

学 术 著 作 丛 书

*Advanced Technologies of
Computer Networks*

计算机网络前沿技术

窦文华 张鹤颖 郑彦兴 著
刘志峰 张磊 蒋杰 刘亚杰

国防科技大学出版社

国防科技大学学术
专著出版基金资助

计算机网络前沿技术

窦文华 张鹤颖 郑彦兴 著
刘志峰 张磊 蒋杰 刘亚杰

国防科技大学出版社

·长沙·

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络前沿技术/窦文华等著. —长沙:国防科技大学出版社, 2007.4

ISBN 978 - 7 - 81099 - 336 - 4

I. 计… II. 窦… III. 计算机网络—新技术 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 037704 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:唐卫葳 责任校对:文 慧

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:850×1168 1/32 印张:20.5 字数:533 千
2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1—2000 册

*

ISBN 978 - 7 - 81099 - 336 - 4

定价:48.00 元

内 容 简 介

经过三十多年的计算机网络学术界和技术界的研究, 计算机网络技术已成为全世界百年来出现的最伟大的技术之一, 它极大地推动了社会进步和人类的进步。

现在计算网络学术界和技术界都还对许多计算机网络的前沿技术继续进行着认真刻苦的研究工作, 计算机网络技术仍然在迅速地发展着, 计算机网络对世界、社会和人类的影响也还在迅速地扩大着。

本书分六章对当前计算机网络的一些前沿技术进行了详细地论述, 反映了近年来的最新研究成果以及我们的一些创新研究。主要内容包括计算机网络拥塞控制技术、QoS 路由技术、组播技术、无线自组网络技术、传感器网络技术和 P2P 技术。本书论述了这些前沿技术的基本概念、研究现状、主要的研究问题、待解决的问题及未来的发展趋势等。

本书可作为信息领域的博士研究生、硕士研究生的计算机网络课程的教材, 也可作为计算网络学术研究人员、工程研究人员、技术应用人员和网络管理人员, 以及研究生、本科生等了解、熟悉和掌握计算机网络前沿技术的重要技术参考书。

作者简介

窦文华,国防科技大学计算机学院教授、博士生导师。1970年本科毕业于哈尔滨军事工程学院计算机系,后在国防科学技术大学工作。1983年至1985年在美国伊利诺大学计算机科学系做访问学者,1995年至1999年任国防科学技术大学自动控制系主任,1999年至2003年任国防科学技术大学计算机学院副院长。现当选中国计算机软件行业协会理事、中国自动化学会第七届理事、中国光学学会光电子技术委员会委员。享受政府特殊津贴。现在主要从事计算机网络、信息安全、计算机体系结构的研究。在科研中,获国家级科技进步一等奖一项、部委级科技进步一等奖两项、二等奖六项,在国内一流学术刊物和国际会议上发表论文30多篇,培养了硕士77名,博士17名。

张鹤颖,女,博士,国防科技大学计算机学院助理研究员,1998年获国防科技大学自动控制专业学士学位,2004年获国防科技大学计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为高速互连网络、拥塞控制、控制理论与应用。2001年开始研究有线与无线网络中的拥塞控制,以第一作者在国内相关学术会议和期刊上发表论文10余篇,其中3篇被SCI检索,3篇被EI检索。曾在ACM SIGCOMM2003会议上发表论文一篇,该文被国内外相关领域的研究者多次引用。

郑彦兴,男,博士,北京系统工程研究所助理研究员,分别于1998年、2001年获国防科技大学自动控制专业学士学位和硕士学位,2005年获国防科技大学计算机科学与技术专业博士学位。研究方向为网络协议、多目标优化算法、软件测试、数据共享等。在Journal of Computer Networks、Networking、计算机学报、软件学报等国

内外有影响的期刊和会议上发表十几篇文章,研究成果受到国外专家的好评。

刘志峰,男,博士,现任职于湖南省人民政府信息化工作办公室,湖南省信息产业厅。分别于 1995 年、2000 年获国防科技大学自动控制专业学士学位和硕士学位,2005 年获国防科技大学计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为计算机网络、电子政务等,发表论文十几篇,其中 1 篇被 SCI 检索。

张磊,男,博士,国防科技大学计算机学院助理研究员,1999 年获国防科技大学自动控制专业学士学位,2005 年获国防科技大学计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为移动自组网络,传感器网络等。以第一作者在国内相关学术会议和期刊上发表论文 10 余篇,其中 4 篇被 SCI 检索,2 篇被 EI 检索。

蒋杰,男,博士,国防科技大学计算机学院助理研究员,分别于 1998 年、2001 年获国防科技大学自动控制专业学士学位和硕士学位,2005 年获国防科技大学计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为无线通信与移动计算、移动自组织网络、无线传感器网络、并行程序调试与性能分析等,发表论文 10 余篇,其中 6 篇被 SCI 检索,1 篇被 EI 检索。

刘亚杰,男,博士,国防科技大学信息系统与管理学院讲师,2005 年获国防科技大学计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为 P2P 网络、流媒体传输、信息系统等,发表论文 10 余篇,其中 3 篇被 SCI 检索,1 篇被 EI 检索。

前 言

自从 1969 年底世界上第一个计算机网络 ARPANET 开始运行以来,在短短的 30 多年里,计算机网络在世界各国、在各行各业得到了极其广泛的应用,它对社会的进步、经济的发展、科技的推动发挥着巨大的作用。

在国际互联网应用的急速发展过程中,计算机网络遇到了许多学术和技术问题的挑战。这些年来计算机网络的学术研究和技术研究的重大成果和创新极大地推动了国际互联网的发展。计算机网络流量的自相似特性、网络服务质量 QoS 体系结构、网络路由技术的研究、网络拥塞的研究、网络测量和性能技术的研究、网络安全的研究、覆盖网络 P2P 等前沿学术研究和技术研究都取得了很大的研究进展,许多研究成果都已经在实际的计算机网络、国际互联网中发挥了重要的作用。但是这些问题的彻底解决还需要一代又一代计算机网络学术研究人员进行艰苦的研究。

目前计算机网络的应用领域还在不断地扩大,新的应用方向也在不断产生,这给计算机网络的研究提出了一个又一个新的挑战。计算机网络编码技术、大延迟实

时网络技术、无线传感器网络、全光网络等前沿技术也都要求计算机网络学术研究人员进行坚持不懈的研究本书共分六章,针对一些计算机网络前沿技术进行了详细的介绍和分析,论述这些技术的产生背景、研究现状和需要进一步研究解决的问题。

第一章讲述了计算机网络 congestion 的产生、congestion 控制的定义、congestion 控制的分类、congestion 控制的性能指标,以及端到端 congestion 控制的研究现状。详细介绍了主动队列管理机制的原理、TCP/AQM 系统的数学模型、分析了几种典型的 AQM 机制,并介绍了公平带宽分配的原理和典型机制。

第二章讲述了 IP QoS 的产生、目的、IETF 提出的 IP QoS 体系结构(集成服务体系结构 IntServ, 区分服务体系结构 DiffServ 和多协议标签交换 MPLS)、QoS 度量和 QoS 路由算法分类等。详细分析了几种典型的 QoS 路由算法:路径长度方程、RSP 算法、MCP 算法和基于不精确网络状态信息的 QoS 路由算法,论述了基于 Pareto 最优的 QoS 度量空间划分框架和基于 POPF 的算法设计,介绍了有线多播和无线 QoS 路由,最后展望了 QoS 路由的进一步研究。

第三章讲述了组播通信的应用、组播技术发展历史、组播技术的特点、组播的研究热点和进一步的研究问题等。详细介绍了 IP 组播体系结构、IP 组播转发和 IP 组播路由协议,也详细分析了应用层组播的基本概念、应用层

组播的分类和应用层组播的算法等。

第四章讲述了移动自组网络的基本概念:定义、分类、组成和功能、产生背景、特点用途以及研究热点。详细分析了移动自组网络拓扑控制技术、移动自组网络路由技术、移动自组网络 QoS 问题等,并给出了移动自组网络的未来发展趋势。

第五章讲述了无线传感器网络的概念和特点、应用背景、主要研究内容和国内外研究现状。详细分析了无线传感器网络中的覆盖控制问题:传感器节点感知模型、覆盖控制分类和覆盖相关问题,并且详细介绍了区域覆盖控制算法、点覆盖控制算法和栅栏覆盖控制算法,最后给出了传感器网络覆盖控制方面进一步的研究问题。

第六章全面系统地分析和介绍了 P2P 网络的多项技术,特别是资源定位技术。讲述了 P2P 的定义、历史、应用现状、特点等,介绍 P2P 资源定位技术面临的挑战,以及依据该技术的 P2P 系统分类,详细分析了集中式资源定位、全分布非结构资源定位、全分布结构资源定位等三种典型的资源定位技术,最后介绍了 P2P 流媒体内容分发的关键技术。

本书图文并茂,深入浅出,在内容上力求达到系统性、准确性、科学性和先进性的要求。

全书由窦文华负责,张鹤颖博士、郑彦兴博士、刘志峰博士、张磊博士、蒋杰博士和刘亚杰博士各编写了一

章。

本书可作为大专院校的博士研究生、硕士研究生的计算机网络课程的教材,可以作为本科生计算机网络课程的辅助教材,也可作为计算机网络学术研究人员、工程研究人员、技术应用人员和网络管理人员等了解、熟悉和掌握计算机网络前沿技术的重要技术参考书。本书主要面向计算机专业和通信专业的博士研究生、硕士研究生和本科生,以及从事计算机网络开发、应用和管理的有关人员。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,欢迎读者提出宝贵意见。

作者

2007年3月1日

目 录

第一章 拥塞控制及主动队列管理

1.1 因特网中的拥塞与拥塞控制	(1)
1.1.1 拥塞的产生及拥塞控制	(1)
1.1.2 拥塞与拥塞控制的定义	(2)
1.1.3 拥塞控制的分类	(3)
1.1.4 拥塞控制机制的性能指标	(3)
1.2 端到端拥塞控制	(4)
1.2.1 TCP 拥塞控制的原理	(4)
1.2.2 端到端拥塞控制的发展	(5)
1.2.3 端到端拥塞控制的局限性	(7)
1.3 队列管理	(7)
1.3.1 弃尾队列管理	(7)
1.3.2 主动队列管理	(9)
1.3.3 主动队列管理机制的性能指标	(10)
1.3.4 主动队列管理机制的研究现状	(11)
1.4 TCP/AQM 系统模型	(13)
1.4.1 网络模型	(13)
1.4.2 TCP 窗口调节与队列变化时域模型	(15)

1.4.3	TCP 窗口调节与队列变化复域模型	(17)
1.4.4	TCP/AQM 闭环反馈系统结构图模型	(19)
1.4.5	TCP/AQM 系统模型的其它形式	(20)
1.5	典型主动队列管理算法分析	(21)
1.5.1	RED 算法	(21)
1.5.2	BLUE 算法	(30)
1.5.3	AVQ 算法	(31)
1.5.4	REM 算法	(32)
1.5.5	PI 算法	(34)
1.5.6	PIP 算法	(35)
1.6	公平性及公平带宽分配	(45)
1.6.1	流的概念	(46)
1.6.2	流的分类	(46)
1.6.3	公平性概念	(48)
1.6.4	公平性问题的产生	(50)
1.6.5	基于报文调度的公平带宽分配	(52)
1.6.6	基于 AQM 的公平带宽分配	(52)
1.7	典型的公平带宽分配算法	(58)
1.7.1	CSFQ 算法	(58)
1.7.2	FRED 算法	(63)
1.7.3	CHOKe 算法	(67)
1.8	因特网流量特征与公平带宽分配	(68)
1.8.1	因特网流量的组成	(69)
1.8.2	因特网流量的分布	(69)
1.8.3	短 TCP 流竞争带宽的脆弱性	(71)

1.8.4 短流优先的公平带宽分配算法	(72)
1.9 主动队列管理的发展趋势	(81)
参考文献	(82)

第二章 QoS 路由

2.1 IPQoS 体系结构对 QoS 路由的需求	(89)
2.2 QoS 度量	(92)
2.3 QoS 路由算法分类	(93)
2.3.1 基于路由问题模型的分类	(93)
2.3.2 基于路由策略的分类	(94)
2.3.3 基于对网络状态信息的不同假设分类	(96)
2.4 典型的 QoS 路由算法	(96)
2.4.1 路径长度方程	(97)
2.4.2 RSP 算法	(98)
2.4.3 MCP 算法	(99)
2.4.4 基于不精确网络状态信息的 QoS 路由算法	(104)
2.5 基于 Pareto 最优的 QoS 度量空间划分框架	(107)
2.5.1 QoS 度量空间	(107)
2.5.2 Pareto 最优	(108)
2.5.3 基于 Pareto 最优的 QoS 度量空间划分框架 (POPF)	(112)
2.6 基于 POPF 的算法设计	(125)
2.6.1 两约束 MCMOP 问题的 Pareto 层	(125)
2.6.2 POPF 与 QoS 路由算法设计	(129)
2.6.3 HDSA 算法	(132)

2.6.4 NM_MCP 算法	(140)
2.6.5 MP-TACPA 算法	(153)
2.7 有线多播和无线 QoS 路由	(162)
2.7.1 有线多播 QoS 路由	(162)
2.7.2 无线网络 QoS 路由	(164)
2.8 QoS 路由研究展望	(168)
参考文献	(170)

第三章 组播技术

3.1 Internet 中的组播	(178)
3.1.1 组播的定义	(178)
3.1.2 组播技术的历史	(179)
3.1.3 组播的分类	(181)
3.1.4 组播技术的性能指标	(182)
3.1.5 组播技术特点	(182)
3.1.6 组播的研究热点	(184)
3.2 IP 组播网络体系结构	(186)
3.2.1 组播的工作原理	(186)
3.2.2 实现 IP 组播的前提条件	(187)
3.2.3 组播地址分配与 MAC 地址	(187)
3.2.4 组播树	(189)
3.3 IP 组播转发	(191)
3.3.1 逆向路径转发 RPF	(192)
3.3.2 组播转发缓存	(192)
3.3.3 TTL 阈值	(193)

3.3.4 管理权限边界	(193)
3.4 IP组播路由协议	(194)
3.4.1 组播路由协议概述	(194)
3.4.2 近期方案	(197)
3.4.3 长远方案	(197)
3.5 组播状态可扩展性技术研究	(199)
3.5.1 问题描述	(199)
3.5.2 相关工作	(200)
3.5.3 聚集组播技术	(203)
3.5.4 基于分发树切分的聚集组播技术	(211)
3.6 基于分发树切分的聚集组播协议	(235)
3.6.1 聚集组播实现基本问题	(235)
3.6.2 ASSMBTS 协议	(236)
3.6.3 BEAMBTS 协议	(243)
3.6.4 仿真实验	(256)
3.7 应用层组播技术	(260)
3.7.1 应用层组播基本概念	(260)
3.7.2 应用层组播研究热点	(262)
3.7.3 应用层组播性能度量尺度	(264)
3.7.4 应用层组播方案分类	(267)
3.7.5 应用层组播方案分析和比较	(269)
3.8 组播技术待进一步研究的问题	(281)
3.8.1 IP层组播技术待研究的问题	(281)
3.8.2 应用层组播技术待研究的问题	(282)
参考文献	(283)

4.6.3	移动自组网络组播路由协议	(381)
4.6.4	基于主从支配点的移动自组网络广播算法 ..	(383)
4.7	移动自组网络 QoS 问题	(409)
4.7.1	移动自组网络 QoS 服务模型	(411)
4.7.2	移动自组网络 QoS 介质访问控制协议	(414)
4.7.3	移动自组网络 QoS 信令协议	(416)
4.7.4	移动自组网络 QoS 路由协议	(419)
4.8	未来发展趋势	(422)
4.8.1	协议安全问题	(422)
4.8.2	端到端协议优化与跨层设计问题(Cross-layer Design)	
		(422)
4.8.3	服务质量保证问题	(423)
4.8.4	无线 Mesh 网络	(424)
	参考文献	(425)

第五章 无线传感器网络

5.1	无线传感器网络概述	(435)
5.1.1	无线传感器网络的概念和特点	(435)
5.1.2	无线传感器网络的应用背景	(440)
5.1.3	无线传感器网络的主要研究内容	(442)
5.1.4	无线传感器网络研究现状	(446)
5.2	无线传感器网络中的覆盖控制问题	(447)
5.2.1	传感器节点感知模型	(449)
5.2.2	覆盖控制问题分类	(450)
5.2.3	覆盖相关问题	(453)