

基于 AARP 协议的移动 IP 算法及其性能分析

张 宁, 晋晓辉, 刘增基, 郭 峰

(西安电子科技大学 综合业务网国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘 要: 基于 RFC2002 的移动因特网协议 (Mobile Internet Protocol, MIP), 解决了因特网协议 (Internet Protocol, IP) 不支持节点跨子网漫游的问题, 但要求移动节点必须具备动态修改路由表的功能; 而在实际中广泛应用的操作系统, 特别是 Windows9x/Me 等系统不支持对路由表的动态改变, 这严重制约了移动 IP 的应用与推广. 本文提出了主动 ARP (Active ARP, AARP) 协议, 并在此基础上设计了一种新的移动 IP 算法. 实验和分析表明, 该算法在不引起性能下降的同时, 克服了以往移动 IP 算法难以在 Windows 等系统上实现的缺点, 极大扩展了移动 IP 的应用范围, 并且易于实现、兼容性强、便于用户使用. 同时, 虽然该协议主要是针对 Windows 系统设计的, 但也适用于其他许多操作系统.

关键词: 移动 IP; ARP; 路由

中图分类号: TN915.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 08-1272-04

The Implementation and Performance Analysis of the Algorithm of Mobile IP Based on Active ARP Protocol

ZHANG Ning, JIN Xiaohui, LIU Zengji, GUO Feng

(National Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xidan, Shaanxi 710071, China)

Abstract: The mobile IP protocol based on RFC2002 can solve the problem that TCP/IP can't support a node roaming among subnets, only if the mobile node has the ability to modify its route table dynamically. While in practice, many typical operating systems such as Windows9x/Me etc. can't satisfy the above conditions, which restricts the utilization and the generalization of mobile IP seriously. So a new protocol named active ARP (AARP) protocol, and the mobile IP algorithm based on it have been proposed in this paper. Experiments and the analysis show that the protocol can be implemented on WIN platform easily and can be used by users more expediently with the performance not being deteriorated, which overcomes the disadvantage of the classical mobile IP algorithm that is hard to implement on Windows and extends the application field of mobile IP greatly. Further more, the protocol can apply not only to windows but also to other operating systems.

Key words: mobile IP; ARP; routing

1 引言

移动 IP 协议^[1-4]解决了传统 TCP/IP 协议不支持节点跨子网漫游的问题. 由于该技术巨大的市场潜力和社会效益, 人们对其进行了广泛研究^[5,6]. 许多公司、大学已编写了移动 IP 软件^[8-13], 但绝大多数都是基于 Linux 等操作系统, 而基于 Windows 系统的实现极少且至今未完全测试成功^[13]. 这主要是因为 Windows 系统不支持对路由表的动态修改. 鉴于 Windows 的绝对市场份额, 这严重制约了移动 IP 技术的应用和推广.

2 现有协议简介及在 Windows 平台上实现的难点

移动 IP 协议要求移动节点通过接收家代理或外地代理的代理公告来判断自己目前的位置和状态, 动态修改路由表, 实现跨 IP 子网的漫游. 而在 Windows95/98/Me 等操作系统中

对路由表的修改要在系统重新启动之后才起作用, 这必会导致移动节点在不同 IP 子网间移动过程中各种网络应用中断, 无法实现对 IP 移动性的支持.

为使 Windows 系统支持动态修改路由, Politechnica 大学和赫尔辛基大学分别开发了支持移动的 TCP/IP 协议中间层驱动器 (mobility driver)^[12] 和利用 WinPcap 软件包所提供的 API 直接对底层网络接口进行操作, 以实现 Windows 版的移动 IP, 但目前还未完全通过检测^[13]. 上述做法涉及对 Windows 内核的开发或需要外挂大量第三方软件, 不仅实现难度大、可移植性差, 而且对普通用户来说其安装和使用非常繁琐.

3 基于 AARP 协议的移动 IP 算法

3.1 AARP 协议原理

每个网络节点中都维持一张路由表和 ARPcache 绑定表,

以表驱动的方式实现数据报的发送^[7]. 基于此, 本文提出了一种新的 ARP 协议))) AARP.

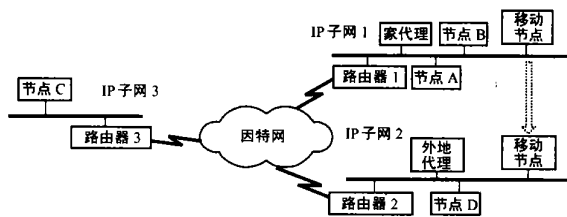


图 1 移动 IP 协议网络拓扑结构图

图 1 中, IP 子网 1 和子网 2 分别是移动节点的家网和所访问的外地网, 移动节点的默认网关为路由器 1, 设路由器 1、外地代理和节点 A 的 IP 地址和 MAC 地址如表 1.

表 1 各节点 IP 的地址和 MAC 地址

| 节点 | IP 地址 | MAC 地址 |
|-------|--------|---------|
| 路由器 1 | IP. gw | MAC. gw |
| 外地代理 | IP. fa | MAC. fa |
| 节点 A | IP. a | MAC. a |

下面分情况讨论如何用主动 ARP 协议实现移动 IP.

移动节点在家网

这是指移动节点初始通信时就在家网和移动节点从外地网回到家网且已完成切换的情况. 这时移动节点按 IPv4 协议进行数据报收发. 假设它正在和节点 A 和 C 通信, 通过 ARP 操作, 其 ARP cache 表应包含路由器 1 和节点 A 的 IP 地址和 MAC 地址的绑定, 如表 2(a).

移动节点移动到外地网

移动节点通过接收外地代理的代理公告判断出它本身移动到了外地网时, 则执行 AARP 协议: 将默认网关的 IP 地址和外地代理的 MAC 地址在 ARP cache 中进行主动地绑定, 并且利用家网 IP 地址的网络掩码推算出家网中其他节点的 IP 地址的范围, 将各个 IP 地址和外地代理的 MAC 地址进行绑定, 这时它的 ARP cache 表如表 2(b).

表 2(a) 移动节点在家网时 ARP cache 表

| IP 地址 | MAC 地址 | 属性 |
|--------|---------|---------|
| IP. gw | MAC. gw | Dynamic |
| IP. a | MAC. a | Dynamic |

表 2(b) 移动节点在外地网时 ARP cache 表

| IP 地址 | MAC 地址 | 属性 |
|--------|---------|--------|
| IP. gw | MAC. fa | Static |
| IP. a | MAC. fa | Static |

移动节点和节点 C 通信时, 数据报应由默认网关转发, 通过查询 ARP cache 表, 移动节点将利用外地代理的 MAC 地址发送数据报, 故该数据报会直接发往外地代理, 外地代理具有路由功能, 它会根据数据报中的目的 IP 地址进行相应的转发. 当移动节点与节点 A 通信时, 由于节点 A 的 IP 地址所对应的 MAC 地址也已被改为外地代理的 MAC 地址, 故发往节点 A 的数据报也会直接发往外地代理, 再由外地代理转发. 这样在不改变路由的情况下, 移动节点在跨 IP 子网的漫游时发往家网和外地网节点的数据报都可通过外地代理的转发实现. 上述对 ARP cache 表的操作不同于标准的 ARP 操作要根据 ARP 应答报文来被动改变^[7], 而是移动节点主动进行 IP 地址和 MAC 地址绑定, 故称该协议为主动 ARP 协议.

移动节点回到家网

移动节点可从家代理的代理公告和当前状态判断出自己已在家网, 这时, 它清除 ARP cache 表, 随后它就可以通过正常的 ARP 操作, 重建 ARP cache 表并发送数据报.

考虑到在许多操作系统中会定时或不定时地自动清除 ARP cache, 移动节点在外地网改变 ARP cache 的绑定时应将其属性设为静态, 保证其不会被系统更新; 而在家网时, ARP cache 的属性则应恢复为动态, 以响应本子网的网络变化.

AARP 协议其实质是改变 MAC 地址与 IP 地址的映射关系, 使漫游对 IP 层透明. 在 TCP/IP 协议分层结构中, ARP 介于 IP 层和 MAC 层之间, 通过对它的操作实现漫游在理论上和实际上是完全可行的.

312 基于主动 ARP 协议的移动 IP 算法描述

根据 311 所述, 基于主动 ARP 协议实现移动 IP 的移动节点的具体算法如下:

```

int location= 0; // location 表示移动节点当前位置, 0) 家网, 1) 外地网. 初始设置为家网,
主动 ARP 协议(代理公告)
{
    if(代理公告为外地代理发出){ // 移动节点在外地网
        if(外地代理改变|| locaion= = 0){ // 移动节点移动到新的外地网
            从代理公告中提取外地代理的 MAC 地址;
            在 ARP cache 中将默认网关的 IP 地址与该 MAC 地址进行绑定;
            将家网中各节点的 IP 地址与外地代理的 MAC 地址进行绑定;
            将上述 ARP cache 绑定的属性设为静态;
            location= 1;
        }
    }
    else if(location= 1){ // 移动节点回到家网;
        清除 ARP cache;
        location= 0;
    }
}

```

图 2 主动 ARP 协议算法流程图

图 2 中, 家网中各节点的 IP 地址范围可利用本机的 IP 地址和网络掩码得出, 由于现在普遍将 IP 网络进一步划分为 IP 子网, 一个 IP 子网中的节点数一般只有几十个(最大通常不超过 254 个), 实际中一个循环语句就可完成 ARP cache 绑定, 且在现有计算机上实现用时极短. 另外, 因为移动节点在外地网时不能发送 ARP 请求获取外地代理的 MAC 地址, 而在 W2 news 系统中截获报文的 MAC 头也相当困难, 为进一步简化算法, 可在代理公告中加入代理的 MAC 地址, 避免了移动节点对代理 MAC 地址的处理. 考虑到代理公告的发送周期较长和原代理公告的字节数较大(\ 54), 增加的 6 个字节 MAC 地址并没有增加多少网络开销, 而方便了算法实现, 节省处理时间. 移动 IP 协议中涉及的其他算法如: 家代理、外地代理广播公告, 移动节点的注册, 家代理截获发往移动节点的数据报并建立到外地代理的隧道^[14]等算法与经典移动 IP 中相似.

Windows 系统中,在用户态调用 MSDN 的应用程序接口可直接对处于系统核心态的 ARP cache 操作就可实现 AARP,具有良好的兼容性.

基于主动 ARP 的移动 IP 算法无需外挂第三方软件也不改写系统的 TCP/IP 协议栈,这大大降低了开发难度.

4 实验结果与性能分析

根据本文提出的主动 ARP 协议,我们在 Windows98 系统上实现了上述移动 IP 算法,并利用西安电子科技大学校园网的一部分,构建了实验平台如图 3,并考察分析其性能.

▫ 应用透明性

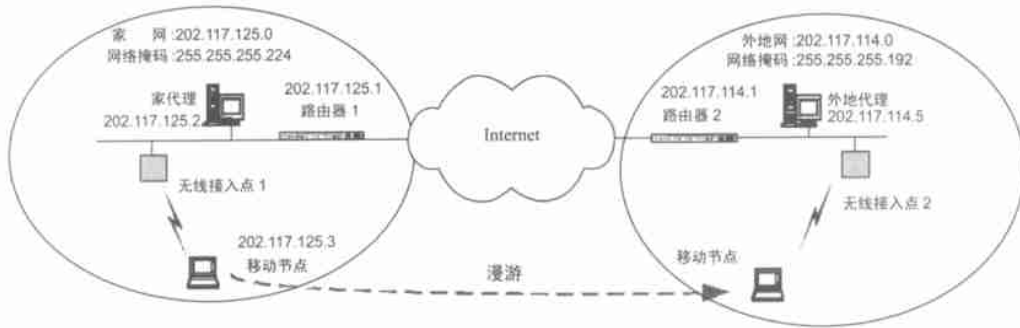


图 3 实验平台

▫ 性能透明性

性能透明性指移动节点的性能如通信能力、应用软件的性能并不因主机的移动而有明显的下降。在相同的实验平台上还运行了赫尔辛基于 RFC2002^[1]的 Linux 版移动 IP 协议软件^[13],鉴于网络上绝大部分应用都基于 TCP 协议,可用 ftp 协议从远端(ftp.netscape.com)下载大文件来测试和对比两种协议对 TCP 性能的影响。这时,对收发速率的影响主要取决于网络时延和协议设计,故所得的测试结果是可比的。分三种情况测试 TCP 的性能: 1 移动节点在家网; 2 移动节点在外地网; 3 移动节点在家网和外地网之间漫游,每 30 秒切换一次。为消除网络时变的影响,采取交叉测试,各做 10 组,取平均值作为结果如图 4 所示。

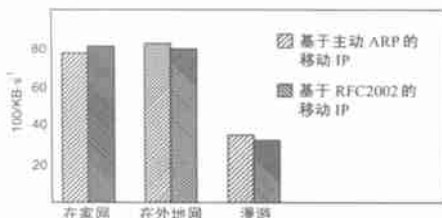


图 4 ftp 性能比较

可以看出,两种协议的性能几乎没有差别,且都满足一般应用的需要。理论上,本文的算法同 RFC2002 相比,用 AARP 协议代替了对路由表的修改,移动节点对二者的处理时间几乎是相同的,再考虑到移动节点的处理时间同注册时延相比基本上可忽略不计,由于没有引入新的开销,故其性能相同.

▫ 安全性

RFC2002 禁止移动节点在外地网发送 ARP^[1],主动 ARP

实验表明移动所造成的影响在应用层以下被完全吸收,支持 WWW,ftp 等主要 Internet 业务。由于主动 ARP 协议对 IP 层是透明的,故它兼容所有的上层 IP 应用;另外,对于 Windows 系统来说由于漫游过程中不需动态改变路由表,不会要求系统重启而导致上层应用中断.

▫ 操作透明性

操作透明性指移动节点的移动不会引起用户进行特殊的操作,如对网络参数的重新配置,移动主机的重启等。除了移动节点在开机时要启动基于主动 ARP 协议的移动 IP 软件外,移动节点的整个漫游过程都不需用户干预.

协议直接操作 ARP cache 表,避免了这个问题,没有因为移动对 TCP/IP 协议增加不安全因素.

5 结论

本文提出了 AARP 协议,设计了新的移动 IP 算法,并在 Windows 系统上实现。实验结果和性能分析表明它完全满足应用、性能、操作的透明性以及安全性等各方面的要求。由于本协议用 Windows 系统本身提供的通用 MSDN 应用程序接口在用户态开发,与以往的方案相比,不仅降低了开发难度和成本而且具有良好的兼容性,基于 Windows98 开发的实现可直接应用于 Windows Me/NT2000 等系统,并易于使用。该算法极大扩展了移动 IP 的应用范围,使移动 IP 实用化成为可能。另外还需强调的是,本文的算法是一个完整的移动 IP 算法,同样适用于 Linux、FreeBSD 等其它系统.

参考文献:

- [1] C Perkins. IP Mobility Support [S]. RFC2002, October, 1996.
- [2] Pravin Bhagwat, Charles Perkins, Satish Tripathi. Network layer mobility: an architecture and survey [J]. IEEE Personal Communication Magazine, 1996, 3(3): 54-64.
- [3] C Perkins. Mobile IP [J]. IEEE Comm., 1997, 35(5): 84-99.
- [4] C Perkins. IP Encapsulation within IP [S]. RFC2003, October, 1996.
- [5] 刘凯,李建东.多跳结构分组无线网络的分析 [J]. 电子学报, 1999, 27(11A): 80-85.
- [6] C Perkins. Mobile networking in the internet [J]. Mobile networking and applications, 1998, 3: 319-334.
- [7] W R Stevens. TCP/IP Illustrated, Volume 1 [M]. Addison-Wesley,

1994. 38- 40.

- [8] MosquitoNet Mibile Computing Group, Linux Mobile IP. <http://mosquitonet.stanford.deu/mip/>.
- [9] Sun Microsystems, Inc. The Mobile2IP Playground Archives. <http://playground.sun.com/pub/mobile2ip/>.
- [10] The CMU Monarch Project. <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>.
- [11] Jon Inouye, Jim Binkley, Jonathon Walpole. Dynamic Network Support for Mobile Computers [A]. Proceedings of the Third ACM/ IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom97 [C]). Budapest, Hungary, September, 1997. 26- 30.
- [12] Traian C IONESCU et.c. Mobile IP on Windows NT. <http://mip2nt.aui.pbu.ro/>.
- [13] Dynamics group, Dynamics2HUT Mobile IP. <http://www.cs.hut.fi/Research/Dynamics/>.

作者简介:



张 宁 男, 1969 年 12 月出生 于江苏省南京市, 1998 年于西安电子科技大学获硕士学位, 现为西安电子科技大学博士研究生, 研究方向为移动 IP, WLAN, 路由技术等.

晋晓辉 男, 1973 年出生于山西, 分别于 1997 年和 2002 年在西安电子科技大学获硕士和博士学位, 研究方向为 WLAN, QoS, IPv6.

刘增基 男, 1937 年 11 月出生 于浙江丽水, 1960 年毕业于西安军事电信工程学院, 教授, 博士生导师, 中国通信学会会士, 享受政府特殊津贴, 主要研究方向为下一代信息网络的理论及关键技术.