

移动 IP 实现系统的分析*

Analysis of the Realized Mobile IP Systems

罗远军 华云 苏德富
Luo Yuanjun Hua Yun Su Defu

(广西大学计算机与信息工程学院 南宁 530004)
(College of Comp. and Info. Engi., Guangxi University, Nanning, 530004)

摘要 介绍移动 IP 技术,阐明进行移动 IP 系统的一般实现原则,分别对新加坡国立大学的移动 IP 实现系统和美国斯坦福大学的移动 IP 实现系统进行分析,指出各自的优缺点和可借鉴之处。

关键词 移动 IP Linux 内核 守护进程

中图法分类号 TN915.04

Abstract The mobile IP techniques and some common characters for the realization of mobile IP systems are described. Two realization systems of mobile IP come from NUS and Stanford are analyzed.

Key words mobile IP, Linux, kernel, daemon

移动 IP 技术自从 20 世纪 90 年代初期提出以来,经过短短不到 10 年时间的的发展,在 Internet 应用获得迅猛扩张的背景下,已经取得了长足的进步,国内外形成了不少研究开发的组织和团体,遵照与 IETF 的 Mobile IP 协议[RFC 2002]兼容的基本原则,各方开发出了各自的实现系统原型,并就研究的侧重点相关技术进行了有益的探索和实践。本文通过分析新加坡国立大学(NUS)和美国斯坦福大学(Stanford)的移动 IP 实现方案,力图指明移动 IP 系统实现的方向。

1 移动 IP 的基本原理

在移动 IP 中,定义了如下一些新的通信功能实体:

移动节点:指一台移动式主机,由一个网络(或子网)移动到另一个网络或子网。移动节点可以在不改变 IP 地址的情况下,改变其位置而仍与 Internet 其它节点保持通信,使上层协议感觉不到该节点的移动。

本地代理:一台在移动节点家乡链路上的路由器,当移动节点离开家乡链路时,它能通过隧道把数据包传给移动节点,并且保存移动节点的当前位置信息。

2002-06-08 收稿。

* 广西壮族自治区教育厅科研项目(桂教科研[2001]401号)。

外地代理：移动节点当前所在链路上的路由器，可为移动节点在向本地代理登记时提供路由信息，并负责把本地代理送来的数据包转交给移动节点。

移动IP主要分为三个过程：代理搜索、登记注册和隧道传递。

当移动主机MN移动到外部网络，它通过接收来自外部代理FA的代理广播报文识别移动性，发现当前可用的FA服务器；当MN确认自己的接入关系发生改变时，它首先获取一个FA提供的当前转交地址，而后经FA向自己远在家乡链路的家乡代理HA发送注册请求，HA接受请求并登记下MN的当前转交地址；当Internet上的任一通信对端主机CH向MN发送分组报文，沿途各路由器将报文转发至MN家乡链路，HA截获这些报文，通过隧道方式将报文传递到MN外部转交地址，经当地服务器解开后（通常就是FA），原始数据报文最终到达MN。

2 移动IP系统的一般实现原则

2.1 移动IP系统的功能模块

移动IP协议定义了3种实体：移动节点MN、家乡代理HA和外部代理FA。按照协议要求，这三种实体应分别具有以下功能模块：

(1)MN进程应有以下功能模块：端口监听模块、代理请求模块、注册请求模块和注册应答处理模块；

(2)外地代理FA进程应有以下功能模块：监听、代理请求处理、发送代理广播消息、注册处理、注册应答处理、隧道报文处理；

(3)家乡代理HA进程应有以下功能模块：监听、代理请求处理、发送代理广播消息，注册处理、注册应答处理、隧道封装处理。

上面的3个功能模块均可以通过对相关协议的补充和修改来实现，即通过对协议软件的编程操作来完成。

2.2 移动IP系统的基本实现方式

移动IP协议是TCP/IP协议族的增强和补充，它的实现也是基于现有现行操作系统的TCP/IP协议栈。由于家乡代理HA的功能和外地代理FA的功能基本相同，所以在实现上可以将它们整合在一起，统一称作代理进程。

根据MH和HA/FA的功能以及对漫游的定义，移动IP协议软件由MH进程（客户端）和代理进程（服务器端）构成，它们分别运行在MH和HA/FA上。MH进程通过套接口调用IP、ICMP、及ARP协议来实现，代理进程由HA与FA进程构成，通过套接口调用IP、ICMP、ARP、及隧道协议来实现。根据移动IP协议软件与利用现有TCP/IP协议的方法，可以化分出两种实现方式：

(1)移动IP协议软件与TCP/IP栈相对独立，系统在用户空间通过守护进程实现，通过TCP/IP栈提供的调用接口对ARP表、路由表进行修改，实现数据报的正确路由。这种方式要求TCP/IP栈提供较强的接口。

(2)移动IP协议软件与TCP/IP栈融为一体，直接修改TCP/IP协议栈内核源代码实现。显然，为了支持移动而重新编写全部的TCP/IP栈是不切实际的。

这两种实现方式各有千秋。第一种方式较灵活，兼容性强，但程序频繁地在内核与用户空间切换，效率较低。第二种方式因与TCP/IP栈的具体实现有关，所以不便于在不同的平台之

间移植。但第二种方式的效率较高。

2.3 开发平台的选择

现在比较流行的操作系统有 Microsoft WIN32 系列和 UNIX 族操作系统。

Microsoft WIN32 系列是微软开发的桌面操作系统,现已成为 PC 机的主流操作系统。无疑,为了商业上的应用,在它们上开发移动 IP 协议软件是最有前景的。Microsoft WIN32 系列的内核中都集成了微软自己的 TCP/IP 协议栈。由于微软产品的源代码是不公开的,所以,不可能在 Microsoft WIN32 系列上采用第二种方式开发移动 IP 协议软件。

对于 TCP/IP 协议栈,WIN32 平台提供了 UNIX Socket 风格的编程界面 WinSocks,它是由多个大厂商联合制订的 WIN32 下的 Socket 编程界面标准。WinSocks2.0 支持对采用不同地址机制的传输服务(例如 TCP/IP 和 IPX)提供相同的 Windows 编程界面。非常不幸,由于考虑到可移植性,WinSocks 对许多涉及低级操作的 Socket 功能没有提供支持,而且恰恰就包含了对移动 IP 协议软件至关重要的 `ioctl()` 函数和源 Socket 的支持。也就是说,同样很难在 Microsoft WIN32 系列上采用第一种方法来实现移动 IP 协议软件。

我们再来看 UNIX 族操作系统。TCP/IP 协议族起源于 UNIX,并随加州大学伯克利分校的 BSD UNIX 的广泛使用而流行。UNIX 的 TCP/IP 编程接口 Socket 也是 TCP/IP 编程接口的事实工业标准。到目前为止,在所有的 TCP/IP 编程接口中,UNIX 的 Socket 还是功能最强的。大家都公认 BSD UNIX 是最合适的 TCP/IP 开发平台。UNIX 有许多的种类,如 SUN/OS、SCO UNIX、Linux 等。在这些 UNIX 操作系统中,较佳的开发平台是 Linux。首先 Linux 是一种基于 PC 的类 UNIX 操作系统,这就便于在现有的常用普通硬件条件下构造试验环境。第二,Linux 也是一种实现的比较完全的 UNIX,它是 BSD UNIX 和 System V 的混合体,支持 POSIX,各种编程工具应有尽有,便于开发人员在其上开发漫游软件程序和向其它平台移植。第三,Linux 是一个免费的操作系统,它的全部的公开源代码,为了解它的内部结构和修改 TCP/IP 栈代码提供了很大的方便。第四,Linux 的 Socket 是一般 UNIX 的 Socket 的超集,目前,已经在 Linux 中实现了隧道和双向隧道功能,这对开发漫游软件非常有利。

总而言之,基于 UNIX 操作系统平台开发和实现移动 IP 系统是首选,而适宜于 PC 环境的 Linux 则是目前的最佳选择。

3 移动 IP 系统实现案例

目前绝大多数移动 IP 实现案例都是基于 Linux 操作系统平台的,所以,在这里,我们选择新加坡国立大学(NUS)和美国斯坦福大学的 MIP 实现系统进行分析。

3.1 NUS 的 MIP 实现系统

NUS 的移动 IP 实现系统遵循 RFC 2002 规范,采用 HA-FA 代理转发机制,MH 使用的是外地代理的转交地址。早期,NUS 将 MIP 系统实现在 Linux 的用户空间。但是,由于通过标准的 BSD Socket 接口不能够获得对内核的充分的访问操作权限,比如,如果能够监测并控制内核的 ARP 栈,就可以避免外地链路上的 MH 发送 ARP 解析报文,然而,标准的 BSD Socket 接口却无法提供对内核 ARP 栈的存取操作。所以,NUS 研制小组开发重点从用户空间转入系统内核。

实现系统中包括 3 个基本的功能实体:移动主机 MH、家乡代理 HA 和外地代理 FA,每一个实体都是有两部分模块构成,一个是内核栈,另一个是运行在用户空间的守护进程或用户程

序。这个 Mobile IP 内核栈执行所有基本移动 IP 的功能,并且它与其他内核栈,包括 TCP/IP 协议栈,是相互独立的。守护进程则作为运行服务器,监听内核栈状态并适当采取动作来维护缺省的移动绑定信息。用户可以利用客户程序向服务器发送原语来人工控制移动绑定的内容。

守护进程通过发送原语来和内核栈通信。原语是指在两个通信层协议之间用于一个服务请求的消息。NUS 的守护进程与内核栈的通信是通过系统调用 `ioctl()` 和 `recvfrom()` 来实现。其中, `ioctl()` 用于给内核栈发送消息并最终引起内核栈的元素的改变。而 `recvfrom()` 则可以通过一个 Socket 接受相关的内核消息。这里使用的是 UDP 的 Socket,端口号为 434 (Mobile IP 保留)。

系统还提供了一种基于现存 TCP/IP Socket 的应用编程接口调用方法,用户可以使用这种系统调用来监控内核栈。在这种情况下,就规定了用于 Mobile IP 内核栈和用户空间守护程序之间的通信一些基本原语。这些基本原语对于系统实现是很关键的。

为了降低复杂性,增强健壮性和减少浪费带宽,系统使用了软状态控制机制。软状态是指由协议操作产生并且需要不断刷新,否则时间到会失效的一种软件控制的状态。采用了网络层的软状态控制机制,可以确保状态的合法有效,从而用最少的开销获得强大的健壮性和高度的对拓扑驱动事件的自适应性。

NUS 的 MIP 实现系统一个创新点在于它扩展了 FA,引入了邻近代理群模型(简称为 PPM)。邻近代理群可以解决 MH 远程频繁注册问题。方法是:在一个自治系统中设立一个 FA,和与之相关联的一个固定的服务器代理,或者多个服务器代理,然后在整个自治系统范围内配置相当数目的客户代理,并在每个客户和那个关联的服务器之间建立和维护长设隧道,就可以解决这个问题。这时候, MH 可以在客户代理之间、客户代理和移动代理之间,进行快速漫游切换。只有当 MH 离开当前的自治系统,进入到另外一个自治系统时,才需要重新向 HA 注册。事实上,邻近代理群还可以对层次式的 FA 代理群进行优化,主要是增强健壮性和平衡链路负载。

3.2 Stanford 的 MIP 实现系统

作为斯坦福大学移动计算项目 MosquitoNet 系统的一个重要组成部分,Stanford 的移动 IP 实现系统同样遵循 Mobile IP 的基本协议规范,但它采取了没有 FA 的纯粹 HA 代理服务体系,当 MH 漫游到外网时,使用所获得的外地子网 IP 地址作为配置转交地址,在 HA 和 MH 之间直接建立隧道来进行数据传送。

按照 Stanford 研究人员的观点,如何确保 MH 在漫游过程中,获得便捷和高效的通信服务,是移动计算网络研究的一个关键领域,Mobile IP 基本协议虽然实现了移动节点的漫游功能,但是它在 MH 通信性能的优化方面,还有许多需要补充和改进的地方。所以,Stanford 解决方案在遵循 Mobile IP 基本协议规范的基础上,重点关注的是在节点的网络层上,数据报的路由传递转发的功能实现的最大灵活性,他们的工作是基于以下的观察:MH 在漫游过程中,充当着两个不同含义的角色,一方面, MH 是保持着与家乡网络虚拟连接的一个节点;另一方面,它又是所访问的外地网络上的一个节点。并不是 MH 上所有的应用都需要移动 IP 支持,比如,WEB 浏览数据流就不需要移动性支持。这时,如果把 MH 看作所访问的外地网络的一个普通节点,则通信服务可能更有效率。

为了实现带移动性绑定的全面路由机制,Stanford 引入一个移动策略表 MPT,并扩充常规 IP 路由查找进程的功能,使在进行数据包转发决策的处理过程中,路由查找进程将移动策

略表 MPT 和普通的路由表合在一起考虑。移动策略表基于通信对端主机地址和端口号进行选择匹配,它指明了符合设定条件的每一个信息流的数据包应该如何发送和接收,若是需要节点透明移动性支持的应用,使用节点的固定家乡网络地址进行路由;若不需要,使用当前外部转交地址。其中,通信主机地址反映了数据包的目的地址所在,而端口号则说明了数据流所属的应用类型。

另外,Stanford 实现方案支持多重的激活网络接口,可以控制各种进出数据流按照设定的策略选择所合适的网络接口来使用。

4 结束语

移动 IP 技术自 1996 年被确定以来,各方面都给予了高度重视和积极研究。本文总结了移动 IP 系统的一般实现原理,指出移动 IP 技术一般实现在类 UNIX 平台上。接着分别以 NUS、Stanford 的实现案例,分析了移动 IP 技术在 Linux 中的实现方式。我们注意到,NUS 的实现系统按照移动 IP 的通用模式,重点实现和完善 HA/FA 服务器端的技术性能,提出代理扩展和邻近代理群模型,尽量简化 MH 和 CH 的功能要求,使系统对当前的 Internet 环境的要求减到最少,最大程度保证实现系统对 Internet 的透明性。Stanford 的实现系统则强调如何让漫游的 MH 可以更方便灵活地获得网络服务,为此,系统采取单端的转发服务体系,只设立了家乡代理 HA,漫游的 MH 使用的是配置转交地址,重点是增强 MH 的相关的网络功能,使得它在动态变化的环境中,保持灵活的网络通信能力。这些都对我们今后开展移动 IP 技术研究具有指导意义。

参考文献

- 1 Perkins C. IP mobility support. RFC2002, October 1996.
- 2 James D. Solomon. 移动 IP. 北京:机械工业出版社,2000.
- 3 Li Yunzhou. An implementation of mobile IP within Linux kernel. Thesis for Master Degree of Science, National University of Singapore. 1998.
- 4 Foo Chun Choong. Providing Mobility Support in the Internet; The NUS Mobile IP Project. <http://mip.nus.edu.sg/paper/NUSMIPProject.txt>.
- 5 Li Yunzhou. Proximity Proxies for Mobile Nodes and Mobility Agents. IETF draft. <http://mip.nus.edu.sg/yunzhou-li.html>.
- 6 Xinhua Zhao, Claude Castellucia, Marry Baker. Flexible network support for mobility. In: Proceedings of the ACM/IEEE MobileCOM'98.
- 7 Richard Stevens W. UNIX 网络编程. 第 1 卷. 北京:清华大学出版社,1999.

(责任编辑:蒋汉明)