



# 移动IP

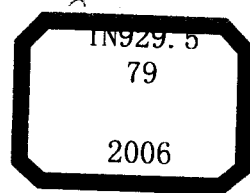
秦冀 姜雪松 编著

## 技术与NS-2模拟



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS





# 移动 IP 技术与 NS-2 模拟

秦 冀 姜雪松 编著

机 械 工 业 出 版 社

本书主要介绍了移动 IP 及其扩展技术的原理以及 NS-2 模拟应用。全书分为 3 篇共 21 章。第 1 篇包括第 1~7 章, 主要介绍移动 IP 及其扩展技术原理与协议。第 2 篇包括第 8~16 章, 内容为 NS-2 模拟器的原理和应用。第 3 篇包括第 17~21 章, 对第 1 篇介绍的移动 IP 基本技术和扩展技术运用 NS-2 进行了模拟。

本书针对移动 IP 及其扩展技术的热点问题对协议进行了分析, 并针对 NS-2 模拟工具进行了有选择的介绍, 最后运用 NS-2 模拟工具对所介绍的热点技术进行了模拟。本书既适合学习网络协议的读者学习, 也可以帮助 NS-2 的入门者快速掌握 NS-2 模拟技术。同时, 本书中选取的热点技术, 可以为从事 IPv6 的工程技术人员、网络仿真人员和高等学校相关专业师生提供一定的参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

移动 IP 技术与 NS-2 模拟/秦冀, 姜雪松编著. —北京: 机械工业出版社, 2006.9

ISBN 7-111-19905-7

I. 移... II. ①秦...②姜... III. 移动通信—通信协议 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 110627 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张俊红 责任编辑: 赵玲丽 版式设计: 霍永明

责任校对: 王 欣 封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.75 印张·512 千字

0001—4000 册

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379768

封面无防伪标均为盗版

# 前言

Internet 技术和无线通信技术的飞速发展,成为自 20 世纪末到 21 世纪初期以来,世界科学技术发展中最活跃的领域之一。电信网络技术和以 IP 技术为代表的计算机网络技术的融合,推动信息通信网络朝着下一代移动 Internet 不断演化。以 IP 技术为架构,整合有线与无线网络,把有线和无线宽带网络接入技术与高带宽、大容量、具有服务质量(QoS)保证的核心网络技术融合,是下一代移动 Internet 的重要特征。

由于 IPv4 协议原本是为固定有线网络设计开发的,缺乏移动性的有效支持,因此 IETF 提出了 Mobile IPv4 协议,对 IPv4 协议栈进行了扩充。尽管如此,由于 IPv4 协议难以适应未来 Internet 的发展需要,针对 IPv6 协议的移动性支持方案成为下一代移动 Internet 的关键技术。与 IPv4 不同,在 IPv6 协议中,移动性支持是 IPv6 协议栈的基本的、内在的构成模块。移动 IPv4 和移动 IPv6 协议都可以实现基本的移动性支持,即允许移动主机在不改变 IP 地址的情况下,保持一个通信的连接。然而,移动 IP 所采用的移动性管理方案存在许多不足,主要表现在切换的性能不高,信令开销过大,切换时延太长,切换中的服务质量难以保证,同时也存在安全性的问题。目前,针对这些问题,学术界和工业界正在研究如何对移动 IP 技术进行扩展和优化,这对下一代移动 Internet 目标的实现至关重要。

NS-2 是目前通信网络领域一个非常流行的模拟软件,在国际上被广泛应用。NS-2 是一个免费的软件,在学习和研究中使用该软件,不需要支付昂贵的费用。同时,它具有强大的模拟功能,丰富的网络协议组件,也有为数众多的使用者可以为学习者提供经验支持。使用 NS-2 进行通信网络协议的学习和研究,已经成为一个潮流。但是,由于 NS-2 是开放源代码的免费软件,文档资料繁杂,并采用 OTcl 和 C++ 两种程序设计语言,因此初学者在学习 NS-2 时感觉困难。

针对这一现状,本书对移动 IP 及其扩展技术和 NS-2 模拟技术分别进行了讨论,然后提供了 NS-2 模拟实例来帮助读者加深对移动 IP 及其扩展技术的理解。本书既可以为读者理解和掌握移动 IP 及其相关技术的最新进展状况提供参考,也可以为读者提供一个学习和实践 NS-2 模拟工具的机会。读者可以通过本书中生动具体的模拟过程来理解协议,也可以结合具体实践来学习和掌握 NS-2 模拟工具。

本书的内容分为 3 篇。第 1 篇分析移动 IP 及其相关协议的原理,为第 3 篇的 NS-2 模拟实例打下基础。第 1 章介绍了移动 IP 及其扩展技术的概要。第 2 章介绍移动 IP 基本技术,包括移动 IPv4 协议和移动 IPv6 协议。第 3 章介绍移动 IPv4 扩展技术,主要是 Cellular IP、HAWAII、HFA 三个技术。第 4 章介绍移动 IPv6 扩展技术,主要是 HMIPv6、FMIPv6、F-HMIPv6。第 5 章介绍基于 MPLS 的移动 IP 技术。第 6 章介绍移动 IP 中的 QoS 技术。第 7 章介绍了移动 IP 技术相关的几个重要的学术组织。

第2篇介绍 NS-2 模拟工具, 针对 NS-2 模拟工具参考文档资料纷繁复杂的情况, 选择了笔者认为掌握 NS-2 必须掌握的知识点, 按照合理的顺序介绍给读者, 并结合实例来帮助读者快速入门。第8章简要介绍 NS-2 及其安装过程。第9章给出了 NS-2 模拟的流程与实例。第10章分析了 NS-2 的离散事件机制、分裂对象模型和移动节点模型。第11章介绍了 OTcl 脚本的语法。第12章介绍了模拟结果的演示和分析。第13章分析了 NS-2 中的应用、定时器和随机数。第14章分析了 IEEE 802.11 协议在 NS-2 中的实现机制。第15章介绍了模拟场景的产生。

第3篇给出利用 NS-2 模拟工具对移动 IP 及其相关技术进行模拟的实例, 包括目前 NS-2 下针对移动 IP 及其扩展协议所开发的 CIMS、Hierarchical MPLS、Mobiwan、F-HMIPv6 等模块。其中, 第16章给出了有线无线混合网络的模拟。第17章对移动 IPv4 的扩展技术进行了模拟。第18章对基于 MPLS 的移动 IP 技术进行了模拟, 第19章对移动 IPv6 协议进行了模拟。第20章则对移动 IPv6 的扩展技术、FMIPv6、HMIPv6 和 F-HMIPv6 进行了模拟。

本书不是对移动 IP 技术进行面面俱到的介绍, 而是选取了一些移动 IP 技术的具有探索性的热点进行分析和讨论, 其中最为核心的内容是移动 IP 切换性能的优化。同时, 本书结合 NS-2 模拟实践对这些问题进行讨论。本书适合于高年级本科生和研究生, 以及高校教师和其他机构的研究人员用于学习移动 IP 技术以及 NS-2 模拟的参考。

本书由秦冀和姜雪松共同编写, 书中包含了作者多年来在移动 IP 技术和采用 NS-2 进行模拟的经验总结, 相信本书将会对读者有很大的帮助。在本书的编写过程中, 葛树涛、夏钦东、王涛、张海涛、吴鹏、潘天保、张博、姜海燕、尤晓丽、姜海亭、李玉红、杜平、张凯、邹德智、曹霖、程显奎、赵鑫和李晓凯完成了本书的资料收集工作, 并完成全书的文字校对工作和部分章节的编写工作, 这里对他们也表示由衷的感谢!

由于作者水平有限, 加上时间仓促, 书中难免存在错误和不足之处, 恳请广大读者批评指正。

作 者

2006 年 8 月于北京

# 目 录

## 前 言

## 第 1 篇 移动 IP 及其扩展技术原理与协议

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 移动 IP 技术及其扩展技术概要        | 2  |
| 1.1 移动 IP 技术的地位和角色            | 2  |
| 1.2 移动 IP 技术及其扩展技术纵览          | 3  |
| 参考文献                          | 4  |
| 第 2 章 移动 IP 基本技术              | 5  |
| 2.1 移动 IPv4 协议                | 5  |
| 2.2 移动 IPv6 协议                | 9  |
| 参考文献                          | 22 |
| 第 3 章 移动 IPv4 扩展技术            | 23 |
| 3.1 移动 IP 扩展技术导言              | 23 |
| 3.2 蜂窝 IP 技术                  | 24 |
| 3.3 HAWAII 技术                 | 29 |
| 3.4 移动 IPv4 区域注册与层次化外地代理技术    | 34 |
| 参考文献                          | 37 |
| 第 4 章 移动 IPv6 扩展技术            | 39 |
| 4.1 分级移动 IPv6 技术              | 39 |
| 4.2 快速移动 IPv6 技术              | 41 |
| 4.3 快速分级移动 IPv6 技术            | 48 |
| 参考文献                          | 51 |
| 第 5 章 基于 MPLS 的移动 IP 技术       | 52 |
| 5.1 MPLS 与移动 IP 技术结合的技术背景     | 52 |
| 5.2 MPLS 技术概要                 | 53 |
| 5.3 基于 MPLS 的移动 IP 技术原理       | 55 |
| 5.4 小结                        | 64 |
| 参考文献                          | 65 |
| 第 6 章 移动 IP 中的 QoS 技术         | 67 |
| 6.1 移动环境下 QoS 的保证机制           | 67 |
| 6.2 TCP 与移动 IP 技术的结合          | 68 |
| 6.3 移动 IP 技术与 RSVP 的结合        | 72 |
| 参考文献                          | 73 |
| 第 7 章 移动 IP 技术相关的部分学术与标准化组织介绍 | 75 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 7.1 IETF                  | 75 |
| 7.2 IRTF Mobopts          | 80 |
| 7.3 ITU-T                 | 80 |
| 7.4 3GPP                  | 81 |
| 7.5 3GPP2                 | 82 |
| 7.6 IEEE 802.21 媒体无关切换工作组 | 82 |
| 参考文献                      | 83 |

## 第 2 篇 NS-2 模拟器原理与应用

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 第 8 章 NS-2 简介与安装                       | 85  |
| 8.1 NS-2 简介                            | 85  |
| 8.2 NS-2 在 Linux 和 Windows+Cygwin 下的安装 | 87  |
| 8.3 NS-2 学习方法与流程                       | 95  |
| 参考文献                                   | 95  |
| 第 9 章 NS-2 的模拟流程示例                     | 96  |
| 9.1 NS-2 网络模拟方法和过程                     | 96  |
| 9.2 NS-2 模拟简单实例                        | 97  |
| 参考文献                                   | 110 |
| 第 10 章 NS-2 的离散事件机制、分裂对象机制与移动节点模型      | 111 |
| 10.1 NS-2 的离散事件模拟机制                    | 111 |
| 10.2 分裂对象模型的基本概念                       | 115 |
| 10.3 NS-2 中的移动节点模型分析                   | 124 |
| 参考文献                                   | 133 |
| 第 11 章 NS-2 模拟脚本工具——OTcl 语言            | 134 |
| 11.1 基本的 Tcl 语法                        | 134 |
| 11.2 OTcl 语法简介                         | 137 |
| 11.3 一个简单的 OTcl 示例                     | 138 |
| 参考文献                                   | 139 |
| 第 12 章 模拟结果演示与分析                       | 140 |
| 12.1 Nam                               | 140 |
| 12.2 Gnuplot                           | 142 |
| 12.3 Xgraph                            | 145 |
| 12.4 Gawk                              | 146 |
| 12.5 Nam、Gawk、Gnuplot 与 Xgraph 的配合使用   | 155 |
| 参考文献                                   | 162 |
| 第 13 章 NS-2 中的应用、定时器与随机数               | 163 |
| 13.1 应用                                | 163 |
| 13.2 定时器                               | 169 |
| 13.3 NS-2 中的随机数                        | 174 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 参考文献                                                  | 175 |
| 第 14 章 NS-2 组件开发实例分析——IEEE 802.11 协议实现分析              | 176 |
| 14.1 IEEE 802.11 协议简介                                 | 176 |
| 14.2 IEEE 802.11 协议在 NS-2 上的实现                        | 181 |
| 14.3 IEEE 802.11e 协议模拟实例                              | 198 |
| 参考文献                                                  | 203 |
| 第 15 章 模拟场景的产生                                        | 204 |
| 15.1 流量场景的产生                                          | 204 |
| 15.2 节点移动场景的产生                                        | 210 |
| 参考文献                                                  | 213 |
| <br>第 3 篇 基于 NS-2 的移动 IP 及其扩展技术模拟                     |     |
| 第 16 章 基于 NS-2 的“有线+无线”混合网络模拟实例                       | 215 |
| 16.1 纯无线网络的模拟                                         | 215 |
| 16.2 基于 Mobile IP 的有线无线网络模拟                           | 222 |
| 参考文献                                                  | 231 |
| 第 17 章 Cellular IP、HAWAII、HFA 协议的模拟                   | 232 |
| 17.1 模拟环境的建立                                          | 232 |
| 17.2 蜂窝 IP                                            | 233 |
| 17.3 支持切换的无线接入架构 (HAWAII)                             | 246 |
| 17.4 层次化外地代理                                          | 257 |
| 参考文献                                                  | 277 |
| 第 18 章 基于 MPLS 的微观移动性管理协议模拟                           | 278 |
| 18.1 模拟环境介绍                                           | 278 |
| 18.2 模拟场景描述                                           | 279 |
| 18.3 模拟脚本分析                                           | 279 |
| 18.4 模拟的 Nam 演示                                       | 287 |
| 18.5 模拟结果的统计和分析                                       | 288 |
| 参考文献                                                  | 290 |
| 第 19 章 基于 Mobiwan 的移动 IPv6 协议模拟                       | 291 |
| 19.1 模拟环境介绍                                           | 291 |
| 19.2 模拟场景描述                                           | 293 |
| 19.3 代码与模拟脚本分析                                        | 293 |
| 19.4 模拟结果 Nam 演示                                      | 296 |
| 19.5 模拟结果统计分析                                         | 297 |
| 参考文献                                                  | 300 |
| 第 20 章 移动 IPv6 协议扩展协议——HMIPv6、FMIPv6 和 F-HMIPv6 协议的模拟 | 301 |
| 20.1 模拟环境介绍                                           | 301 |
| 20.2 代码与模拟脚本分析                                        | 302 |



---

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 20.3 模拟结果分析.....            | 307 |
| 参考文献.....                   | 312 |
| 附录.....                     | 313 |
| 附录 A 专业术语.....              | 313 |
| 附录 B NS-2 中常用的随机变量及其分布..... | 321 |

# 第1篇 移动IP及其扩展技术原理与协议

自 20 世纪后期以来,无线移动通信技术和有线的 Internet 技术都取得了飞速的发展,而两个技术不断融合,并最终演进为下一代移动 Internet。下一代移动 Internet 能够很好地支持终端的移动性,并对多媒体业务提供完善的服务质量保证。IP 技术以其简洁高效等多方面优点,成为整合有线与无线网络的统一的框架协议。移动 IP 是对 IP 移动支持功能的扩充,促使 TCP/IP 向无线移动领域拓展,构成了未来全 IP 有线无线网络一体化融合的基础。

而本篇首先介绍移动 IP 及其相关技术的基本原理,为后续的模拟分析奠定基础。笔者不是针对移动 IP 技术的每个方面进行介绍,而是选取一些学术界和工业界非常关注的若干技术专题来详细分析,而所介绍的技术专题,也是后续部分运用 NS-2 模拟工具进行分析的重点。在本篇中,一是介绍移动 IP 基本技术,包括移动 IPv4 和移动 IPv6 两个版本;二是介绍移动 IP 扩展技术。这些技术是针对移动 IPv4 和移动 IPv6 所进行的性能优化。具体的内容主要包括移动 IPv4 协议的扩展,移动 IPv6 协议的扩展,基于 MPLS 的移动 IP 技术,以及移动 IP 的 QoS 问题等。

本篇分为 7 章。第 1 章介绍移动 IP 及其扩展技术,从整体上介绍了第 1 篇所有章节的内容。第 2 章讨论移动基本技术,即移动 IPv4 和移动 IPv6 协议。第 3 章讨论移动 IPv4 的扩展技术,主要是 Cellular IP、HAWAII 和 HFA。第 4 章讨论移动 IPv6 的扩展技术,包括分级移动 IPv6 (HMIPv6)、快速移动 IPv6 (F-HMIPv6)、快速分级移动 IPv6 (F-HMIPv6) 等。在第 5 章讨论基于 MPLS 的移动 IP 技术。第 6 章讨论移动 IP 中的 QoS 技术。实际上,第 5 章和第 6 章所讨论的内容仍然属于对移动 IP 的扩展与优化。最后,在第 7 章对目前移动 IP 技术领域几个重要的学术组织的情况,使读者对该领域的技术发展动态有一个直观的了解。

本篇的内容和第 3 篇的模拟实例具有对应的关系,理解本篇的内容,是理解第 3 篇的模拟实例的基础。

# 第 1 章 移动 IP 技术及其扩展技术概要

本章的主要内容是对第 1 篇的内容，即移动 IP 技术及其扩展技术作一个概要的介绍。

本章首先介绍移动 IP 技术的地位和角色，然后对本篇的体系加以概述，为后续章节的讨论打下基础。

## 1.1 移动 IP 技术的地位和角色

移动 IP 技术的产生和发展，是技术和市场两方面推动的结果。从技术的角度来看，移动 IP 技术的发展，实际上反映了移动通信与 Internet 技术的融合，反映了 IP 技术向无线领域的拓展。

Internet 技术和移动通信技术在均取得了巨大发展的同时，也在走向融合。Internet 的核心技术 IP 在向无线移动通信领域延伸。基于 IEEE 802.11、IEEE 802.15、IEEE 802.16 的无线网络技术从协议的设计中就与 TCP/IP 无缝融合，而包括 GPRS 和 3G 在内的蜂窝移动通信网络的协议栈不断向全 IP 的方向演进。而下一代移动 Internet 将是移动通信技术与 Internet 技术不断演进和融合的结果，而移动 IP 技术则是两者的重要结合点。

目前，无线通信领域的两种主流技术包括以 3GPP 和 3GPP2 为核心的蜂窝移动通信技术，和以 IEEE 802 系列无线接入技术为主导的无线个域、局域、城域、广域网络技术。这两大技术的融合，引导着无线通信技术目前和未来一段时期的潮流。

首先来简要分析一下 IEEE 802 系列的无线接入技术与移动 IP 技术的紧密关系。截止目前为止，IEEE 802 局域/城域标准委员会（IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee）制定了 802.11、802.15、802.16、802.20 四个无线个域/局域/城域网/广域网技术标准。这些技术都可以与 IETF 制定的移动 IP 技术规范无缝地结合。移动 IP 技术对 IEEE 802 系列的无线接入技术的融合之所以非常自然，是因为这些技术标准的制定严格遵循了 TCP/IP 协议栈的层次化架构。

下面再来看 3GPP 和 3GPP2 所主导的 3G 网络体系中移动 IP 的应用。ITU 在 IMT-2000 中规定，第三代移动通信以 IP 网络作为核心网络，必须支持 IP 分组业务，美国 T1、日本 ARIB、TTC、欧洲 ETSI、韩国 TTA 以及 UMTS 成立的 3GPP，目的在于解决提供多媒体业务和下一代移动 Internet 等问题。3GPP 早在 Release 4 中就规定了基于 IP 网络的传输标准，在 Release 5 中还对 IP 多媒体系统进行了定义。而 IP 多媒体子系统实际上就是要把 Internet 与 3G 移动通信网络整合起来，而移动 IP 将在整合的过程中起到重要的作用。

从应用与市场的角度来看，移动通信技术和 Internet 技术两者均为 20 世纪末期到 21 世纪初通信领域取得爆炸性发展的技术，而两者的融合将创造更多的应用和价值。这一点是显而易见的，在此不过多分析。

未来的 4G 网络将是现有的蜂窝移动通信网络与无线分组网络融合的结果，而基于全 IP 架构的 4G 网络中将采用移动 IP 技术作为网络层的移动性管理方案，该移动性管理方案要能

够整合多种多样的无线接入技术,支持能够保证服务质量的切换机制。因此,移动IP技术一方面具有非常广阔的应用前景,另一方面也面临着许多的考验。

## 1.2 移动IP技术及其扩展技术纵览

本节对本书将要详细分析的移动IP技术及其相关技术的作一个框架性的介绍,使得读者容易把握第1篇乃至全书内容的体系结构。

### 1.2.1 移动IP基本技术

在移动IP基本技术部分,将对移动IPv4和移动IPv6协议进行介绍。目前,移动IPv4的最新RFC为RFC3344, Mobile IPv6的最新RFC为RFC3775。由于下一代Internet将基于IPv6协议,同时移动IPv6协议相比移动IPv4协议也具有很多的优势,因此,移动IPv6协议将是本书关注的重点。这部分内容将在第2章介绍。

### 1.2.2 移动IP扩展技术

移动IPv4和Mobile IPv6解决了移动节点在移动中的连接性,但是在服务质量支持方面存在很大缺陷。突出的问题是切换导致的时延过大,无法满足实时业务对包传递时延的约束。因此,需要加以性能的优化,这也是目前学术界和工业界关注的重点。

基本移动IP在支持移动多媒体业务时的性能很差,其中一个主要原因是没有区分小范围移动性和大范围移动性。因此对移动IP基本协议的扩展,主要是将节点的移动划分为两种:宏观移动(Macro Mobility)和微观移动(Micro Mobility)。移动IP扩展技术的核心思想之一就是采用移动IP进行宏观移动管理,而采用经过优化的本地化的移动性管理协议来进行微观移动性管理。

本书中将详细介绍移动IPv4的扩展性协议(Cellular IP、HAWAII和HFA)和移动IPv6的扩展协议(HMIPv6、FMIPv6和F-HMIPv6)。这部分内容在第3章和第4章介绍。

### 1.2.3 基于MPLS的移动IP技术

多协议标签交换技术(MPLS)和广义多协议标记交换(GMPLS)是下一代IP网络的核心技术。其优点是能够大大提高数据包的转发效率,支持流量工程和端到端的服务质量保证。因此,移动IP必须考虑和MPLS(GMPLS)的融合,有效利用MPLS的优势,来优化Mobile IP的性能。MPLS与移动IP融合的方案已经在国际电信联盟的标准(ITU-T Y.1281)中被定义,并且仍然处于不断的发展之中。基于MPLS的微观移动性管理方案相对于其他方案具有很大的潜力和优势。这部分内容在第5章介绍。

### 1.2.4 移动IP的QoS保证机制

移动环境下如何保证服务质量是目前无线IP网络研究的热点,而在基于移动IP的网络中提供服务质量保证也是热点中的热点。由于移动IP网络通常包括有线网络和无线网络两部分,因此,QoS保证机制必须考虑到有线和无线网络的不同特性。

实际上移动IP的扩展和性能优化中贯穿着对服务质量的优化。因此,本书在第1篇中要

进行分析,但在后续的 NS-2 模拟中将体现在移动 IP 扩展技术的综合实例中,不再单独给出模拟的实例。这部分内容在第 6 章进行介绍。

### 【参 考 文 献】

- [1] <http://www.ieee802.org>.
- [2] <http://www.ietf.org>.
- [3] <http://www.irtf.org>.
- [4] <http://www.3gpp.org>.

## 第 2 章 移动 IP 基本技术

本章主要介绍移动 IP 基本技术：移动 IPv4 和移动 IPv6 协议。

虽然 IPv4 将被移动 IPv6 所取代，但是从 IPv4 到 IPv6 的过渡仍然需要一个相当长的时期，所以目前对移动 IPv4 的研究和开发仍然在继续。基于 IPv4 协议的大量业务和应用，也使得移动 IPv4 在未来一段时间内仍然在 Internet 上具有重要作用。因此，本章仍然对移动 IPv4 协议加以介绍，而移动 IPv6 协议则是本章讨论的重点。移动 IPv6 是 IPv6 协议内在的一个组成部分。移动 IPv6 协议汲取了移动 IPv4 协议的经验，在移动性支持、服务质量保证和安全性方面都具有明显的优势。

本章的内容既是后续章节的移动 IP 扩展技术的基础，也是第 1 篇的基础，因此，读者需要加深理解。由于篇幅所限制，本章只选取了移动 IPv4 和移动 IPv6 协议的重点内容进行阐述，若有必要，读者可参考 IETF 的 RFC 和草案文档，进一步了解协议的详细内容。

### 2.1 移动 IPv4 协议

#### 2.1.1 移动 IPv4 的技术背景

##### 1. 传统 TCP/IP 在移动性支持方面的不足与移动 IPv4 协议的提出

传统的 TCP/IP 基于一个假定，即节点的 IP 地址惟一地标识节点在 Internet 上的接入点。因此，当节点拥有 IP 地址以后，必须位于其 IP 地址所标识的子网里，才可能正常地接收到发向该节点的数据包。而当节点移动到另一个子网时，要么改变其 IP 地址，使其前缀和所访问的新的子网相同，要么就是在路由器上添加主机路由来实现。而这两种方法都不可行，前者会导致上层应用程序的中断，而后者缺乏可扩展性。

移动 IP 位于开放系统互连（OSI）参考模型的第三层，负责将数据包从源节点路由到目的地，中间穿过由链路、交换设备和路由器等构成的各种网络拓扑。主机和路由器则通过手工配置、重定向和动态路由协议获得到达网络上各个目的节点的路径。IP 为 Internet 提供了路由能力。IP 给所有节点（主机和路由器）分配逻辑地址，称为 IP 地址，每台主机的各个端口都分别有一个 IP 地址，端口是指节点与一条链路相连时经过的硬件或软件。IP 地址包括网络前缀和主机部分，同一条链路上的所有主机通常有相同的网络前缀和不同的主机部分，这使得 IP 可以依据目的节点 IP 地址的网络前缀部分来进行路由选择，从而使路由器只需保存一条简单的网络前缀路由，而不必为每台主机保存一条单独的路由，这是 Internet 可扩展性的一个主要特点。

由于采用了网络前缀路由，如果节点从一条链路切换到另一条链路而没有改变它的 IP 地址，那么它就不可能在新链路上接收到数据包。从理论上说，这可以通过采用特定主机路由（与网络前缀路由相对应）来解决。也就是说，每当主机移动时，就向许多台路由器传送特定主机路由，然而，这种方法在可扩展性、可靠性和安全性方面都存在问题。另一种方法是

在数据链路层解决这个问题，这要求对每一种链路定义一种解决方法，而且数据链路层提供的移动能力在地理范围上受到限制。

针对这一情况，移动 IPv4 应运而生。移动 IPv4 协议具有可灵活性和扩展性。采用移动 IPv4 协议下，MN 在不同的 IP 子网间移动时，其 IP 地址可以保持不变，而且上层（传输层和应用层）可以对 IP 层的移动透明。移动 IP 使得节点在从一条链路切换到另一条链路上时无需改变它的 IP 地址，也不必中断正在进行的通信。

## 2. 移动 IPv4 的设计目标

移动 IPv4 的设计目标是使用尽可能少的管理消息和尽量可能小的消息来实现对移动性的支持。这是由于 MN 一般通过无线链路接入到网络，而无线链路一般带宽有限，误码率高，MN 一般也要使用电池来提供能量，所以应该尽量减少功耗。

## 3. 移动 IPv4 协议的适用场合

移动 IPv4 协议适合于宏观移动的场所，即 IP 子网间移动；而对微观移动的支持则需要对移动 IPv4 协议加以扩展。所谓宏观移动，是指节点的移动跨越了不同的子网，而微观移动是指节点在小范围的一个子网里移动。在微观移动的场所，切换必须在很短的时间里完成，而移动 IPv4 假定节点的移动频率不多于 1 次/s。

### 2.1.2 移动 IPv4 的协议实体和功能

#### 1. 移动 IPv4 网络中的实体

移动 IPv4 网络中包含四种功能实体：归属代理（HA）、外地代理（FA）、移动节点（MN）、对端节点。图 2-1 给出了移动 IPv4 的网络体系结构。

1) MN 是一台主机或路由器，它在切换链路时不改变它的 IP 地址，也不中断正在进行的通信。

2) HA 是一台路由器，它有一个端口连接在 MN 的归属链路上，这个端口截获所有发往 MN 家地址的数据包，并通过隧道将它们送到 MN 最新被告知的转交地址上。

3) FA 是一台有一个端口在 MN 的外地链路上的路由器，它帮助 MN 完成移动检测，并向 MN 提供路由服务。例如在 MN 使用外地代理转交地址时，对通过隧道到达的数据包进行拆封。通常一个节点可以是一些 MN 的外地代理，同时又是另一些 MN 的 HA，三个实体可以同时在一个节点上实现。

4) CN 是与 MN 进行通信的节点，一个 MN 可能有多个 CN。

#### 2. 归属地址与转交地址

每个 MN 有两个地址：

1) 归属地址：这是 MN 的 CN 所知道的 MN 的 IP 地址。当 MN 移动时，它的归属地址

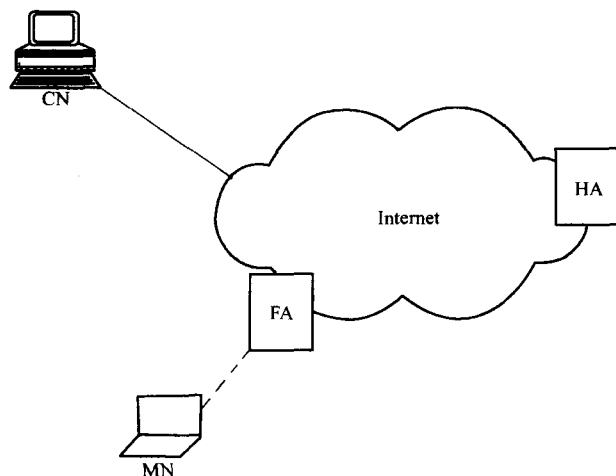


图 2-1 移动 IPv4 网络体系结构

是不变的。MN 归属地址的网络前缀与在它的归属链路上的节点的网络前缀是一样的。

2) 转交地址: MN 将这个地址暂时作为从 MN 的 HA 发出的隧道的出口。当 MN 在 Internet 上移动时, 转交地址是会改变的。转交地址有两类: 外地代理转交地址是有一个端口在 MN 当前链路上的那台外地代理的地址, 而配置转交地址是暂时分配给 MN 某一个端口的地址。MN 的转交地址、外地链路和外地代理是密切相关的。

### 3. 移动 IPv4 协议中的三种功能

移动 IPv4 定义了三种功能, 包括代理搜索、注册和隧道。

1) 代理搜索: 代理搜索是 MN 确定它的当前位置、检查它是否移动了以及得到一个外地代理转交地址的方法。如果在 MN 的外地链路上没有外地代理, 那么 MN 可以通过手工配置、PPP (点到点隧道协议) 的 IP 控制协议或通过 DHCP (动态主机配置协议) 得到一个配置转交地址。代理搜索通过 HA 和外地代理周期地发送代理广播消息来实现, 代理广播消息是 ICMP (因特网控制报文协议) 路由器广播消息的扩展, MN 也可以发送代理请求来要求在它当前链路上的代理立即发送一条广播。

2) 注册: 注册是 MN 向它的 HA 通知它当前的转交地址的一种认证机制, 也是 MN 在回到归属链路上后注销转交地址的机制。MN 也可以通过注册过程得到它的 HA 的地址。注册通过一系列 UDP 承载的消息来完成。注册请求消息是由 MN 发往它的 HA 的, 途中可能会经过外地代理。HA 通过向 MN 回答一条注册应答消息来通知 MN 对它的请求的处理——接受或拒绝。注册应答也可能经过外地代理。

3) 隧道: 隧道技术是移动 IPv4 定义的第三种主要功能, 是对数据包进行路由的特殊规程, 尤其是对源或目的地是当前连接在外地链路上的 MN 的数据包。连接在归属链路上的 MN 则和其他固定主机或路由器一样进行数据包的路由。隧道协议被用来向那些连接在外地链路上的 MN 传送数据包。要发往 MN 归属地址的数据包先被路由到它的归属链路上, 这是采用网络前缀路由的必然结果。在归属链路上, HA 截获数据包, 然后通过隧道将数据包送到 MN 的转交地址。在那里, 数据包被从隧道中取出, 然后送往 MN。

在相反的方向, MN 产生的数据包用它的归属地址直接路由到它们的目的地。如果有外地代理, 它将作为 MN 的默认路由器。从对端节点发往 MN 的数据包通常采用未经优化的路径, 数据包先被送往 MN 的归属链路, 然后再经过隧道送往 MN 的当前位置上。要解决这个问题, 必须让 MN 将它当前的转交地址送给各个对端节点。这如同移动 IP 的注册过程一样, 必须有相应的认证制, 其中的难点是在各个节点之间用一种安全的方法分发密钥。如果没有这种密钥分发方法, 那么认证是无法实现的, 从而路由优化就容易受到拒绝服务攻击。

### 4. 其他功能

移动 IP 还定义了一些 MN 在外地链路上时发送组播和广播数据包的过程。另外, 移动 IP 还可为整个移动网络提供连接能力, 就像为移动主机提供连接一样。移动网络是指这样一种网络, 其中的主机和路由器相对来说是固定的, 但它们对 Internet 的其他部分来说却是移动的。

## 2.1.3 移动 IPv4 协议的总体流程

移动 IPv4 协议大致包括以下流程:

1) 移动代理通过代理公布消息公布其存在, MN 可以通过请求一个代理公布消息, 或者



接收到代理公布消息。

2) MN 通过代理公布消息确定是否位于外地网络。

3) 如果 MN 位于归属网络, 它将不运行移动程序。如果 MN 从外地网络回到归属网络, 它将取消在 HA 上的注册。

4) 如果 MN 检测到它移动到了外地网络时, 从外地网络上获取一个转交地址。

5) MN 和 HA 通过交换注册请求与注册应答消息, 通过 FA 在 HA 上进行注册。

6) 到达 MN 的归属地址的数据包被 HA 截获, 通过隧道传送到 MN 的转交地址。在隧道的末端, 由 FA 或者 MN 自己解封装后到达 MN 上的应用。

7) 在相反的方向上, 由 MN 发送的数据包用标准的 IP 路由机制进行转发, 不需要再通过 HA。

如图 2-2 所示为移动 IPv4 的协议流程。

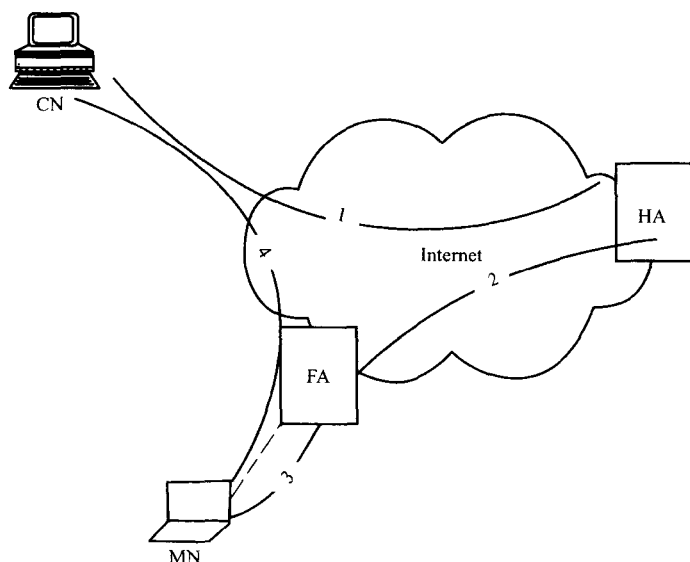


图 2-2 移动 IPv4 协议流程

在图 2-2 中, “1” 表示发往 MN 的数据包经过标准的 IP 路由机制被转发到 HA。“2” 表示数据包被 HA 截获, 经过封装后, 通过隧道转发到 FA。“3” 表示 FA 对数据包进行了解封装, 并传递给 MN。“4” 是 MN 通过标准的 IP 路由机制把数据包转发给 CN。

#### 2.1.4 移动 IPv4 协议的不足

基本的移动 IPv4 协议虽然成功地实现了对主机移动性的支持, 但是也存在一些不足之处, 主要有以下几点:

##### 1. 地址空间问题

移动 IPv4 首先受到了 IPv4 有限的地址空间的限制。下一代移动 Internet 中会存在大量的 MN, 每个节点都需要至少一个 IP 地址, 这是移动 IPv4 面临的第一个显而易见的问题。随着 IPv6 逐渐取代 IPv4, 移动 IPv4 也将退出历史舞台。

##### 2. 三角路由问题

移动 IPv4 中存在着“三角路由”问题。由 CN 送给连接在外地链路上的 MN 的数据包先