

高性能计算机网络 新进展

Research Progress
in High Performance Computer Network

顾冠群 陶军 吴家皋 主编

Edited by

Gu Guanqun, Tao Jun, Wu Jiagao



东南大学出版社
Southeast University Press

南京 Nanjing

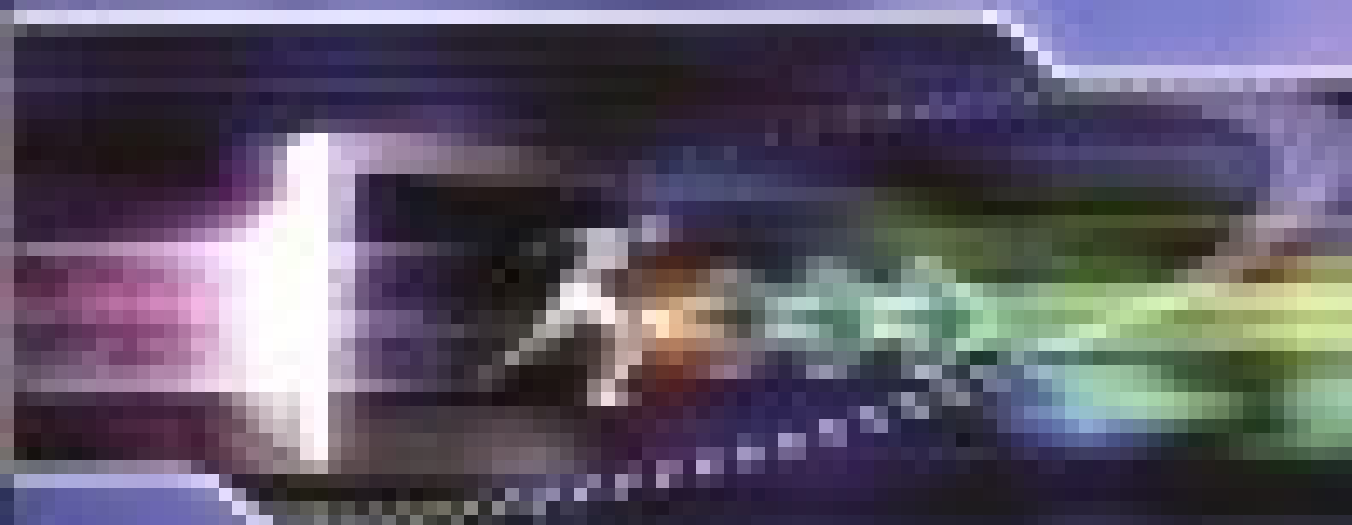
高性能計算機網絡 技術發展

Research Progress
in High-Performance Computing Networks

2008-03-01 00:00:00

第1版

9787309055555



清华大学出版社
Tsinghua University Press
www.tup.tsinghua.edu.cn

高性能计算机网络研究进展

**Research Progress in High Performance
Computer Network**

顾冠群 陶 军 吴家皋 主编

Edited by

Gu Guanqun, Tao Jun and Wu Jiagao

东南大学出版社
Southeast University Press
南京 • Nanjing

内容提要

本书收集汇编了 40 多篇东南大学“计算机网络和通信研究室”、“计算机网络和信息集成教育部重点实验室”在高性能计算机网络方面发表的研究文章,其研究内容涵盖了高性能计算机网络体系结构、网络协议和算法、网络安全和管理、分布式对象计算、服务支撑技术、网络应用技术及高性能网络发展趋势等。这些文章大都在国家自然科学基金项目、国家 973 项目、教育部重点项目和国家发改委项目等资助下完成。

按照内容,本书可供从事计算机网络研究和工程技术人员使用,也可以作为计算机网络相关专业研究生的网络专题课程参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高性能计算机网络研究进展/顾冠群,陶军,吴家皋
主编. —南京:东南大学出版社,2006. 10
ISBN 7-5641-0545-3

I. 高... II. ①顾... ②陶... ③吴... III. 计算机网络—研究 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 097309 号

高性能计算机网络研究进展

主 编:顾冠群 陶军 吴家皋

责任编辑:张煦

封面设计:毕真

出版发行:东南大学出版社

社 址:江苏省南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)

邮件地址:amberzhang@seu.edu.cn

经 销:江苏省新华书店

印 刷:扬州鑫华印刷有限公司

版 次:2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:26.50

字 数:661 千字

定 价:90.00 元

凡因印装质量问题,可直接向东南大学出版社电子信息分社调换。电话:025—83793865

前言

30年前,1976年的金秋十月,我选择了计算机网络作为研究方向。30年来,我和东南大学“计算机网络和通信研究室”的同事们,一直围绕着“计算机网络及应用”展开教学和科研工作,作出了一些贡献,并取得了一些成绩,在积累了大量宝贵经验的同时,也不乏坎坷、挫折和教训。在30年艰辛的研究和发展历程中,我与中国最早从事计算机网络研究的几位专家一道,历经岁月风雨的洗礼,饱受艰难困苦的磨炼。而整个研究界以及广大民众对于计算机网络,从最初普遍的冷漠与淡然处之,到后来开始以新奇的心态迎来发展的曙光,直至今天广泛地认可并热情地讴歌和赞同——整个过程中,我们始终在默默耕耘和执著研究,同时也一直承受着极大的考验。

(一)

根据我的研究观点和长期从事计算机网络研究的经历,按照网络体系结构研究重点的不同以及网络自身的特征,计算机网络的研究和发展可分为四个主要阶段,即:开放式网络、高速网络、高性能网络和高可用网络。

上世纪60年代末,美国ARPA网成功组建,奠定了以分层协议结构、分组交换技术以及NCP、TCP/IP等重点协议为特征的开放式网络的基础。随后的70年代初期至中期,各个计算机公司纷纷提出了本公司的网络体系结构,例如:IBM公司的SNA、DEC公司的DECnet等,它们的主旨在于指导本公司的计算机设备进行联网。但是,这些网络体系结构只适宜建造具有同构系统互连能力的自封闭网络系统,而不能实现不同公司异构计算机设备之间的联网。

于是,自上世纪70年代后期开始,网络研究界开始关注并积极研究如何能够超越各个公司的封闭式网络体系结构,而寻求一种“统一且开放”的网络体系结构。在此期间,国际标准化组织(ISO)提出了开放系统互连(OSI)参考模型,其主要目标是针对计算机、通信系统以及用户端设备等实现“互连、互通和互操作”,从而达到硬件、软件和信息等资源的共享。在当时看来,OSI参考模型确实是一个内容详尽、设计优良的网络体系结构参考模型,并且ISO后来又专门为OSI参考模型增加了管理和安全方面的补篇。但是,对于OSI体系结构的七层模型,在具体实现过程中,第四层至第七层的实现软件,显得过于复杂和庞大。各层协议的全集、子集或选集,在实际组网过程中工作难度较大,网络运行的操作开销很大,并且成本也非常高。相比互联网(Internet)所采用的TCP/IP协议簇而言,OSI参考模型及其协议实现显得不太实用。

从上世纪80年代初开始,局域网的诞生和迅速发展,尤其是基于IEEE 802.3标准的以太网(Ethernet)的兴起,迎合并且推动了微型机和工作站的向前发展,同时也促使计算机的应用模式朝着网络化方向迅速迈进。其后,企业网、校园网等开始出现并渐成热门,它们采用远程网与局域网相结合的方式,将企业、校园等信息化工程的规模和功能大大增强,并且使信息化水平和信息处理效率也大幅提高。在此期间,互联网与远程网、局域网的进一步发展,又将计算机网络研究推向了新的发展阶段。

上世纪 80 年代中期,由于光纤通信技术的发展和实用化,网络底层通信的传输速率得到了大幅提升,特别是远程网络的传输速率得到了革命性的提高。网络底层传输速率的这种从低速到高速的飞跃性变化,使传统网络体系结构(包括 OSI 和 TCP/IP 参考模型)所存在的种种缺陷与不足开始暴露出来。为了应对网络底层传输速率的这种变化,网络较高层的协议处理及其实现势必也要随之变化。因此在当时,从网络的传输速率和向网络应用提供的处理速率之角度,我认为计算机网络体系结构的研究重点进入了“高速网络”研究阶段。高速网络的研究重点主要集中在两个方面:(1)新的高速协议;(2)体系结构和协议的高速实现。其中,新的高速协议在低层通信协议中居多,在运输层则以快捷传输协议(XTP)为代表;而协议的高速实现,主要吸取“并发”和“先行控制”的方法,来缩短协议的处理时间和减少操作的冗余开销。

(二)

随着计算机网络的继续向前发展,互联网进一步兴起,全球范围内各国的联网计算机数目和上网人数呈现爆炸性增长态势。从上世纪 90 年代中期至本世纪 2005 年左右,我认为网络体系结构发展的第三阶段,称之为高性能计算机网络研究阶段。推动这一阶段计算机网络发展的主要原因在于应用和需求发生了巨大变化,并且支撑计算机网络各个领域的单元技术、以及这些单元技术之间的交叉和集成技术都产生了新的进展。从网络应用方面来看,互联网从早期的电子邮件(E-mail)、文件传输(FTP)等简单应用方式,继而发展到全球范围内的 Web 应用方式,进而向着更具有美好前景的网格(Grid)应用方式迈进;从网络性质和功能的角度来看,互联网已经从单纯面向信息通信和信息处理的网络基础设施,逐渐转变为支撑各国政治、经济、文化、教育、国防等各个领域全面信息化的全球信息基础设施,成为了人类社会的重要组成部分。互联网中“扭斗”(Tussle)现象的愈演愈烈,表明互联网已经不再是单纯作为一项工程技术而出现,商业化和社会化已经成为互联网新的显著特征,这一切都会为互联网体系结构的研究和发展带来深刻的变革。

上世纪 90 年代互联网的兴盛繁荣和互联网应用的广泛深入,显示了互联网的重要性和互联网相比其他类型计算机网络系统的优越性,但随着互联网的进一步普及和商业化,传统互联网体系结构所存在的一些缺陷与不足也开始暴露出来。从应用的角度,专家们将现代计算机网络所面临的主要难题归结为服务定制、资源控制和用户管理等三大类。从上世纪 90 年代中期开始,新的联网方式(无线/移动网)和新的交互方式(“人—网”)促使计算机网络研究发生变化,因此,计算机网络的研究重点进入到了第三个发展阶段——高性能计算机网络研究阶段。高性能计算机网络(简称高性能网络),与之前研究界所重点关注并着力研究的开放式网络、高速网络有很大的不同,它的特点主要体现在以下几个方面:

(1)突出网络服务,着重系统集成。根据网络体系结构的同轴式系统组成观点,高性能网络从内向外地将网络通信、网络服务和网络应用,以更加紧密的集成方式组成网络系统。

(2)注意到计算机网络的研究重点开始从通信向服务进行跃迁,网络各层除了关注协议的高性能之外,更加强调了对“服务”的描述和对高性能服务的研究。

(3)关注了互联网商业化所带来的社会性,尤其重视了对“扭斗”现象的研究。互联网的社会性已经促使互联网从原来单纯面向信息通信和信息处理的网络基础设施,逐渐发展成为人类社会的重要组成部分。

而且,高性能网络的“高性能”不仅局限于网络性能上的“高”,更重要的是它必须立足

于全球信息基础设施的服务本质,顺应网络研究重点从通信向服务进行跃迁的发展趋势,向人类信息社会提供高性能、高效率、灵活多样、方便快捷的网络服务。换言之,高性能网络所强调的“高性能”是将服务、性能、功能及应变能力等集成在一起的“高能”。

自上世纪 90 年代中期到本世纪 2005 年前后,高性能网络的研究已经有十余年的历史,国内外研究界在这方面已经取得了丰硕的成果。虽然从计算机网络研究的历史发展阶段来看,高性能网络的研究暂告段落,但计算机网络研究的步伐并没有也不会停止,相关研究仍将继续向前发展。随着互联网应用的进一步深入和互联网商业化程度的进一步深化,由于互联网社会性所带来的种种棘手问题、互联网“扭斗”现象的日渐激化、以及网络三大难题的长期困扰等,都成为推动计算机网络研究向新的发展阶段迈进的动力源泉,目前网络的可控、可管、高可信以及社会问题都受到了国内外网络研究人员的高度关注。

因此我认为,从现在起计算机网络的研究将开始进入第四个发展阶段,这一阶段将重点研究“高可用网络”。如果说第一阶段的“开放式网络”是由“互连、互通和互操作”的需求催生的,第二阶段的“高速网络”是由网络底层传输速率大幅提升的技术因素驱动的,第三阶段的“高性能网络”是由互联网作为全球信息基础设施的面向应用与服务特性促成的,那么,第四阶段的“高可用网络”则是由于其作为人类社会的重要组成部分的社会性决定的。相比高性能网络研究而言,历史赋予了高可用网络的“高可用性”更加广泛的含义,包括:服务可定制、可扩展、可部署、灵活、易用、可靠、可控、可信、开放以及社会适应性等,宏观上,高可用网络的“高可用”将主要表现为网络资源的高效整合、网络服务的便捷易用、网络应用的丰富多样、网络用户的安全可信、网络运营的可控可管等。从现在起到今后相当长的一段时间内,我们应该大力研究高可用网络体系结构及其关键理论和技术,通过发现问题、克服困难、解决难题、积极创新,推动我国计算机网络的研究不断取得技术性和社会性的巨大进步。

(三)

本书收集汇编了东南大学“计算机网络和通信研究室”、“计算机网络和信息集成教育部重点实验室”在高性能计算机网络方面发表的研究文章,每篇文章后面都注出了所发表的期刊名称。这 40 多篇文章大都在国家自然科学基金项目、国家 973 项目、教育部重点项目和国家发改委项目等资助下完成的,且是从我们所发表的 160 多篇文章中优选而出。

按照内容,本书可供计算机网络研究和工程技术人员使用,也可以作为计算机网络相关专业研究生的网络专题课程参考书。

本书共分为七个部分,每个部分包括若干篇中、英文期刊和会议文章。

第一部分,关于高性能计算机网络体系结构,重点介绍两个模型:FINA 和 INSA。

第二部分,关于网络协议和算法,介绍若干 QoS 路由、接纳控制与多播协议及算法。

第三部分,关于网络安全和管理,包括智能网络管理体系结构模型、多播密钥。

第四部分,关于分布式对象计算,包括 CORBA 在高性能网络中的应用和 Web 服务组合框架模型。

第五部分,关于服务支撑技术,包括基于 CORBA 的音/视频流服务模型及实现策略,覆盖网络多播服务模型及实现等。

第六部分,关于网络应用技术,包括制造业信息化、网络教育以及面向电子商务的新型网络服务体系等。

第七部分,关于高性能网络发展趋势的评述,包括网络体系结构与网络难题的解决方案,互联网体系结构的剖析等。

(四)

首先感谢本书中各论文的作者以及发表这些论文的期刊。同时,本书的汇编工作,还得到罗军舟教授、吴国新教授、夏勤高工、王萃寒高工等老师的大力支持,杨鹏博士以及董永强、吴强、吴清亮、杨璐、陈行、戴江鹏、杨怡等博士生参与了全书的汇编,在此一并表示衷心的感谢。

另外,我们还要特别感谢东南大学出版社宋增民社长和张煦编辑,他们对本书的出版,给予了很大的支持、帮助和指导。

本书的汇编,难免会存在一些缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

顾冠群

二〇〇六年八月于南京

目 录

一、高性能计算机网络体系结构

1. FINA: 一种基于交互的网络体系结构框架模型 沈苏彬 顾冠群(3)
2. A Conceptual Model of Service Customization and its Implementation
..... Shen Subin Gu Guanqun Zhang Shunyi (13)
3. 基于交互、面向服务的新一代网络体系结构模型研究 杨 鹏 吴家皋(31)
4. 互联网体系结构剖析 杨 鹏 刘 业(41)

二、网络协议和算法

1. 计算机网络运输层协议的研究与新进展(Ⅰ)——传统运输层协议机制的改进和
实现的优化 潘建平 顾冠群 沈苏彬(55)
2. 计算机网络运输层协议的研究与新进展(Ⅱ)——新型运输层协议的研究、设计和
标准化 潘建平 顾冠群 沈苏彬(62)
3. QoS routing based on genetic algorithm
..... F. Xiang L. Junzhou W. Jieyi G. Guanqun(69)
4. 适应 QoS 路由机制的网络模型研究 冯 径 马小骏 顾冠群(82)
5. 基于移动代理的蚂蚁算法在 QoS 路由选择中的应用研究 陶军 顾冠群(92)
6. Fuzzy Neural Network Based Traffic Prediction and Congestion Control in High-
Speed Networks
..... Fei Xiang He Xiaoyan Luo Junzhou Wu Jieyi Gu Guanqun(101)
7. 基于测量的接纳控制研究 马小骏 顾冠群(108)
8. 支持组播的输入队列 ATM 交换机设计及其调度策略研究
..... 翟明玉 顾冠群 吴国新 罗军舟(116)
9. 基于效用距离的分层多播反馈控制算法 董永强 陶 军 马小骏(126)
10. 无线/移动网络中适应的 RSVP 路径快速切换方案
..... 姜爱全 吴家皋 叶晓国(137)
11. 一种异构环境下覆盖多播网络路由算法的研究 吴家皋 叶晓国 姜爱全(148)
12. 基于非合作竞价博弈的网络资源分配算法的应用研究
..... 陶 军 吴清亮 吴 强(158)

三、网络安全和管理

1. An Architectural Model for Intelligent Network Management
..... Luo Junzhou Gu Guanqun Fei Xiang (171)
2. 网络管理的研究和发展 沈俊 顾冠群 罗军舟(180)
3. 可靠可缩放安全多播密钥更新实现研究 许勇 凌龙 顾冠群(199)

四、分布式对象计算

1. 端到端实时 CORBA 系统调度模型及其可调度性研究
..... 沈卓炜 谢俊清 汪芸(209)
2. Research on Life Cycle Management Mechanism in COM/CORBA Interworking
..... Shen Zhuowei Xie Junqing Dui Jiying Gu Guanqun(221)
3. Web 服务组合抽象框架模型 冯名正(229)
4. CORBA 实现系统性能优化策略研究 谢俊清 蔡敏 顾冠群(237)
5. 基于多界面的 COM/CORBA 互操作 兑继英 汪芸 顾冠群(245)
6. 开放的异种对象标识及绑定机制研究 兑继英 沈卓炜 顾冠群(250)

五、服务支撑技术

1. 基于 IntServ/RSVP 的 CORBA A/V Stream QoS 实现策略研究
..... 沈军 董永强(259)
2. 一个安全的 CORBA 音/视频流服务模型:Sec Stream 冯名正(267)
3. 支持 QoS 的网络控制策略工具集 HPNQ 张振 倪敏 陶军(277)
4. A Study and Implementation of a New Overlay Multicast Service Network
..... Wu Jiagao Chen Yixin Yang Yinying(283)
5. 基于自组织聚类的结构化 P2P 语义路由改进算法 刘业 杨鹏(293)

六、网络应用技术

1. Information System Design of Manufacturing Environments
..... Luo Junzhou Gu Guanqun(307)
2. The Research of Integrated Service in Advanced Manufacturing Technology Network
..... Gu Boxuan Dong Yisheng Feng Jing Gu Guanqun(316)
3. A Study and Implementation of XTP over ATM AAL5
..... Wu Jiagao Gu Boxuan Ye Xiaoguo Gu Guanqun(322)
4. 基于 Nat-Pt 的应用层组播过渡方案 陈行 吴强 吴家皋(330)

5. 一种基于 J2EE 架构的网络教育系统集成框架及应用

..... 李 伟 罗军舟 曹玖新(337)

6. 面向电子商务的新型网络服务体系及其实现模型

..... 沈 军 董永强 杨 鹏(346)

七、高性能网络发展评述

1. 下一代因特网研究和发展趋势 冯 径 顾冠群(355)

2. 网络体系结构与网络难题的解决方案 沈苏彬 顾冠群(362)

3. 新一代高性能计算机网络 顾冠群 沈苏彬 顾伯莹 赵阿群 沈卓炜(373)

4. Some Issues on Computer Networks: Architecture and Key Technologies

..... Gu Guanqun Luo Junzhou(386)

—

高性能计算机网络体系结构

FINA: 一种基于交互的网络体系结构框架模型

沈苏彬 顾冠群

(东南大学计算机科学与工程系, 南京 210096)

(国家教育部计算机网络与信息集成重点实验室, 南京 210096)

摘 要: 网络发展到面向应用的阶段, 传统面向系统互连的网络体系结构已经不能满足各种以高性能为评价指标的网络应用需求. 通过研究计算机网络体系结构发展的历史, 吸收了软件体系结构研究的成果, 提出了一种基于交互的网络体系结构框架模型(FINA). FINA 从宏观网络分层结构、构件化框架模型、以及网络构件及其交互模板 3 个抽象级别描述网络体系结构, 既保留了传统网络对等层交互的开放互连结构, 又引入了现代网络相邻层交互的可定制结构. 通过运用 FINA 描述和分析了传统网络及可编程网络体系结构, 说明了 FINA 适合于描述和评价过去以及现在具有灵活服务定制要求的高性能网络体系结构.

关键词: 网络体系结构, 构件化网络结构, 网络分层结构, 可编程网络, 主动网

1 问题的提出

在计算机网络发展的不同阶段, 网络体系结构具有不同的作用. 在网络发展初期(70 年代), 网络体系结构是计算机系统制造商保证自身产品自成体系、前后兼容的规范. 这种面向产品开发的网络体系结构详细定义了网络系统组成的构件, 以及构件之间的接口标准和协议. 但是, 这时的网络体系结构是自我封闭的结构, 无法实现异构系统之间的互连.

为了解决异构网络系统之间的互连, 国际标准化组织(ISO)制定了开放系统互连参考模型(OSI/RM), 定义了网络系统互连所需要的分层结构和对等层交互的协议规范. 但是这种开放网络阶段(80 年代)的网络体系结构只考虑了系统的可连接性, 没有考虑互连系统面向应用的性能.

当网络发展到面向应用的阶段(90 年代)时, 网络面临更多的是如何从服务定制、资源控制和用户管理方面提高网络系统性能, 提供灵活多样的网络服务等问题^[1]. 如何在面向网络应用性能的高性能网络环境下, 完整全面地定义网络体系结构, 这是当今网络基础研究必须解决的问题.

本文提出了一种基于交互的网络体系结构框架模型(FINA), 作为对传统网络体系结构框架模型的扩展, 可以全面地描述网络对等层实体和相邻层实体之间的交互; 本文第 2 节讨论 FINA 提出的背景、主要思想及其合理性分析; 第 3 节详细论述 FINA 框架模型; 第 4 节通过 FINA 的应用实例论述其实用性; 第 5 节比较相关研究工作, 最后提出本文的结论.

2 构造高性能网络体系结构的规则和框架模型

通过对网络体系结构发展历史的研究, 可以得出结论: 在建网初期, 为了完整准确方便

地构造网络,注重从网络上下层接口(相邻层交互)和不同网络节点之间相同协议层(对等层交互)角度全面地定义网络体系结构,实现具有同构系统兼容能力、容易互连的封闭网络系统.在开放系统互连阶段,注重网络水平方向的交互,以实现异构系统的互连.而在网络应用阶段,开始注重网络系统垂直方向的交互,使得传输网的服务能力以最小衰耗映射成计算机网的服务能力.这样就可以归纳出构造高性能网络体系结构的规则.

2.1 网络体系结构的构造规则

作为一种网络体系结构,它必须首先是基于网络节点相互交互的逻辑结构;其次考虑到网络传输性能到网络服务性能的映射,以及构造网络服务的灵活方便程度,它必须具备开放和简化的上下层交互结构.这样,就得出构造高性能网络体系结构的第1条规则.

规则1(交互规则).高性能网络体系结构应该具备开放的网络节点之间的水平交互结构和开放的网络节点内部不同层次之间的垂直交互结构.

高性能网络体系结构突出了网络节点内部垂直交互的作用,网络的垂直交互体现了网络系统构件化特征.而网络水平交互体现了网络系统开放特征.但是,网络系统不同于一般的分布对象计算系统,它必须区分水平交互和垂直交互,并且注重研究垂直交互与水平交互的关联性.这样,就引出了构造高性能网络体系结构的第2条规则.

规则2(关联规则).高性能网络体系结构应该具备水平交互和垂直交互的关联模型.

垂直交互必然涉及按照什么原则进行网络系统分层的问题,这是高性能网络必须正确回答的问题.按照 Clark 和 Tennenhouse 的观点^[2],为了减少传输性能向网络性能映射过程中的衰耗,必须尽量减少网络系统分层的数量,网络端系统最好作为一个处理单元快速处理.但是,按照 Malley 和 Peterson 的观点^[3],增加分层数量可以提供灵活可组合服务的网络结构.在借鉴了可编程网络思想^[4]的基础上,我们认为,从高性能网络体系结构构件化特征角度看,如果以层次作为定义构件类型的尺度,以具有独立的服务能力作为封装构件的标准,则这种构件化的分层必须是以市场为基础的相对稳定结构,并且要求每个层次都能够提出标准的产品化构件.这样,就可以得出构造高性能网络体系结构的第3条规则.

规则3(分层规则).高性能网络体系结构必须参照与网络产品市场分割相吻合的宏观分层模型划分层次.

2.2 网络体系结构框架模型的提出

依据以上构造高性能网络体系结构的3条规则,可以构造一个独立于具体网络体系结构的框架模型.该框架模型从3个层面定义了高性能网络体系结构(参见图1).首先按照现

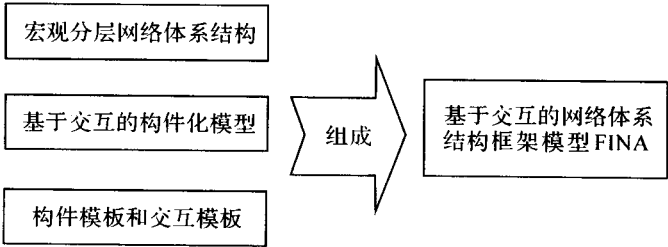


图1 基于交互的网络体系结构框架模型组成

在网络系统各类组成产品的市场划分,建立宏观分层的网络体系结构框架,划分每个层次的功能和服务,构造覆盖整个网络系统的框架模型.其次定义宏观分层结构中各层包含的

构件及其水平和垂直的交互关系,建立基于交互的构件化框架模型.最后,定义典型类型的构件模板以及构件交互模板,辅助网络系统设计人员分析和设计具体网络系统的服务和协议.这种适用于构造高性能网络体系结构的框架模型,称为基于交互的网络体系结构框架模型.

之所以说 FINA 是适合于高性能网络体系结构的框架模型,是因为它的 3 个抽象层次的描述方法可以完全对应构造高性能网络体系结构的 3 条规则:分层规则对应宏观分层体系结构,交互规则对应构件化模型,关联规则对应构件模板和构件交互模板.

因为以上 3 条构造高性能网络体系结构的规则包罗了传统网络体系结构中的分层和开放的思想,同时又兼顾了可预见未来的高性能网络体系结构的特征,所以,根据以上规则构造的 FINA 适用于描述、验证传统的和未来的网络体系结构.

2.3 框架模型的合理性分析

因为 FINA 是一种概念模型,尚不能通过一种数学模型证明其完整性和一致性.但是,可以通过对它所依据的理论和技術基础分析,评判这个概念模型的合理性和有效性,通过它在典型网络体系结构描述和分析中的实际应用,评判这个概念模型的实用性.以下主要从 FINA 的理论和技術基础分析其合理性和有效性.

FINA 的思想来源于对分层网络体系结构以及未来网络体系结构发展的认识.我们认为,传统分层的网络体系结构在分解复杂网络系统逻辑结构方面仍然具有不可替代的作用,未来的网络体系结构宏观上仍然是层次结构.但是,必须改变类似于 OSI/RM 这种单纯基于通信功能的层次划分.宏观网络体系结构的层次划分必须与现有的网络系统市场分割相结合,综合面向产品和面向开放系统互连的网络体系结构设计思路,构造在水平和垂直方向都具有开放能力的网络体系结构.实际上在目前研究较为活跃的可编程网络体系结构^[4,5]和 TINA^[6]中都采用了这种宏观网络体系结构的分层思想.这种分层思想也是 ISO 的 ODP(开放分布处理)商业模型思想的引申.所以,网络分层结构是现在和可以预见未来的较为合理的宏观网络体系结构.

FINA 的思想也源于软件体系结构设计思想.软件体系结构研究者认为^[7]:软件工程已经发展到了软件体系结构分析和设计的时期,这个时期软件系统的成功与否很大程度上决定于软件体系结构的设计,而不是某个软件算法或者软件数据结构的设计.因为软件已经发展到重用的时代,如何重用现有的软件模块,构成具有全新功能的软件系统成为软件研究的主题.同样,现在的网络系统也发展到了构件化框架模型的新时期^[8],需要首先采用基于构件的模型分析和设计网络体系结构,然后再重用或者设计相应的协议和服务构件.基于交互的构件模型是这类网络体系结构的一种合理模型.

FINA 的思想还来源于对计算机网络协议形式化建模方法和原理的研究.早在 1980 年,Bochmann 和 Sunshine 就在他们经典的关于网络协议建模的文章中提出^[9]:网络协议和服务是相关于一个网络实体的两个不同侧面,首先形式化描述网络服务,然后才能形式化证明网络协议中与服务相关的具体特征.所以,从网络协议形式化建模观点看,构造网络服务和网络协议关联的构件模板是一种合理的网络系统描述和验证方法.

3 基于交互的网络体系结构框架模型

以下从宏观网络分层结构、构件化框架模型和构件及其交互模板 3 个方面定义 FINA.

3.1 宏观网络分层结构

按照我们对现有的和未来网络体系结构发展的认识,我们将网络体系结构宏观上分成 5 个层次,自上而下包括:用户应用层、应用服务层、运输服务层、通信服务层以及传输服务层. FINA 与 OSI 分层对应结构参见图 2.

用户应用层提供面向用户的应用,包括用户定制的应用系统,用户标识和用户权限的管理.面向用户的管理(例如用户标识、身份验证、服务授权和计费)应该在这个层次完成.传统计算机网络体系结构没有用户应用层,这是因为传统计算机网络的设计目标是实现计

用户应用层	FINA	OSI/RM
应用服务层		应用层
运输服务层		表示层
		会话层
		运输层
通信服务层		网络层
传输服务层		链路层
		物理层

图 2 FINA 与 OSI/RM 分层对应结构

算机系统(包括内部应用进程)之间的通信.而高性能网络的设计目标是高性能地提供面向用户的应用服务,所以,必须在新型网络体系结构中增加面向用户的层次.用户应用层从体系结构方面为解决当前网络三大难题^[1]中的用户管理和定制服务的两大难题提供了可能的解决方案.用户应用层是最终网络服务供应商业务相关的逻辑层次,从市场角度看,从事用户应用层的供应商负责部署和经营网络服务.

应用服务层提供各种面向应用的服务构件,包括传统网络应用中的文件传输服务、电子邮件服务、远程终端服务、现在网络应用中的 WWW(万维网)信息查询服务、视频会议服务、话音通信服务等.应用服务层相当于传统网络体系结构中的应用层.这是网络第 3 方服务供应商业务相关的逻辑层次,从市场角度看,从事应用服务层的供应商负责设计、实现和提供网络服务.

运输服务层提供端到端服务进程之间的分布计算服务,包括端到端之间数据可靠传输、数据同步和异构数据格式转换.它提供在网络环境下开发服务的各种数据传递和分布处理构件,构成一个面向网络服务开发的网络分布计算平台.运输服务层对应传统网络体系结构(OSI/RM)中的运输层、会话层和表示层.这是网络中间件供应商业务相关的逻辑层次,从市场角度看,从事运输服务层的供应商负责设计、实现和提供开发网络服务所需的构件和平台.

通信服务层提供端到端的数据(包括正文、视频和话音类型数据)通信服务,包括提供跨越不同传输网的交换服务,构成虚拟专用网的服务,以及可以提供单播、多播和广播通信模式的互连网服务.通信服务层对应传统网络体系结构中的网络层,现在 IP 协议是该层次