

计算机网络的 服务质量 (QoS)

林 闯 单志广 任丰原 著

QUALITY
OF
SERVICE OF
COMPUTER NETWORKS



清华大学出版社

计算机网络的 服务质量 (QoS)

林 闯 单志广 任丰原 著

QUALITY
OF
SERVICE OF
COMPUTER NETWORKS

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

计算机网络的服务质量(QoS)是当今国际上网络研究领域最重要、最富有魅力的研究方向之一,是计算机网络研究与开发的热点,被称为新一代计算机网络的核心问题之一。本书分为4个部分,共15章。第一部分是QoS的体系结构,包括QoS的定义及概述,IntServ和DiffServ两种Internet QoS体系结构,及其二者的结合。第二部分是QoS的实现机制,包括ATM网络的传输管理与QoS控制,IP网络的拥塞控制、报文分类、流量整形与监测、队列管理、分组调度、QoS路由等控制问题。第三部分是QoS的性能评价与应用扩展,包括QoS控制的综合性能评价标准,以及应用层的Web QoS控制。第四部分是QoS的仿真与实现,包括网络仿真软件NS2的介绍和基于NS2的网络仿真实现方法,以及基于网络处理器平台的QoS实现。

本书细致而全面地展示了计算机网络QoS领域的研究进展和最新成果,具有完整性、新颖性和学术性。非常适合我国计算机网络与通信领域的教学、科研工作和工程应用参考。既可以供计算机、通信、电子、信息、自动化等相关专业的科研人员、研究生和大学高年级学生作为教学参考书,也可以供计算机网络研究开发人员、网络运营商等网络工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络的服务质量(QoS)/林闯,单志广,任丰原著. —北京:清华大学出版社,2004

ISBN 7-302-08076-3

I. 计… II. ①林… ②单… ③任… III. 计算机网络—服务质量—质量管理 IV. TP393.07

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第008216号

出 版 者:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:薛 慧

版式设计:肖 米

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印 张:23.5 字 数:529千字

版 次:2004年4月第1版 2004年4月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-08076-3/TP·5843

印 数:1~4000

定 价:36.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

前言



QUALITY OF SERVICE OF COMPUTER NETWORKS

谁掌握了信息、谁控制了网络,谁就将拥有整个世界。

Alvin Toffler

(阿尔文·托夫勒,美国著名未来学家)

计算机网络是 20 世纪 60 年代人类的伟大创造。从 1969 年 Internet 的前身——美国国防部高级研究计划署为冷战目的而研制的 ARPANET 网络开始投入运行,迄今为止的短短三十几年时间,计算机网络已经对人类社会的进步与发展产生了巨大的推动作用和深远的影响。然而,如何透彻地认识和理解计算机网络这个人工非线性复杂巨系统,如何有效地管理和控制以 Internet 为代表的大尺度现代计算机网络,如何高效、高质量地传输多媒体业务和满足各种现代网络应用的多元化需求,在理论上和技术上至今依然存在着许多重大的科学问题和挑战。计算机网络的服务质量(quality of service, QoS)问题就是其中之一。

顾名思义,服务质量体现的是消费者对服务者所提供服务的满意程度,是对服务者服务水平的一种度量和评价。同样,现代计算机网络作为计算和信息等服务的提供者,同样面临着提供 QoS 的问题。事实上,从计算机网络系统诞生伊始,人们就一直孜孜不倦地致力于提高系统的服务性能和服务质量,因此,QoS 问题实际上由来已久。目前,在高速网络中按照用户的要求提供 QoS 控制是一个普遍的要求,也是 Internet 发展的重要挑战。计算机网络的 QoS 问题已经成为当今国际网络研究领域最重要、最富有魅力的核心研究领域之一,是目前计算机网络中研究与开发的热点问题,并且和网络安全等问题一起被称为新一代计算机网络最重要的核心研究领域,因此其对未来网络技术的研究、应用和发展具有举足轻重的意义。

然而,由于网络基础设施的庞杂性,实现端到端的 QoS 并非易事。影响网络 QoS 的因素有许多,网络 QoS 控制涉及到构成网络的每一个节点和元素,从网络链路与协议,到路由器、交换机、服务器的硬件、软件体系结构。计算机互联网络发展至今,已成为一个庞大的非线性复杂巨

系统:系统的规模和用户数量巨大且仍在不断增长,异构的网络不断融合发展;网络协议体系庞杂,垂直方向上呈现出多样化的层次结构,而水平方向上又以地域和功能为标准进一步形成分布且多级的架构;在业务性质上表现为多种业务的集成与综合,业务量突发性日渐明显,且不同业务要求不同的 QoS 保证;网络节点间、节点与数据分组间由于协议而产生的非线性作用以及用户之间的合作与竞争,使网络行为呈现出相当的复杂性并且难以预测。因此,要真正实现针对各类网络用户提供端到端的 QoS 保证,仍有很长的路要走。

针对网络的 QoS 控制问题,世界各国的大学和研究机构、标准化组织(IETF、ITU-T、ANSI 等)、计算机网络产品的开发商和网络运营商都纷纷投入到这一领域的研究和开发。目前,QoS 控制技术的研究和开发进展得都非常迅速,并且已经取得了许多重要的基本研究成果。国内近些年也开始了有关 QoS 控制方面的研究。

清华大学计算机科学与技术系计算机网络技术研究所林闯教授领导的“计算机网络传输控制与性能评价”研究小组是国内 QoS 研究领域非常活跃的一支研究队伍,近年来在 QoS 控制领域开展了一系列卓有成效的研究工作,本书就是本课题组多年研究工作的全面总结,书中绝大部分内容取材于我们近期已在国际、国内一流学术期刊发表的论文,细致而全面地展示了我们很多最新的研究成果和进展。

本书从组织结构上分为 4 个部分 15 章。

第一部分是 QoS 的体系结构。其中第 1 章的内容主要是 QoS 的定义及概述,给出了 QoS 的一般性描述、各种定义和标准,并对 QoS 的控制和管理机制进行了概述。第 2 章和第 3 章重点介绍了 IETF 提出的两种不同的 Internet QoS 体系结构:综合服务(IntServ)和区分服务(DiffServ),对其各自的原理机制、服务类型、研究热点等进行了详细的描述,并进行了对比性分析。第 4 章讨论了 DiffServ 与 IntServ 相结合的端到端 QoS 提供机制。

第二部分是 QoS 的实现机制。其中第 5 章介绍了 ATM 网络的传输管理与 QoS 控制的技术与策略。第 6 章介绍了 IP 网络的拥塞控制机制以及主动队列管理的策略与算法。第 7 章详细描述了报文分类问题,包括报文分类基础知识、报文分类算法以及报文分类器的设计与应用。第 8 章介绍了流量整形与监测。第 9 章对队列管理进行了详细的讨论,包括缓冲管理的意义、目标、控制策略、典型算法、研究方向等。第 10 章重点介绍了分组调度,包括分组调度算法的本质分析、性能指标以及各种调度算法的比较和分析。第 11 章讨论了 QoS 路由问题,包括 QoS 路由的实现机制、各种路由协议与算法等。

第三部分是 QoS 的性能评价与应用扩展。其中第 12 章讨论了 QoS 控制的综合性能评价标准问题。第 13 章全面描述了应用层的 QoS 问题——Web QoS,介绍了 Web 请求的分类机制、Web 服务器应用程序的 QoS 控制机制、操作系统的 Web QoS 控制机制、中间件的 Web QoS 控制机制、Web 服务器集群的 QoS 控制,以及 Web 服务器集群 QoS-aware 负载均衡的策略、模型与性能分析。

第四部分是 QoS 的仿真与实现。其中第 14 章介绍了网络仿真软件 NS2 以及基于 NS2 的网络仿真实现方法。第 15 章描述了基于网络处理器平台的 QoS 实现,首先对网络处理器进行了综述,然后介绍了基于 Intel 网络处理器的路由器队列管理的 QoS 实现。

清华大学计算机科学与技术系计算机网络技术研究所“计算机网络传输控制与性能评价”研究小组的科研人员和研究生对本书的编写提供了大力的协助。在此特别感谢田立勤对本书第7、8章所做的工作,李寅对第9章所做的工作,周文江对第10章所做的工作,崔逊学对第11章所做的工作,以及谭章熹、郑波等人的工作。

本书具有以下鲜明的特色:

(1) 完整性:本书内容全面丰富,体系完整,结构合理,层次分明,细致而全面地描述了计算机网络 QoS 的体系结构、实现机制、性能评价与应用扩展,以及 QoS 的仿真与实现,是全面、深入了解网络 QoS 技术的难得的参考书。

(2) 新颖性:本书全面反映了当今计算机网络 QoS 领域的最新研究进展,论述的各项 QoS 技术正是目前网络研究与应用的热点或是将要引起人们关注的技术,内容新颖,别具一格。

(3) 学术性:本书具有一定的理论高度和学术价值,书中绝大部分内容取材于作者近期已在国际、国内一流学术期刊发表的论文,细致而全面地展示了大量最新的科学研究成果和发展动向,具有一定的前瞻性和很高的学术参考价值。

本书特别适合我国计算机网络与通信领域的教学、科研工作和工程应用参考。既可以供计算机、通信、电子、信息、自动化等相关专业的科研人员、研究生和大学高年级学生作为教学参考书,也可以供计算机网络研究开发人员、网络运营商等网络工程技术人员参考。

本书作者的研究工作得到了国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(No. G1999032707, 2003CB314804)、国家自然科学基金项目(No. 60373013, 60218003, 60273009 和 90104002)、国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(No. 2001AA112080)和高等学校博士学科点专项科研基金项目(No. 20020003027)等的连续资助,在此表示深深的谢意!

由于作者水平所限,加之计算机网络 QoS 问题的研究仍处于不断的发展和变化之中,书中错误和不足之处在所难免,恳请专家、读者指正。

作 者

2003 年 10 月

北京清华园

目 录



第一部分 QoS 的体系结构

第 1 章 QoS 的定义及概述	3
1.1 QoS 的一般性描述	3
1.1.1 QoS 的应用需求	3
1.1.2 QoS 的概念描述	4
1.1.3 QoS 的发展概述	5
1.2 QoS 的定义和标准	6
1.2.1 OSI 参考模型中的 QoS 定义	6
1.2.2 CCITT(ITU)的 QoS 定义	7
1.2.3 ATM 的 QoS 定义	7
1.2.4 IETF 的 QoS 定义	9
1.2.5 QoS 定义的分层、分类及分维	10
1.3 QoS 控制和管理概述	12
1.3.1 QoS 设计的基本原则	12
1.3.2 QoS 的描述	13
1.3.3 QoS 的控制和管理机制	14
1.3.3.1 QoS 的提供机制	14
1.3.3.2 QoS 的控制机制	16
1.3.3.3 QoS 的管理机制	18
参考文献	18
第 2 章 综合服务体系结构 IntServ	21
2.1 IntServ 概述	21
2.2 IntServ 模型	22
2.3 IntServ 的服务类型	23
2.3.1 可控负载型服务	23
2.3.2 质量保证型服务	23
2.4 资源共享要求与服务范围	24
2.5 QoS 控制的实现框架	25

2.6	QoS 控制参数	26
2.7	资源预留协议 RSVP	26
2.7.1	RSVP 简介	26
2.7.2	RSVP 的工作原理	28
2.7.2.1	RSVP 实现资源预留的过程	28
2.7.2.2	RSVP 与其他 QoS 控制模块的关系	29
2.7.2.3	RSVP 的控制分组	30
2.8	IntServ 的 QoS 研究	31
2.9	IntServ 的局限性	31
	参考文献	32
第 3 章	区分服务体系结构 DiffServ	35
3.1	DiffServ 概述	35
3.2	DiffServ 的体系结构	36
3.2.1	DS 区域与 DS 区	36
3.2.2	区分服务标记域与区分服务标记 DSCP	37
3.2.3	边界节点的传输分类与调节机制	37
3.2.4	逐点行为 PHB、PHB 组与 PHB 组族	38
3.3	DiffServ 的典型服务与技术	40
3.3.1	奖赏服务 PS	40
3.3.2	确保服务 AS	41
3.3.3	其他服务类型	42
3.4	DiffServ 网络中的组播问题	42
3.4.1	DiffServ 网络支持组播存在的问题	43
3.4.2	DiffServ 网络中支持组播的方案	44
3.5	DiffServ 中带宽分配的公平性问题	45
3.5.1	适应流与非适应流共享 AF 时的公平性	45
3.5.2	Web 流的公平待遇	46
3.5.3	通用的解决办法	47
	参考文献	47
第 4 章	DiffServ 与 IntServ 相结合的端到端 QoS 提供机制	51
4.1	DiffServ 网络区支持 IntServ/RSVP 的意义	52
4.2	DiffServ 网络区支持端到端 IntServ 的实现框架	53
4.3	支持端到端 IntServ 的 DiffServ 网络区资源管理方案	54
4.3.1	静态资源管理方案	54
4.3.2	使用 RSVP 的动态资源管理方案	54
4.3.3	使用其他方式的动态资源管理方案	56

4.4 DiffServ 网络区支持端到端 IntServ 的研究展望	56
参考文献	57

第二部分 QoS 的实现机制

第 5 章 ATM 网络的传输管理与 QoS 控制	61
5.1 ATM 网络的传输特点	62
5.2 ATM 网络的传输管理与 QoS 控制技术	63
5.2.1 接纳控制	63
5.2.2 拥塞控制	64
5.2.2.1 开环预防控制	65
5.2.2.2 反馈流控	66
5.2.3 信元丢弃控制	67
5.2.4 信元传输实时调度	68
5.3 ATM 网络的传输管理与 QoS 控制策略	68
5.3.1 资源管理策略	68
5.3.2 信元的存储和调度策略	70
5.3.3 模型描述和求解证明	71
参考文献	72
第 6 章 拥塞控制	73
6.1 拥塞的定义	74
6.2 拥塞控制概述	75
6.3 流量控制与拥塞控制的关系	76
6.4 TCP 流量控制	76
6.4.1 TCP 流量控制的工作原理	76
6.4.1.1 TCP 报文头	76
6.4.1.2 TCP 的滑窗机制	77
6.4.1.3 重传策略	79
6.4.1.4 确认策略	80
6.4.2 自同步机制	80
6.4.3 加性增加倍乘减小	81
6.4.4 重发超时管理	85
6.4.4.1 RTT 方差估计(Jacobson 算法)	85
6.4.4.2 指数 RTO 退避	86
6.4.4.3 Karn 算法	86
6.4.5 窗口管理	87
6.4.5.1 慢启动	87
6.4.5.2 拥塞避免	88

6.4.6	TCP Tahoe	89
6.4.7	TCP Reno 和 TCP NewReno	89
6.4.8	TCP SACK	91
6.4.9	TCP Vegas	91
6.5	端到端拥塞控制机制	92
6.6	中间节点上的增强机制	94
6.6.1	调度	95
6.6.2	队列管理	95
6.7	主动队列管理	96
6.7.1	AQM 与 RED	96
6.7.2	RED 的变种算法	97
6.7.3	AQM 新策略	98
6.7.4	我们的研究思路与成果	98
	参考文献	100
第 7 章	报文分类	103
7.1	报文分类基础	103
7.1.1	报文分类概述	103
7.1.2	相关符号术语的定义	105
7.1.3	报文分类的可用字段	107
7.1.4	报文分类的几何解释	110
7.1.5	报文分类规则的冲突问题	111
7.1.6	报文分类举例	111
7.2	报文分类算法	113
7.2.1	报文分类算法综述	113
7.2.1.1	线性(linear)查找算法	113
7.2.1.2	交叉组合(cross-producting)算法	113
7.2.1.3	Hierarchical tries 算法	114
7.2.1.4	Bitmap-Intersection 算法	115
7.2.1.5	Tuple space search 算法	116
7.2.1.6	Modular 算法	117
7.2.1.7	RFC 算法	117
7.2.2	报文分类算法的评价标准	119
7.2.3	报文分类算法的性能比较	120
7.3	报文分类器的设计	122
7.3.1	报文分类器的特性	122
7.3.2	报文分类器的设计原则	123
7.3.3	报文分类算法的基本设计思路	124

7.3.3.1 范围查找	124
7.3.3.2 计算几何的上下界	125
7.3.3.3 规则个数的压缩	126
7.3.3.4 分类域宽的压缩	127
7.3.4 高速可行的报文分类算法的设计思路	129
7.4 报文分类的应用	131
7.4.1 区分服务体系结构中的报文分类	131
7.4.2 报文分类在网络技术领域中的应用	132
7.5 进一步的研究工作	135
参考文献	137
第 8 章 流量整形与监测	140
8.1 漏桶算法	140
8.2 令牌桶算法	141
8.3 滑动窗口协议	142
8.3.1 数据链路层的滑动窗口协议	142
8.3.2 传输层的滑动窗口协议	145
参考文献	146
第 9 章 队列管理	147
9.1 缓冲管理的意义	147
9.1.1 对于 QoS 控制的意义	147
9.1.2 对于拥塞控制的意义	148
9.2 缓冲管理的目标	149
9.2.1 系统吞吐量与分组排队延迟	149
9.2.2 系统的缓冲与带宽资源	149
9.2.3 用户的公平性	150
9.2.4 与端系统配合——拥塞控制	150
9.3 缓冲管理的控制策略	151
9.3.1 资源管理策略	151
9.3.2 分组丢弃策略	154
9.4 缓冲管理的典型算法	155
9.4.1 RED 及其衍生算法	155
9.4.2 AVQ 算法	159
9.4.3 动态阈值算法	161
9.4.4 成比例丢失率控制算法	162
9.4.5 缓冲管理和调度联合算法	163
9.4.6 动态部分缓冲共享算法	164

9.5 缓冲管理的研究方向	166
9.5.1 基于流量预测提高系统资源利用率	166
9.5.2 与分组调度相结合融入带宽分配	167
9.5.3 队列长度的控制与维护	167
参考文献	167
第 10 章 分组调度	170
10.1 分组调度概述	170
10.1.1 分组排队策略	170
10.1.2 分组调度的功能	171
10.2 分组调度算法本质分析	172
10.3 分组调度算法的性能指标	173
10.4 常用的分组调度算法比较	174
10.4.1 基于静态优先级的算法	175
10.4.2 基于轮循的算法	175
10.4.3 基于 GPS 模型的算法(PFQ 算法)	176
10.4.4 基于时延的算法	177
10.4.5 分层链路共享算法	178
10.4.6 核心无状态算法	179
10.4.7 基于服务曲线的算法	180
10.4.8 比例区分算法	181
10.4.9 结合缓冲管理的算法	181
10.4.10 分组调度算法小结	182
参考文献	183
第 11 章 QoS 路由	186
11.1 基本路由算法	187
11.1.1 路由算法概述	187
11.1.2 Dijkstra 最短路径算法	189
11.1.3 距离矢量路由算法	190
11.1.4 链路状态路由算法	190
11.2 QoS 路由问题	191
11.2.1 QoS 路由问题的基本结论	191
11.2.2 QoS 路由算法的主要特征	193
11.2.3 QoS 路由的性能度量标准	194
11.3 路由选择方法	195
11.3.1 集中式路由选择方法	195
11.3.2 分布式路由选择方法	195

11.4	分布式时延受限的路由算法	196
11.4.1	网络模型	196
11.4.2	问题描述	197
11.5	Internet 路由协议	197
11.5.1	内部网关协议	197
11.5.2	外部网关协议	198
11.6	组播路由问题	198
11.6.1	组播路由问题的网络模型	199
11.6.2	组播路由算法	199
11.6.3	组播路由协议	201
11.7	无线网络中的路由算法	203
11.7.1	自适应树型算法	203
11.7.2	SP 和 DSDSP	204
11.7.3	PNNI	204
11.7.4	ZRP	204
	参考文献	204

第三部分 QoS 的性能评价与应用扩展

第 12 章	QoS 控制的综合性能评价标准	209
12.1	概述	209
12.2	网络 QoS 控制策略的性能目标	210
12.3	综合性能评价标准 1: 吞吐率 T + 延迟 D	211
12.4	综合性能评价标准 2: QoS 要求 + 公平性 F	213
12.4.1	延迟 D + 公平 F	214
12.4.2	丢失率 L + 公平 F	215
12.5	标准 1 和标准 2 的结合	218
12.6	综合性能评价标准 3	219
12.6.1	几个基本问题	219
12.6.1.1	性能评价的多指标	219
12.6.1.2	性能评价的时间尺度	220
12.6.1.3	性能评价的粒度	220
12.6.2	综合性能评价标准	220
12.6.2.1	有效性的评价	220
12.6.2.2	公平性的评价	222
12.6.2.3	应用	225
	参考文献	225

第 13 章 Web QoS 控制	227
13.1 引言	227
13.1.1 Web QoS 控制的研究背景	227
13.1.2 Web QoS 控制的研究概况	229
13.2 Web 服务器概述	230
13.2.1 Web 应答内容的编码与生成	230
13.2.2 HTTP 协议	231
13.2.3 Web 服务器体系结构	233
13.3 Web 请求的分类机制	236
13.3.1 基于客户的分类	236
13.3.2 基于目标的分类	236
13.4 Web 服务器应用程序的 QoS 控制机制	237
13.4.1 服务器的优先调度	237
13.4.2 选择性的资源分配	238
13.4.3 有效的接纳控制	238
13.4.4 Web 内容自适应	238
13.4.5 基于控制理论的方法	239
13.4.6 典型软件产品实现	240
13.5 操作系统的 Web QoS 控制机制	243
13.6 中间件的 Web QoS 控制机制	245
13.7 Web 服务器集群的 QoS 控制	247
13.7.1 镜像站点	248
13.7.2 基于 DNS 的集群	248
13.7.3 基于请求分配器的集群	248
13.8 Web 服务器集群 QoS-aware 负载均衡的策略、模型与性能分析	250
13.8.1 可扩展的 Web 服务器体系结构与负载共享模型	251
13.8.2 SHLPN 模型	255
13.8.2.1 SHLPN 的非形式化介绍	255
13.8.2.2 系统模型	257
13.8.2.3 模型精化	258
13.8.3 QoS-aware 负载均衡策略及其性能评价指标	259
13.8.3.1 策略描述	260
13.8.3.2 性能评价指标	262
13.8.4 数值结果	263
13.8.4.1 两个优先级的例子	263
13.8.4.2 三个优先级的例子	267
13.8.5 近似性能分析	270

13.8.5.1 近似分析技术	271
13.8.5.2 近似分析的数值结果	274
13.8.6 结论	277
参考文献	278

第四部分 QoS 的仿真与实现

第 14 章 基于 NS2 的网络仿真	285
14.1 网络仿真工具 NS2 概述	285
14.2 NS 仿真基础	287
14.2.1 用户编程语言 OTcl	287
14.2.2 网络仿真	289
14.2.3 事件调度器	293
14.2.4 网络组件	294
14.2.5 分组	297
14.3 仿真后续处理	298
14.3.1 跟踪分析	298
14.3.2 队列监测	299
14.4 NS 的扩展	302
14.4.1 NS 软件的相关内容	302
14.4.2 Tcl 映射	303
14.4.3 添加新的应用和代理	307
14.4.4 添加新的队列	313
第 15 章 基于网络处理器平台的实现	316
15.1 网络处理器综述	316
15.1.1 网络处理器的硬件结构及基本处理技术	317
15.1.2 系统设计与应用所面临的问题	319
15.1.2.1 系统处理特性	319
15.1.2.2 系统并行性要求	320
15.1.2.3 建立 Gigabit 链路系统的挑战	321
15.1.3 网络处理器的应用研究	323
15.1.3.1 基于网络处理器的现有研究工作	323
15.1.3.2 网络处理器的发展方向和相关工作	330
15.2 基于 Intel 网络处理器的路由器队列管理	332
15.2.1 体系结构设计	333
15.2.1.1 软件体系结构	334
15.2.1.2 模块接口	334
15.2.1.3 系统资源分配	334



15.2.1.4	队列结构.....	335
15.2.2	系统处理基本流程.....	336
15.2.2.1	输入处理.....	336
15.2.2.2	输出处理.....	337
15.2.3	几个设计问题.....	337
15.2.3.1	系统同步.....	337
15.2.3.2	线程分配.....	339
15.2.3.3	发送缓冲 TFIFO 的管理	340
15.2.3.4	队列管理的几个基本操作.....	341
15.2.4	性能评价.....	342
15.2.4.1	局部性能.....	342
15.2.4.2	系统性能.....	344
	参考文献.....	344
	英汉对照术语表.....	349

第一部分

QoS 的体系结构



QUALITY OF SERVICE OF COMPUTER NETWORKS

- 第 1 章 QoS 的定义及概述
- 第 2 章 综合服务体系结构 IntServ
- 第 3 章 区分服务体系结构 DiffServ
- 第 4 章 DiffServ 与 IntServ 相结合的端到端 QoS 提供机制