主动网络及其实现技术

Active Network and Implementing

敖志刚　编著

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

主动网络及其实现技术

敖志刚 编 著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

主动网络是一门将网络的可编程性、计算性、开放性、灵活性、保护性和动态配置等发挥得淋漓尽致的网络最新技术。本书系统、全面、完整地阐述了主动网络的新概念、新方法、新技术、基本理论、系统组成、运行机制、发展与展望、应用和实现等关键问题。具体内容包括主动网络的基本知识、体系结构、系统及其实现方案实例、节点操作系统、管理新技术、安全与论证、访问控制、可靠组播及典型应用。

本书取材广泛、构思新颖、内容丰富、言简意赅。可以帮助读者尽快掌握主动网络的重要内容和网络最新前沿技术，以此建立扎实的知识结构和科学基础。

本书适用于从事网络规划、设计、安装、管理的工程技术人员，从事网络研究、开发、教学的科研人员、教师和研究生阅读；也可作为计算机、通信、自动化及相关专业本科生的教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

主动网络及其实现技术 / 敖志刚编著. —北京：中国水利水电出版社，2007

ISBN 978-7-5084-4252-5

Ⅰ. 主… Ⅱ. 敖 … Ⅲ. 计算机网络—基本知识 Ⅳ. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 143320 号

书　　名	**主动网络及其实现技术**
作　　者	敖志刚　编　著
出版　发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号　100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：mchannel@263.net（万水） sales@waterpub.com.cn
经　　售	电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心）、82562819（万水） 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排　　版	北京万水电子信息公司
印　　刷	北京蓝空印刷厂
规　　格	787mm×1092mm　16 开本　30.25 印张　736 千字
版　　次	2007 年 1 月第 1 版　2007 年 1 月第 1 次印刷
印　　数	0001—4000 册
定　　价	56.00 元

前　言

网络技术不仅为人们提供了社交、学习、工作、休闲和娱乐的全新模式，也为经济运行、政府工作、突发事件应对、灾害的预警、处置、救助等提供了快速高效的平台。网络技术的发展水平，不仅反映了一个国家的计算机技术和通信技术的发展水平，而且更重要的是它已成为衡量一个国家和社会现代化程度的重要标志之一。在全球信息化、知识化浪潮汹涌而至的今天，让人无时无刻不感受到新一轮网络变革的春天气息，主动网络正是这场变革具有挑战意义的杰出代表和新技术。

主动网络是下一代网络体系结构的理想解决方案，已涌现出很多研究成果、原型系统和成功实例。主动网络的主要目的是解决现有体系结构在集成新技术、扩展新应用时存在的诸多不便。它的主要特征是“主动性”，用户可以直接向网络节点插入定制程序来动态配置或扩展网络功能，快速升级网络服务和部署原来不可能的服务，将其有关资源、机制和策略等优化以实现网络的主动性。它支持用户对于可见的网络行为作动态修改、存储、重定向和动态控制，智能化地指导数据流向，对网络异构的变化做出快速反应和最有效的处理，如寻找最佳路径，激活不同的处理，允许用户按需创建自己的服务并分布到网络上。主动网络技术将分布式计算能力引入到网络内部，使网络更有效地预测和衡量流量特性。主动网络是信息技术的重要研究方向，已经成为人们关注的焦点，其应用前景十分广阔，它将成为 21 世纪网络体系结构的主流。

作为全新网络模型的主动网络，为网络协议和新服务的开发、验证和部署提供了很好的支持。同时也为网络管理、服务质量控制、可靠组播等提供了一条新的途径。在网络管理中引入主动网络技术，能实现智能化网络管理、网络监视和事件过滤的智能，其优势体现在较少占用网络资源、减轻网管系统的负担、动态配置各种新的网络管理策略、缩短管理延时等方面。主动网络的安全机制能够适应主动网络保密性、完整性和可靠性的安全需求，为主动节点和主动信包提供了可扩展加解密、信包验证、代码授权、代码执行监控，以及代码撤销等一系列安全措施。主动网络还把端点拥塞控制算法移到网络中去，大大减少了拥塞响应时间，增加了系统的吞吐量。

面对潜力巨大的国内外市场，在主动网络技术的研究上要跟踪时代发展的步伐，开发具有我国自主知识产权的产品。但目前市场上还没有一本系统、完整的主动网络方面的书籍。而对于学习网络的人来说，不仅要懂得原理，还必须学会技术，这样才能符合培养人才、创造知识、转化成果、服务社会的宗旨。本书正是为那些渴望主动网络新知识，想尽快全面了解主动网络最新前沿技术的读者而编写，目的是推动主动网络的普及教育，促进其研究、应用和发展。我们希望，通过本书的出版和推广应用，使读者建立扎实的知识结构和科学基础，在实践中充分发挥自己的应用能力。

在撰写过程中作者参阅了大量的参考书、论文和资料，这里谨向所有原创作者致以崇

高的敬意和感谢。主动网络既是一门科学，更是一系列技术的综合。在选材上，通过对目前研究现状的追踪和最新研究成果的挖掘和探讨，充分考虑内容组织的系统性和完整性，着重基本概念、基本原理和基本分析方法的论述。本书不但给研究界提出了网络研究的新方向，也给工业界提供了网络发展的新机遇；既有探索、改革、研究、实践，又有使用和推广。在向读者展示主动网络全貌的同时，突出其关键技术，还注重和其他热点技术的结合，坚持高端、精品、经典战略，并紧扣发展主题和最新进展，力求理论联系实际，学术与工程并重。

本书构思新颖、内容丰富、深入浅出、言简意明，系统地介绍了主动网络的新概念、新方法、新技术、理论体系、系统结构、运行机制、发展与展望、应用和实现等关键问题。本书共 11 章，其中第 1、2、4 章论述了主动网络的基本知识、原理和软硬件体系结构；第 3 章介绍了国外成功的案例；第 5 章是相关新技术；第 6～11 章阐述了主动网络的实现技术及其典型应用。书中的每一章后面还列出了参考文献，做到了全书列出的参考文献不重复。本书力图把以上内容有机联系在一起，形成一个较为清晰、完整的体系，帮助读者梳理其知识结构，尽快掌握主动网络的重要内容和基本知识。

本书适用于从事网络规划、设计、安装、管理的工程技术人员，从事网络研究、开发、教学的科研人员、教师和研究生阅读；也可作为计算机、通信、自动化及相关专业的本科生的教学用书。

康兴档、王冠同志参加了本书部分内容的讨论和写作；卢厚清主任、周先华教授（博导）、余勤讲师、李宏伟讲师和王凤山博士对本书的撰写和出版给予了许多关心和帮助；中国水利水电出版社的编辑们给予了许多支持和很好的建议。借此机会向他们表示衷心的感谢和敬意。

主动网络的研究和开发正在紧锣密鼓地进行之中，许多问题目前尚不明了，同时由于作者对主动网络的许多新问题理解尚欠深入，文中难免有遗憾和错误之处，希望读者朋友在使用过程中提出宝贵的意见和建议。

作者

2006 年 12 月

目　　录

第 1 章　主动网络概论

主动网络（Active Network）是网络发展过程中出现的一门最新技术，它给研究界提出了网络研究的新方向，给工业界提供了网络发展的新机遇，作为全新网络计算模型的主动网络具有广泛的可编程性、计算性、开放性、灵活性，能够支持用户对于网络行为的动态配置与修改，大大改进了网络技术的性能和发展，具有广阔的应用前景。

1.1　主动网络产生的背景

1.1.1　传统网络的局限性

当前，计算机网络已经成为全球经济、生活的重要组成部分，计算机网络用户在急剧增长，用户对网络所能提供的服务种类和服务质量有不同的要求，这些成为计算机网络发展的动力和压力；与此同时，计算机技术、通信技术和各种新型软件技术，如移动计算、分布式处理、人工智能等的发展和出现，为网络的发展提供了技术支撑。但是，直到目前为止，计算机网络的发展速度仍然很慢，各种新的技术在网络中得不到充分的运用，这在很大程度上是由于网络协议标准化的缘故。标准化对于网络的互操作十分必要，但 Internet 的体系结构要求 IP 协议在所有的网络节点（包括中间节点和终端节点）都必须实现。为了保证网络的传输速度，使得 IP 只能包含很少的基本功能，从而限制了网络服务功能的多样化。另一个原因是构造在这种标准化基础之上的 Internet 的中间节点（如交换机、路由器等）是一个封闭性的集成系统，用户不能像对终端系统一样对它进行编程，故其功能和接口是固定的，从而也限制了网络的进一步发展。

传统的网络主要是被动传送数据。网络系统对数据本身的语义不作分析、理解，扮演网络计算的角色很有限，因而称为被动网络（Passive Network）。随着硬件技术的突飞猛进，新技术如帧中继、异步传输模式（ATM）、无线网络技术和移动通信的发展，对网络系统软件提出了新的要求；新的服务如信息的分布与融合（Information Distribution and Fusion）、视频会议等的出现，必须改造传统的网络协议以适应新的应用的需要。

传统的计算机网络中的网络节点、路由器、网关、交换机实现的功能本质上讲仅仅是实现数据包的存储转发，因而传统的网络只能被动地将数据从一个节点或终端传输到另一个节点或终端，网络节点只处理数据报头，而对数据本身不会进行新的计算或改变。

典型的例子如 Internet 是基于端到端服务的，也就是说，诸如各种服务之类的复杂计算是放在终端计算机上完成的，网络节点只进行路由转发这样单纯的计算，然而随着网络技术和应用的迅猛发展，新的技术层出不穷，如第三层交换、波分复用（WDM）网络安全技术，以及防火墙、虚拟个人网络（VPN）等的出现使得这种被动的网络体系越来越难以适应新的需求，因为这些新技术设备是各自独立地堆积在网络中。为了能构架一个通用网络基本设施来实现这些新功能、新技术，就要求未来的网络体系结构应是开放的、可扩展的和可编程的通信硬件，

如交换机、路由设备等。与控制软件的分离是使网络可编程的基本要素，但在当前的交换机和路由器集成体系中这种分离难以实现，服务提供者不能控制改变交换机/路由器的运行环境，如 Cisco 的操作系统算法像路由协议或状态、路由表、流量表，这使得开发新的网络服务几乎不可能。

综合起来，传统网络的局限性表现在以下几方面：

（1）一种新技术从提出到推广应用一般要经过以下几个过程：协议的标准化；进入硬件供应商的产品；相关程序的开发和安装调试。因而新的协议标准往往得不到快速应用或推广，很难将新技术和新标准集成到现有的网络基础设施中，网络中增加新服务非常困难。

（2）采用协议重叠的方式开发应用新的协议技术增加了冗余开销，在传统分层协议体系结构的网络上开发新的协议开销很大，其上开发的新协议难以保证服务质量（QoS），网络的效率也很低，因而降低了网络的性能。

（3）对数据本身的处理计算工作都限制在终端上，不能充分利用网络的计算能力；而与此同时，软、硬件技术的迅猛发展使得节点的计算能力越来越强大，而花销却越来越小。

（4）网络设备受现有的网络体系所限不能动态更新，新的服务很难应用到现在的网络中，在现有的网络体系结构下，投资者为了满足市场的需求，不得不为每一种新增加的服务去重新购买新的设备。

主动网络正是为了改变传统网络的这些局限性而应运而生的，为计算机网络的快速发展提供了良好契机。

1.1.2 研究背景

从计算机网络的发展历史看，总是先框定网络体系结构，然后才能具体实现整个网络系统。而且，计算机网络系统的任何标准都是围绕计算机网络体系结构以及派生的协议而制定的。计算机网络发展的不同阶段，人们对网络体系结构和协议都有不同方面、不同深度的研究。

在 20 世纪 60 年代末到 70 年代末，是计算机网络创立阶段，产生了多种网络体系结构，具有代表性的是美国国防部高级研究计划署（DARPA，Defense Advanced Research Projects Agency）资助的 DARPA 网络体系结构，即现在因特网传输控制协议/网际协议（TCP/IP）网络体系结构的前身，IBM 公司的系统网络架构（SNA）和 DEC 公司的网络体系结构（DNA）等。20 世纪 70 年代末到 80 年代末是计算机网络标准化和开发互联的时期，主要产生了国际标准化组织（ISO）制定开放式系统互联参考模型（OSI）这一标准的开放式体系结构。尽管国际标准化组织的宗旨是想建立一个统一的七层协议模型，但由于各种原因没有真正实现它。

DARPA 网络体系结构组成的构件包括以下几部分：

（1）网络。这是通过基于数据报交换技术的 IP 协议而形成的一层虚拟传输网络，提供独立于具体传输子网的网络服务。这种虚拟网络成功地实现了不同网络的互联，IP 协议成为事实上的开放式互联标准协议。

（2）网络服务。在 IP 协议之上，DARPA 网络设计了多种端到端的服务，包括：由 TCP 提供的面向连接的服务、由用户数据报协议（UDP）提供的无连接服务，以及由实时传输协议（RTP）提供的具有时间参数处理能力的服务。这种基于 IP 数据报设计的多种网络服务，为高效使用 Internet 提供了基础。

（3）网络应用。在网络服务之上，DARPA 网络可以提供多种应用，如远程终端访问