

移动通信前沿技术丛书

移动IP技术

孙利民 阚志刚 郑健平 王在方 廖勇 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

移动通信前沿技术丛书

移动 IP 技术

孙利民 阚志刚 郑健平 王在方 廖 勇 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面介绍了移动 IP 及其相关技术的最新发展。书中首先详细描述了两个基本的移动 IP 协议——移动 IPv4 协议和移动 IPv6 协议,然后逐章讨论了移动 IP 的相关技术,包括移动 IP 的切换技术、服务质量机制、安全机制和组播技术等,还简单说明了与移动 IP 相关或类似的其他技术。最后详细分析了移动 IPv6 在 Linux 系统上的实现 MIPL。本书是在移动 IP 技术的相关国家自然科学基金项目和国家 863 高科技发展计划项目研究成果基础上完成的。

本书内容丰富,覆盖面广,叙述深入浅出,可作为对下一代 Internet、无线通信,特别是移动 Internet 感兴趣的工程技术人员和大专院校师生的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

移动 IP 技术 / 孙利民等编著. —北京: 电子工业出版社, 2003.8

(移动通信前沿技术丛书)

ISBN 7-5053-8754-5

I. 移… II. 孙… III. 移动通信—通信协议 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 040048 号

责任编辑: 张立红 zlh@phei.com.cn

印 刷: 北京天宇星印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.75 字数: 480 千字

版 次: 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 6 000 册 定价: 29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077

前 言

Internet 技术的热点——移动 IP 技术

Internet 已经深入到我们生活的方方面面,成为很多人日常活动不可缺少的部分。目前主要采用固定接入方式使用 Internet,这在很多方面限制了 Internet 的进一步应用。随着人类生活节奏的加快,需要在任何地点、任何时候都能获得 Internet 服务,这使得提供移动的 Internet 接入成为当前 Internet 技术研究的热点之一。移动 IP 是在原来 IP 协议的基础上为了支持节点移动而提出的解决方案,让人们不论在家中或办公室,还是在火车或飞机上都能通过笔记本电脑等,随时连接到 Internet。

移动 IP 的主要设计目标是移动节点在改变网络接入点时,不必改变节点的 IP 地址,能够在移动过程中保持通信的连续性。移动 IP 技术让用户能够在漫游过程中自由地实现 Internet 接入,得到个性化的内容服务。在 3G 标准 IMT2000 中也已明确规定,第三代移动通信系统必须支持移动 IP 分组业务。移动 IP 不是移动通信技术和互联网技术的简单叠加,也不是无线语音和无线数据的简单叠加,它是移动计算和 IP 协议的深度融合,也是对现有移动通信方式的深刻变革。Internet 工程任务组(IETF, Internet Engineering Task Force)成立专门小组研究和标准化移动 IP,推动移动 IP 的发展和应用。

本书内容

本书是全面介绍移动 IP 及相关技术最新发展的专著,全书总共分为 9 章。

第 1 章“移动 IP 概述”综述了移动 IP 的产生、基本概念和关键技术。

第 2 章“移动 IPv4”说明了移动 IPv4 的基本操作过程,详细给出了移动 IPv4 中代理发现机制、注册过程和路由机制。

第 3 章“移动 IPv6”说明了移动 IPv6 的主要术语、基本操作和与移动 IPv4 的不同之处,讨论了移动 IPv6 的安全性问题以及各种通信机制。

第 4 章“移动 IP 的切换技术”介绍目前提出的基于移动 IPv4 的低延迟切换,以及基于移动 IPv6 的快速切换、平滑切换和层次型移动 IPv6 等机制。

第 5 章“移动 IP 的服务质量技术”,分析了移动环境对服务质量的影响,讨论了移动 IP 中提供服务质量的框架、服务质量的信令和协商机制。

第 6 章“移动 IP 的安全技术”分析了移动 IPv4 和移动 IPv6 的安全问题,提出了移动 IP 的安全解决方案。

第 7 章“移动 IP 的组播技术”介绍了目前提出的支持主机移动的组播协议,以及支持主机移动的可靠组播协议。

第 8 章“移动 IP 的相关技术”分别简要介绍了无线自主网、无线局域网和卫星网络的特点和主要通信机制。

第 9 章“移动 IP 的实现”,介绍在 Linux 系统上移动 IP 的实现软件 MIPL(Mobile IPv6 for Linux),详细分析了其实现源代码,给出了主要模块的框图。

作者简介

本书作者承担了关于移动 IP 技术的国家自然科学基金项目 (No.60272078) 和国家 863 高科技发展计划项目 (No.2001AA112051)。孙利民是这两个项目的负责人, 确定全书目录和组织本书的编写, 与各章作者进行了详细的讨论, 并具体编写了第 1 章、第 7 章和 8.1、8.3 节, 第 2 章由王在方和廖勇编写, 钟凌华参与了部分修改工作, 第 3 章由王在方编写, 第 4 章由廖勇和张灏编写, 第 5 章由阚志刚和黄奎编写, 第 6 章由郑健平编写, 8.2 节由盛凌志编写, 第 9 章由叶驰编写。本书是在课题研究的基础上, 对其中的基本知识、关键技术的总结, 是作者经过多次讨论和交流共同劳动的结晶。本书作者除了诺基亚的阚志刚博士外, 其余都是中科院软件所多媒体通信和网络工程研究中心无线研究小组的成员。

由于作者的水平有限, 加之时间仓卒, 书中的不足之处在所难免, 敬请广大专家和读者批评指正。

作者

目 录

第 1 章 移动 IP 概述	1
1.1 移动 IP 的产生	1
1.1.1 移动 IP 解决的问题	2
1.1.2 移动 IP 的应用范围	2
1.1.3 移动 IP 的设计目标	2
1.2 移动 IP 的基本概念	3
1.2.1 移动 IP 的基本术语	3
1.2.2 移动 IP 的基本操作	5
1.3 移动 IPv6 协议	6
1.3.1 IPv6 协议	6
1.3.2 移动 IPv6 的基本操作	7
1.3.3 与移动 IPv4 比较	11
1.4 移动 IP 中的关键技术	13
1.4.1 移动切换	13
1.4.2 移动安全	15
1.4.3 服务质量	16
1.4.4 组播技术	17
第 2 章 移动 IPv4	19
2.1 IPv4 基础	19
2.1.1 TCP/IP 网络的层次结构以及 IP 协议	19
2.1.2 IPv4 编址	20
2.1.3 IPv4 分组格式	20
2.1.4 IP 路由选择	21
2.1.5 IP 封装	21
2.2 移动 IPv4 概述	23
2.2.1 协议概述	24
2.2.2 代理发现	24
2.2.3 移动 IPv4 中的注册	24
2.2.4 移动 IPv4 的路由	26
2.2.5 移动 IPv4 的基本操作过程	28
2.2.6 对当前协议的修改	29
2.3 移动 IPv4 中的代理发现机制	30
2.3.1 代理通告的实现机制	30
2.3.2 代理通告对 ICMP 路由器通告的扩展	31
2.3.3 代理请求	33
2.3.4 代理发现机制对外地代理和家乡代理的要求	33

2.3.5	代理发现对移动节点的要求	34
2.4	移动 IPv4 的注册	36
2.4.1	注册请求消息和注册应答消息	36
2.4.2	注册认证扩展	39
2.4.3	注册过程对移动节点的要求	40
2.4.4	注册过程对外地代理的要求	45
2.4.5	注册过程对家乡代理的要求	48
2.5	移动 IPv4 的路由	52
2.5.1	单播数据分组的路由	52
2.5.2	广播数据分组的路由	53
2.5.3	组播数据分组的路由	54
2.5.4	移动路由器	54
2.5.5	ARP, Proxy ARP 和 Gratuitous ARP	56
小结		58
参考文献		58
第 3 章	移动 IPv6	59
3.1	IPv6 协议	59
3.1.1	IPv4 协议存在的问题	59
3.1.2	IPv4 升级到 IPv6	60
3.1.3	IPv6 简介	62
3.1.4	在 IPv6 中支持移动	66
3.2	移动 IPv6 协议概述	66
3.2.1	与移动 IPv4 协议的比较	67
3.2.2	常用的术语	68
3.2.3	协议的基本操作过程	69
3.2.4	对基本 IPv6 协议的修改	71
3.2.5	概念性数据结构	72
3.3	移动 IPv6 的安全性	72
3.3.1	安全威胁	73
3.3.2	移动 IPv6 协议提供的安全机制	74
3.3.3	返回路径可达过程	75
3.4	移动 IPv6 的消息/选项格式	78
3.4.1	移动报头及消息格式	78
3.4.2	移动选项 (Mobility Options)	83
3.4.3	家乡地址选项 (Home Address Option)	84
3.4.4	第二类路由头	85
3.4.5	ICMP 家乡代理地址发现请求和响应	85
3.4.6	ICMP 移动前缀请求和通告	86
3.5	对 IPv6 邻居发现机制的修改	88
3.5.1	修改的路由器通告消息	88

3.5.2	修改的前缀信息选项	88
3.5.3	新的通告间隔选项	89
3.5.4	新的家乡代理信息选项	90
3.5.5	对路由器通告发送规则的修改	90
3.5.6	对路由器请求发送规则的修改	91
3.5.7	对重复地址检测的修改	91
3.6	移动 IPv6 协议的主要操作过程	92
3.6.1	概念性数据结构及其管理	92
3.6.2	移动检测过程	94
3.6.3	转交地址的形成过程	96
3.6.4	自动发现家乡代理的地址	97
3.6.5	家乡网络前缀的自动配置	99
3.6.6	移动节点和家乡代理的绑定管理	101
3.6.7	移动节点和通信对端的绑定管理	104
3.6.8	移动节点的绑定管理	105
3.6.9	分组通信	107
3.6.10	ICMP 错误消息的处理	113
3.7	对 IPv6 节点的要求	114
3.7.1	所有 IPv6 节点	114
3.7.2	支持路由优化的 IPv6 节点	114
3.7.3	所有 IPv6 路由器	114
3.7.4	对所有 IPv6 家乡代理的要求	115
3.7.5	对 IPv6 移动节点的要求	115
	小结	116
	参考文献	116
第 4 章	移动 IP 的切换技术	117
4.1	移动 IPv4 低延迟切换技术	117
4.1.1	切换延迟和解决方法	117
4.1.2	第二层触发	118
4.1.3	预先注册切换方法	119
4.1.4	过后注册切换方法	121
4.1.5	联合切换方法	124
4.2	移动 IPv6 快速切换技术	124
4.2.1	协议描述	124
4.2.2	快速切换机制的分类	125
4.2.3	预先切换	125
4.2.4	基于隧道的切换	127
4.3	IPv6 平滑切换技术	130
4.3.1	框架描述	130
4.3.2	移动控制网络协助/不协助 (MCNA)	132

4.3.3 网络控制移动协助切换 (NCMA)	132
4.4 层次型移动 IPv6 管理模型	132
4.4.1 HMIPv6 概述	133
4.4.2 HMIPv6 的扩充	134
4.4.3 MAP 发现	135
4.4.4 基本模式	136
4.4.5 扩展模式	137
4.4.6 两种模式的比较	139
小结	140
参考文献	140
第 5 章 移动 IP 网络中的服务质量技术	141
5.1 固定 Internet 的服务质量机制	141
5.1.1 QoS 概述	141
5.1.2 集成服务	143
5.1.3 差分服务	144
5.1.4 QoS 策略	145
5.1.5 移动环境对移动 IP 中 QoS 的影响	145
5.2 移动 IP 服务质量概述	145
5.2.1 移动 IP QoS 解决方案的要求	146
5.2.2 移动 IP 中 QoS 解决方案	147
5.3 移动 IP 网络服务质量框架结构	148
5.3.1 移动 IP 网络的 QoS 框架结构的要求	148
5.3.2 “两层、两级” QoS 框架概述	149
5.3.3 “两级” QoS 机制	151
5.3.4 端到端 QoS 的保证	152
5.4 QoS 信令和协商	154
5.4.1 RSVP 对移动 IP 协议的支持	155
5.4.2 移动 RSVP (MRSVP)	157
5.4.3 基于移动 IPv6 移动管理信令的 QoS 信令	160
5.4.4 QoS 协商过程	163
5.5 平滑切换中的缓存管理	167
5.5.1 缓存管理概述	167
5.5.2 协议扩展定义	170
5.5.3 移动节点的操作	172
5.5.4 路由器的操作	173
小结	175
参考文献	175
第 6 章 移动 IP 中的安全问题	177
6.1 网络安全基础	177
6.1.1 网络安全的目标	177

6.1.2	安全威胁和安全攻击	178
6.1.3	网络的安全机制和技术	179
6.2	移动 IP 的安全分析	185
6.2.1	移动 IP 的安全威胁和攻击	185
6.2.2	移动 IP 的安全要求	186
6.2.3	移动 IPv4 的安全分析	187
6.2.4	移动 IPv6 的安全分析	188
6.3	移动 IP 的安全解决方案	189
6.3.1	安全解决方案的要求	189
6.3.2	移动 IP 协议本身提供的安全机制	190
6.3.3	移动虚拟专用网	193
6.3.4	定制密钥 (PBK, Purpose-Built Key)	194
6.4	AAA 在移动 IP 中的应用	195
6.4.1	AAA 的一般模型	195
6.4.2	AAA 在移动 IP 中的应用	196
	小结	201
	参考文献	201
第 7 章	移动 IP 的组播技术	202
7.1	固定网络的组播技术	202
7.1.1	IP 组播服务模型	202
7.1.2	组播传输树的典型算法	203
7.1.3	密集模式的组播路由协议	204
7.1.4	稀疏模式的组播路由协议	206
7.1.5	域间组播协议	208
7.2	移动 IP 组播技术	208
7.2.1	远程签署 RS	209
7.2.2	双向隧道 BT	210
7.2.3	移动组播协议 MoM	211
7.2.4	基于范围的移动组播 RBMoM 协议	214
7.2.5	组播代理 MA 协议	217
7.2.6	移动组播代理 MMA 协议	220
7.2.7	FHSR (First Home-agent Second Remote-subscription) 算法	223
7.3	可靠的移动组播协议	225
7.3.1	可靠移动组播协议 RMMP	225
7.3.2	基于范围的可靠移动组播协议 RRBMoM	227
	小结	229
	参考文献	229
第 8 章	相关技术	231
8.1	无线局域网	231
8.1.1	无线局域网概述	231

8.1.2	IEEE 802.11 的网络体系结构	231
8.1.3	IEEE802.11 MAC 层协议	234
8.1.4	IEEE802.11 物理层标准	236
8.2	无线自组网技术	238
8.2.1	无线自组网的基本概念和相关技术	238
8.2.2	主动路由协议	239
8.2.3	按需路由协议	241
8.2.4	群集路由	244
8.2.5	各种算法的比较	246
8.2.6	Ad hoc 网络中的 QoS 路由技术	246
8.3	LEO 卫星网络的路由技术	248
8.3.1	LEO 卫星网络的特点	249
8.3.2	LEO 卫星网络的路由	250
8.3.3	LEO 卫星网络的切换	254
	小结	256
	参考文献	257
第 9 章	移动 IPv6 的实现	259
9.1	MIPL 安装和调试	259
9.1.1	MIPL 安装	259
9.1.2	MIPL 调试	262
9.1.3	在 MIPL 系统上运行应用程序	263
9.2	MIPL 源代码分析	263
9.2.1	IP 包处理流程	263
9.2.2	绑定的建立	265
9.2.3	数据包的隧道转发	276
	小结	282
	参考文献	282
	常用术语英汉对照	283

第 1 章 移动 IP 概述

在当今飞快发展的信息领域中，Internet 和移动通信是两个引人瞩目的通信技术和 IT 产业。在过去十几年尤其是近几年，以 Internet 为代表的信息网络给人们的生活带来了巨大的变化，政府上网、企业上网、家庭上网、电子商务等成了当今的热门话题。通过 Internet 网，人们能够及时地了解世界各地的新闻，方便地获得许多有用信息如股市行情、旅游信息、商品介绍，参与网上的互动游戏等娱乐活动，进行网上远程教育和购物，发送电子邮件等等，Internet 已经成为很多人日常活动不可缺少的部分。由于目前主要以固定接入方式使用 Internet，而人们的生活节奏在加快，可能经常处在运动中，而不是整天呆在固定的办公室内，需要在任何地点任何时候都能获得 Internet 服务。随着移动技术的迅猛发展，手机、掌上电脑、膝上电脑、笔记本电脑等便携式或移动设备大量应用，用户希望在日常生活和商务环境中使用这些设备方便地上网。现在多种网络技术正在逐步融合，IP 协议将成为统一的网络平台，但原来 IP 协议对网络节点的移动性支持不够。大量移动设备的用户希望在移动过程中保持 Internet 接入和连续通信，获得如固定接入一样的网络服务质量。这种潜在的巨大的商业需求给 Internet 带来了新的机遇，也带来了新的技术难题。移动 IP 就是在原来 IP 协议的基础上为了支持节点移动而提出的解决方案。

1.1 移动 IP 的产生

在 Internet 上，每个主机分配有惟一的 IP 地址或动态的 IP 地址。由于 Internet 是基于网络前缀的路由，IP 数据分组首先路由到 IP 地址网络前缀对应的网段，然后转发到目的主机，因此，IP 地址不仅标识一台主机，也表示这台主机的物理网络位置。当移动主机在不同的网络间移动时，它的 IP 地址已经不能表示其物理网络地址，发送给移动主机的 IP 分组不能被正确转发给目的节点，移动主机因而不能正常地接入 Internet 获得网络服务。为了实现移动主机接入 Internet，曾经提出下面的几种方案。

第一种方案，在移动节点每次变换位置时，改变其 IP 地址。这种方法对上层协议不能提供移动的透明性，不能保持通信的连续性，特别当移动节点在两个子网之间漫游时，由于其 IP 地址不断变化，将导致移动节点无法与其他用户通信；

第二种方案，根据特定主机地址进行路由选择。这种方法将大量浪费路由器的有限资源，对每个数据分组选路时，路由器都要搜索大量的主机地址入口，系统的可扩展性差，不能满足大规模网络互联的要求；

第三种方案，在链路层使用蜂窝数字分组数据等标准。蜂窝数字分组数据标准提供 11kb/s 的传输速率且支持多种协议，但它需要新的网络基础设施和大量管理维护费用，无法与现存的互联网兼容，因此也不是合适的解决方案。

以上这些方案都存在问题，因此必须寻找一种新的机制，解决主机能够在不同网络间的自由移动问题。为此，Internet 工程任务组 IETF (Internet Engineering Task Force) 下属的移动 IP 工作组 (IP Routing for Wireless/Mobile Hosts) 在 1992 年制定了移动 IP 的最初标

准草案，主要包括下面的主要 RFC 文档：

- RFC2002：定义了移动 IP 协议；
- RFC2003、2004 和 1701：定义了移动 IP 中用到的三种隧道技术；
- RFC2005：定义了移动 IP 的应用；
- RFC2006：定义了移动 IP 的管理信息库 MIB（Management Information Base）。

移动 IP 的 MIB 库是实现移动 IP 节点的变量集合，管理平台通过简单网络管理协议 SNMPv2（Simple Network Management Protocol）对这些变量检查和配置。

Internet 工程指导小组 IESG（Internet Engineering Steering Group）在 1996 年 6 月通过了移动 IP 标准草案，在 1996 年 11 月公布了建议标准（Proposed Standard），为移动 IP 成为 Internet 正式标准打下了基础，对移动 IP 的发展起了关键性的作用。

1.1.1 移动 IP 解决的问题

移动 IP 在当前 Internet 基于网络前缀路由前提下，使得移动主机在不同网络间不断移动过程中仍能保持通信，是一个在 Internet 上基于网络层提供移动支持功能的解决方案。它主要解决：

- 移动主机可以通过一个永久的 IP 地址连接到任何链路上；
- 移动主机在切换到新的链路上时，仍然能够保持正在进行的通信；

与改变 IP 地址、特定主机路由和链路层方案不同，移动 IP 具有扩展性、可靠性和安全性。它与下层的物理传输介质无关，不需要改变移动主机的永久标识，与现有的 Internet 协议兼容，能够与不具有移动 IP 功能的主机进行正常通信。

1.1.2 移动 IP 的应用范围

在 Internet 网络协议中，网络层协议负责将网络数据正确转发到相应的目的地址，其主要部分就是路由协议。路由协议通过路由器之间交换路由信息，建立用于转发分组的路由表，路由器根据接收分组的目的 IP 地址查找路由表，转发分组到相应的端口。移动 IP 是网络层的支持主机移动的解决方案，目的是把数据分组发送到可能不断改变接入位置的移动主机，通过在合适的节点上建立路由表项，实现转发数据分组到在外地链路上的移动主机。因此，采用移动 IP 功能的移动主机可以从一个网段移动到另一个网段，甚至从一种介质的网络移动到另一种介质的网络而保持已有连接的通信，这种在不同网络/介质间移动同时保持已有通信的功能是移动 IP 的重要标志。

作为网络层的一个协议，移动 IP 协议与下层数据链路层协议无关，也与物理传输介质无关。移动 IP 是支持主机移动的 IP 分组转发的网络层标准，对 TCP 层及上层协议的改进不属于移动 IP 的研究范围。

1.1.3 移动 IP 的设计目标

移动 IP 的主要设计目标就是移动节点在改变网络接入点时，不必改变其 IP 地址，能够在移动过程中保持通信的连续性，对上层协议保持透明性，与其他移动节点或不具有移动 IP 功能的节点能够进行正常的通信。具体来说，移动 IP 协议的设计应该满足如下的要求：

（1）移动节点在改变数据链路层接入点以后，应该能够保持与 Internet 上其他节点的连续通信；

(2) 移动节点无论连接到任何接入点，应该能够用原来的 IP 地址进行通信；

(3) 移动节点应该能够与不具有移动 IP 功能的其他节点进行通信，并且不需要修改这些节点的协议；

(4) 移动节点不应该比 Internet 上的其他节点面临更多的安全威胁。

另外，由于移动节点通常通过无线链路连接到 Internet 上，无线链路具有低带宽、高误码率的特点，长消息容易出错，以及移动节点通常由能量少的电池供电，减少通信中的能量消耗非常重要。因此，设计移动 IP 时要考虑移动节点接入时发送的管理消息数目应该尽量少，消息的长度也应该尽量短。

1.2 移动 IP 的基本概念

本节在 IPv4 协议的基础上，通过简单介绍移动 IP 的基本概念和基本操作，简要概述移动 IPv4 的基本工作过程。

1.2.1 移动 IP 的基本术语

1. 移动 IP 的功能实体

(1) 移动节点 (Mobile Node)：是指从一个网络或子网链路上切换到另一个网络或子网的主机或者路由器。移动节点可以改变它的网络接入点，但不需要改变 IP 地址，并且使用原有的 IP 地址能够继续与其他节点通信。

(2) 家乡代理 (Home Agent)：是指位于移动节点家乡链路 (home link) 上的路由器。当移动节点离开家乡网络时，它负责把发往移动节点的分组通过隧道转发给移动节点，并且维护移动节点当前位置的信息。

(3) 外地代理 (Foreign Agent)：是指位于移动节点所访问的网络上的路由器，为注册的移动节点提供路由服务。它接收移动节点的家乡代理通过隧道发来的报文，进行拆封后发给移动节点；对于移动节点发出的报文，外地代理提供类似默认路由器的服务。

注：家乡代理和外地代理可以统称为“移动代理”。

图 1-1 表明了这些功能实体以及它们之间的关系。

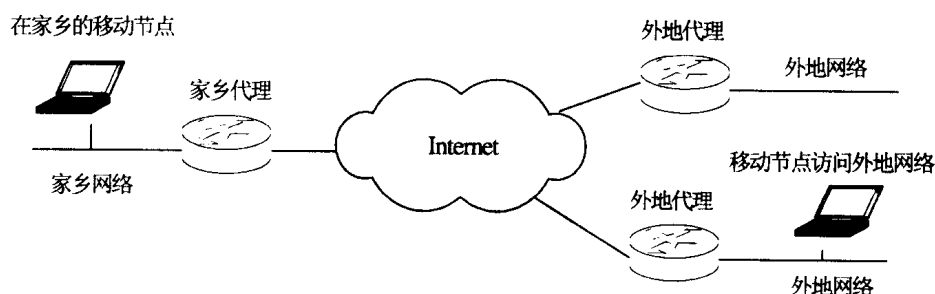


图 1-1 移动 IP 功能实体及相互关系

2. 其他的常用术语

(1) 家乡地址 (Home Address)：是指每个移动节点在家乡链路上拥有的一个“长期

有效”的 IP 地址。对这种地址的管理类似对固定主机 IP 地址的管理。

(2) 转交地址 (Care-of Address)：是指当移动节点离开家乡链路后，它被赋予的反映其当前链路接入点的临时地址。

(3) 家乡网络 (Home Network)：是指与移动节点的家乡地址具有相同前缀的网络，可以是一个不存在的虚拟网络。发往移动节点家乡地址的 IP 分组会被标准的 IP 路由机制转发到其家乡网络上。

(4) 家乡链路 (Home Link)：是指与移动节点的家乡地址具有相同网络前缀的链路，是移动节点在家乡网络时的链路。家乡链路比家乡网络更为精确地描述了移动节点在家乡的位置。

(5) 外地网络 (Foreign Network)：是指除移动节点家乡网络外的任何网络，也就是网络前缀与移动节点家乡地址网络前缀不同的网络。

(6) 外地链路 (Foreign Link)：是指除家乡链路以外的链路，也就是网络前缀与移动节点家乡地址网络前缀不同的链路。外地链路比外地网络更为精确地描述了移动节点移动时的位置。

(7) 通信对端节点 (Correspondent Node)：是指与移动节点通信的对等实体，可简称为通信对端。它可以是移动节点或者位置固定的节点。

(8) 移动绑定 (Mobility Binding)：是指由家乡代理维护的移动节点的家乡地址和转交地址的关联，还包括关于关联的剩余生存期等其他信息。

3. 隧道 (Tunnel) 和转交地址

如同 1-2 所示，当一个数据分组被封装在另一个数据分组的净荷中进行传送时，所经过的路径称为隧道。在移动 IP 中，家乡代理将发送给移动节点的分组通过隧道转发，隧道的一端是家乡代理，另一端是外地代理或移动节点。

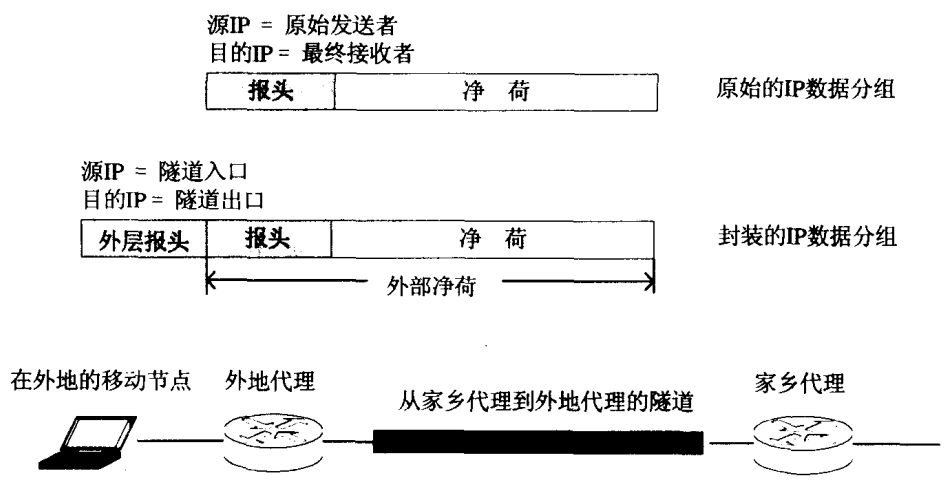


图 1-2 IP 隧道及移动 IP 中的应用

由于采用隧道技术，隧道上的中间路由器看不到移动节点的家乡地址，隧道终点是移动节点的转交地址，这个转交地址必须是一个通过传统的 IP 路由到达的地址。在这里发往移动节点的分组被取出来分析，以便进一步的处理。

移动 IP 提供了外地代理转交地址 (Foreign Agent Care-of Address) 和配置转交地址 (Co-located Care-of Address) 两种类型的转交地址。外地代理转交地址是从外地代理的代理通告中获得, 通常为外地代理的一个 IP 地址。外地代理此时成为隧道的终点, 它拆封隧道来的分组后将其转发给移动节点。使用这种地址的优点是很多移动节点可以共享一个转交地址, 不会为已经很紧张的 IPv4 地址空间分配带来更多的麻烦。配置转交地址是通过地址分配机制为移动节点分配的 IP 地址, 地址前缀与目前访问网络的前缀相同, 它可以是通过动态主机配置协议 (DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol) 动态分配的暂时地址, 也可以是移动节点在外地网络上长期使用的永久地址。在使用配置地址时, 移动节点是隧道的终点, 自身实现隧道分组的拆封功能。使用这种地址的优点是移动节点不需要外地代理, 但是会给 IPv4 地址空间的分配增加额外的负担, 它要求外地网络预留一些地址供来访的移动节点使用。

1.2.2 移动 IP 的基本操作

移动 IP 要解决当移动节点在网络之间不断移动时, 能够保持与已有连接继续通信。下面通过讨论移动节点在移动到外地网络时, 它如何收到其他节点发送给它的分组以及它如何发送分组给其他节点, 简单介绍移动 IP 的基本操作。当移动节点连接到外地网络时, 按照基于网络前缀的路由机制, 就不能正常接收到发送给移动节点家乡地址的分组。假如在家乡网络到移动节点访问外地网络的路径上所有路由器都设置了特定主机路由, 发送给移动节点家乡地址的分组就能到达移动节点。但这种特定主机路由的设置是复杂繁琐的, 而且不可能对于每一个移动节点都这样做。为了解决这一问题, 移动 IP 通过家乡地址、转交地址的概念以及它们之间的绑定, 采用隧道技术作为其数据转发机制。

下面通过移动节点在移动过程中的几个通信阶段, 简单说明移动 IP 的工作机制。

1. 代理发现 (Agent Discovery)

(1) 家乡代理和外地代理周期性地一条或多条它们作为移动代理的链路上, 组播或广播称为代理通告 (Agent Advertisement) 的消息, 通告它们与相应链路的连接关系。

代理通告是通过在 ICMP 路由器通告消息中增加“移动代理通告扩展”部分, 说明移动代理是家乡代理或外地代理、它的网络地址和通告有效期等信息。

(2) 移动节点根据收到的代理通告消息, 判断它是在家乡链路上或是在外地链路上。当连接在家乡链路上时, 移动节点就像固定节点一样工作, 不再利用移动 IP 的其他功能。当移动节点检测到它从家乡链路移动到外地链路, 或从一个外地链路移动到新的外地链路时, 它就要向家乡代理进行注册。

2. 注册 (Registration)

(1) 当移动节点连接在外地网络时, 它需要一个代表它当前所在位置的转交地址。移动节点可以从外地代理通告消息中获得外地代理转交地址, 或通过动态配置协议 DHCP、手工配置等方法获得配置转交地址。

(2) 移动主机在获得转交地址后, 通过移动 IP 定义的消息向家乡代理请求注册。家乡代理确认后, 将家乡地址和相应的转交地址存放在绑定缓存中, 完成家乡地址和转交地址的绑定, 并向移动节点发送注册应答。在注册过程中, 如果移动节点使用外地代理转交地址, 就要通过外地代理进行注册请求和注册应答。

3. 分组路由 (Packet Routing)

(1) 家乡代理和家乡链路上的其他路由器通过与外地链路上的路由器交换路由信息, 使得发送给移动节点家乡地址的分组被正确转发到家乡链路上。家乡代理通过 ARP (Address Resolution Protocol) 协议来截取发向移动节点家乡地址的分组。

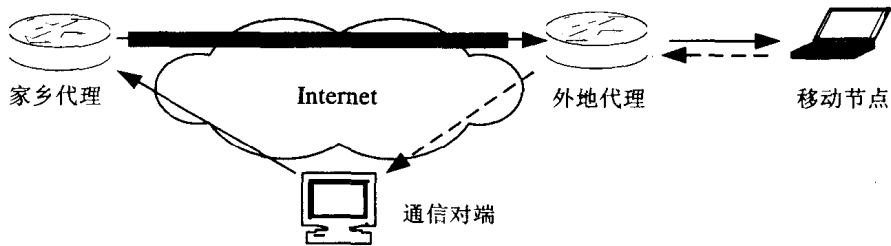


图 1-3 移动 IP 的三角路由

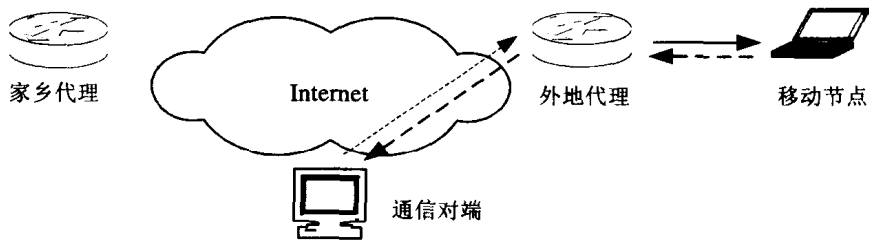


图 1-4 移动 IP 的优化路由

(2) 家乡代理根据分组的 IP 目的地址查找绑定缓存, 获得移动节点注册的转交地址, 然后通过隧道发送分组到移动节点的转交地址。如果转交地址是外地代理转交地址, 隧道末端的外地代理拆封得到原始分组后, 转发给移动节点。如果转交地址是配置转交地址, 封装的数据分组直接发送到移动节点。

(3) 移动节点使用外地网络的路由器作为默认的路由器, 它发送的分组通过外地网络路由器直接发送给通信对端, 无需采用隧道机制。这样, 通信对端发送的分组通过移动节点的家乡代理转发给移动节点, 移动节点的分组直接发送通信对端, 形成如图 1-3 所示的基本移动 IPv4 的三角路由现象。三角路由不是优化的路由, 优化的路由如图 1-4 所示。

4. 注销 (Deregistering)

移动节点根据收到的代理通告消息, 如果判断它返回到家乡链路上, 那么移动节点必须直接注册到家乡代理完成注销。注销之后, 移动节点就像固定节点一样工作。

1.3 移动 IPv6 协议

1.3.1 IPv6 协议

IPv4 协议易于实现, 具有良好的互操作性, 经受了从早期小规模互连网络扩展到如今全球范围 Internet 应用的考验, 这一切都应归功于 IPv4 最初的优良设计。但是, 随着 Internet