请求时间 T_{rrq} 以及注册应答时间 T_{rrp} 多次组合,由于该体系下采用被动式注册,每个 GFA 要存储几乎经过其域内的每个 MN 的信息,数据库相当庞大,因此 T_{rrp} 是个很大的值。在此我们也只考虑数据在节点内处理的时间,不考虑在单链路中传递的时间。同样以一层微域为例。

如果发生域内切换,建立链路时间如式(4)所示:

$$T_{link1MP} = 2T_{rrq} + 2T_{rrp} + T_d + T_{LDP} + T_{re} \tag{4}$$

如果发生域间切换,建立链路时间如式(5)所示:

$$T_{link1MP} = 3T_{rrq} + 3T_{rrp} + T_d + a T_{ldp} + T_{re}; \tag{5}$$

$1 < a < 2$ 。

可以判断, $T_{rrq} > T_s$, $T_d > T_b$, 对于域内切换, 由于 T_p 和 T_{rrq} 分别跟所处理的数据量有关, T_p 所处理的数据两只是与单个 MN 相关, 其结构在上面已经给出, 而 T_{rrq} 所处理的数据量需要对整个微域所有 MN 的信息进行遍历, 那么显然 $T_p \ll T_{rrq}$, 因此可以得到建立链路时间如式(6)所示:

$$T_{link1MA} \ll T_{link1MP} \tag{6}$$

同理也可以分析出对于发生域间切换的情况如式(7):

$$T_{link2MA} \ll T_{link2MP} \tag{7}$$

可以看到, 采用 MA 与 MPLS 结合的链路建立过程时间将远远少于普通的 MPLS 的链路建立时间。

4 仿真以及结果分析

通过 OPNET 仿真系统对上述方案进行了仿真, 设定了一个 8 节点的网络, 其中除了 FA 之外, 这些节点中包含了两个 GFA 以及 HA, 如图 7 所示。仿真中有以下两点假设: 1) 理想无错误无线链路; 2) 无线小区无重叠, 以中间线为界, 为理想的无缝覆盖, 移动主机从一个基站到另一个基站不存在同时与两个基站同时通信的事件。

首先对建立链路的时延进行了仿真测试, 在模拟界面系统中显示出本文提出的通信链路建立方案在移动 IP 系统中运行情况如图 8 所示。来自 HA (192.168.1.8) 的移动用户 MN (192.168.1.50) 从由 PGFA (192.168.1.13) 管辖的 PFA (192.168.1.12) 漫游到 CGFA (192.168.1.15) 管辖下的 CA (192.168.1.11), 图中数据显示了 MN 对 MA 初始化数据的情况以及代理节点对 MN 注册记录的情况。

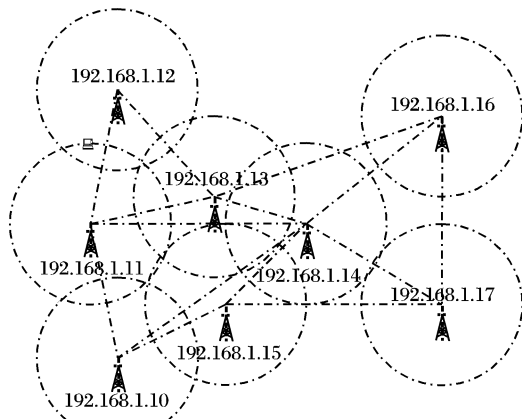


图 7 仿真测试移动 IP 网例结构图

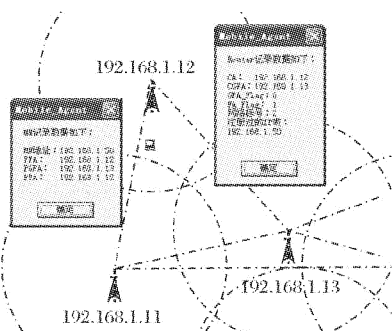


图 8 移动主机漫游发生前状态显示图

图 8 与图 9 是移动主机漫游切换前后功能状态的示意图。对 MIP、结合 MPLS 的 IP 微移动方案以及本文所提出的基于 MA 的移动 IP 链路建立方案在三种不同技术系统下

TCP 报文的时延测试结果如图 10 所示。在图 10 中, 基于 MA 的切换链路建立方案明显优于其他方案, 其切换时延明显较小, 随不同应用情况比原方案减少 27% ~ 41%, 切换过程趋于平滑, 使移动 IP 系统更接近真正的无缝漫游。

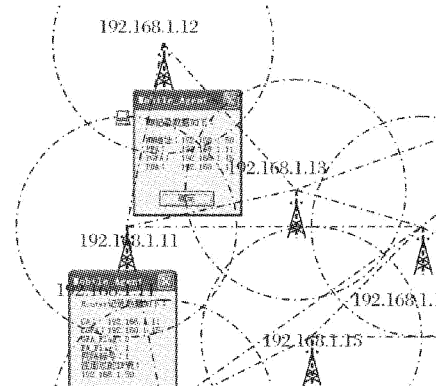


图 9 移动主机漫游发生新通信链路建立后状态显示图

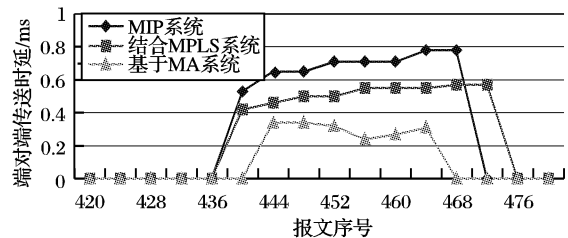


图 10 三种系统单条链路切换 TCP 报文时延仿真测试结果

5 结语

结合了 MA 后的体系结构将 MPLS 通过标签交换实现一次路由多次交换的能力充分发挥到移动 IP 领域中, 大大简化了节点从一个代理移动到另一个代理后的链路建立过程, 同时又保留了采用 MPLS 技术在数据传输过程中低开销、快速交换的特性。采用 MA 技术将切换过程中发往前代理的数据找回, 减少了包丢失, 缩短了时延, 真正实现了移动中的无缝连接。对基于移动代理技术的移动 IP 个体链路建立进行了性能分析和理论分析, 发现本文所提出的方法可显著减少漫游切换时延, 仿真测试证明随不同实际应用情况减少时延 27% ~ 41%。

参考文献:

- [1] LIU YU, YE MIN-HUA, ZHANG HUI-MIN. The handoff schemes in mobile IP[C]// The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2003, 1: 485 - 489.
- [2] 刘海鹏, 张根度, 李明. 无线移动网络中增强 TCP 性能的技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(6): 643 - 648.
- [3] 郑建立, 王雪平, 张根度. MPSSF: 一种低失序的缓存转发移动切换方案[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(4): 637 - 644.
- [4] REN Z, THAM C, FOO C, et al. Integration of mobile IP and multi-protocol label switching[C]// IEEE International Conference on Communications. Piscataway, NJ: IEEE, 2001, 7: 2123 - 2127.
- [5] 陈伟, 陈前斌, 隆克平, 等. 基于 MPLS 的 IP 微移动性研究[J]. 计算机工程, 2004, 30(22): 34 - 37.
- [6] 赵庆林, 李忠诚, 张玉军, 等. 层次化移动 IP 的性能分析[J]. 计算机学报, 2005, 28(7): 1236 - 1241.
- [7] CICIRELLO V, PEYSAKHOV M, ANDERSON G, et al. Designing dependable agent systems for mobile wireless networks[J]. IEEE Intelligent Systems, 2004, 19(5): 39 - 45.