

# 网络服务 质量技术

〔日〕 户田 岩 著  
朱 青 译  
卓 力 魏德智 校

Quality  
of  
Service



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 网络服务质量技术

〔日〕户田 岩 著  
朱 青 译  
卓 力 魏德智 校



科学出版社  
北 京

**图字:01-2003-0474 号**

Original Japanese language edition

Shoukai Network QoS Gijutsu

By Iwao Toda

Copyright © 2001 by Iwao Toda

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese version published by Science Press, Beijing

Under license from Ohmsha, Ltd.

Copyright © 2003

All rights reserved

**詳解**

**ネットワークQoS技術**

**戸田 巖 オーム社 2001**

**图书在版编目(CIP)数据**

网络服务质量技术/(日)戸田 岩著;朱青译. —北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-011368-3

I. 网… II. ①戸… ②朱… III. 因特网-服务质量-研究 IV. TP393.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 031497 号

**责任编辑 崔炳哲 责任制作 姚 谨**

**责任印制 刘士平 封面设计 李 力**

**科学出版社 出版**

北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**保德印刷有限责任公司 印刷**

**北京东方科龙图文有限公司 制作**

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

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003年9月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2003年9月第一次印刷 印张:8 1/4

印数:1—5 000 字数:238 000

**定 价:21.50 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

# 前 言

近年来,因特网技术,特别是因特网技术应用的发展非常迅速。因特网的出现使得图像、音频、视频的传输成为现实。其传输量也已超过了音频的传输量。

因特网原是为了实现计算机数据的传输而开发的网络,是以确保联通(即确实将数据传到了对方)为最大目标。因此网络质量选择了所谓的“尽力”(best effort)。

所谓“尽力”,是指延迟和数据速率的质量由当时网络使用状况来决定,或者说是随着网络质量而变化。

这样的网络质量,比如说在音频数据的传输中显然是不适合的。但随着网络应用范围的扩大,要求网络保证一定质量已成必然。

对于像因特网这样的包交换网络中的质量保证的研究,是从 20 世纪 80 年代后期开始的。其间,发表了大量的研究成果。到了 20 世纪 90 年代后期,因特网工程任务部(IETF: Internet Engineering Task Force)开始制定标准,大量的请求评论(RFC: Request For Comments)也被发布了。

由于有太多的论文和资料发表,反而使得因特网质量技术的全貌难以捕捉。本书的撰写动机之一是想总结一下因特网的质量技术,使其全貌能一目了然。

当然仅凭本书就将因特网质量的所有内容都谈到是不可能的。本书是针对质量中的所谓服务质量(QoS: Quality of Service),即对网络服务质量、延迟和抖动(jitter)等有关技术加以论述。因为它是包交换网络及异步网络中必需要考虑的问题。

除此以外,还有许多问题应该讨论,如以通信量为中心的诸多问题,以保证一定质量为前提的网络设计问题等。但是这些都已电话网络的类似问题中论及过了。

在此,还是让我们来讨论一下网络质量技术的用途吧。

首先,网络质量技术使网络从过度(surplus)设计中脱离出来。现在为了确保因特网的质量,比较快的方法是降低并控制网络的使用率;或者,也可以根据用途,将音频用和数据用按不同的质量配置不同的网络。从目前看来,不管用什么方法,“为了保证质量,都是以设备的浪费为代价”,应该说这种说法并不过分。QoS技术的引入将使网络的经济性得到大幅度的提高。

第二,网络质量技术是有利于改善收益的手段。就像飞机中有一等舱和经济舱一样,因特网服务也有从优先业务(premium)到尽力而为的业务等各种质量等级,其价格差的设定给因特网服务提供商(ISP: Internet Service Provider)提高收益带来了希望。

第三,质量是作为与其他公司相区别的一种手段。预计今后ISP之间的竞争将会更加激烈,网络质量将是竞争的最大武器。

无论怎样,QoS技术都将是使以往以数据为中心的网络变成多媒体网络的核心技术,并且今后对于ISP来说也是成为其利益源泉的技术。

但是,QoS技术是在非常精致的理论基础上构成的,要想理解其本质则需要有高深的数学知识。

为了使QoS技术容易理解,书中采用两种方法进行尝试。

第一,本书由三个基本独立的部分组成。第I部分是QoS概述。它针对非技术人员,对QoS的问题概要、QoS结构进行说明。第II部分主要介绍IETF讨论的QoS结构,是以网络经营者、网络设备厂家等商业者为对象的。第III部分论述通信量控制技术,这是QoS技术的核心。其对象是对QoS非常关心的

技术人员和研究人员。

第二,尽可能地避免使用数学公式,着重说明其物理意义,并充分地利用图形来解说。要做到这些是很难的,作者的意图有多少能够实现,只有等待读者来评价了。

本书是在富士通公司和富士通研究所提供的良好环境下完成的。我由衷地感谢给予我时间和为我提供写作环境的两公司的领导。

感谢富士通研究所的加藤正文和汤原雅信两位先生在很多技术问题上给予我指教。富士通美国研究所的 Thomas Hou 博士提供了最新的信息和论文。还有仲道耕二、高岛研也、山田仁、永田将克、村上宪夫和田中昭三等,他们审读了全书,指正了很多错误的地方。另外,根岸佳美女士帮助我整理了原稿。对他们的好意和支持我表示衷心的感谢。

希望大家的帮助下,希望尽可能地消除文中的错误,如果仍存在着错误,都由本人负责,并将尽快更正。

户田 岩

# 目 录

## 第 I 部分 QoS 概述

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| <b>第1章 绪 论 .....</b>       | <b>2</b>  |
| 1.1 QoS 的必要性               | 2         |
| 1.1.1 因特网迅速发展的理由           | 2         |
| 1.1.2 因特网利用的高度化            | 3         |
| 1.1.3 多媒体与 QoS             | 4         |
| 1.1.4 QoS 技术概述             | 5         |
| 1.2 标准化的动向                 | 6         |
| 1.3 QoS 的应用                | 7         |
| 1.4 什么是 QoS                | 7         |
| 1.5 QoS 服务的作用              | 9         |
| 1.6 QoS 和拥塞                | 10        |
| 1.7 本书的构成                  | 11        |
| <b>第2章 应用与 QoS 服务.....</b> | <b>14</b> |
| 2.1 应用上的 QoS 要求            | 14        |
| 2.1.1 应用的分类                | 14        |
| 2.1.2 多 播                  | 16        |
| 2.2 服务等级协议                 | 18        |
| 2.2.1 服务说明及数据流说明           | 18        |
| 2.2.2 服务等级协议的内容            | 18        |
| 2.3 QoS 服务                 | 20        |
| 2.3.1 QoS 服务的国际标准          | 20        |
| 2.3.2 QoS 模式与应用            | 22        |

**第3章 QoS 控制的机制 ..... 24**

- 3.1 流量控制的原理 24
  - 3.1.1 优先级调度 25
  - 3.1.2 循环调度 26
  - 3.1.3 网关的延迟 27
  - 3.1.4 网络的延迟 28
- 3.2 QoS 网络的结构 29
  - 3.2.1 网络的构成 30
  - 3.2.2 QoS 动作的一个例子 30
  - 3.2.3 网络的 QoS 功能 32
  - 3.2.4 接入控制和资源准备/资源预留 33
  - 3.2.5 网关的特性与端到端的特性 35
- 3.3 网关的工作原理 36
  - 3.3.1 网关的主要功能 36
  - 3.3.2 流量调节机构 37
  - 3.3.3 流量控制机构 38
  - 3.3.4 调度算法 39
  - 3.3.5 有效的队列管理 44
- 3.4 流的描述 45
  - 3.4.1 流的描述与流量的控制 45
  - 3.4.2 令牌桶制约的流 46
  - 3.4.3 漏桶制约的流 48

**第 II 部分 QoS 的体系结构****第4章 QoS 的体系结构 ..... 52**

- 4.1 QoS 网络体系结构的设计方针 52
- 4.2 QoS 网络体系结构 54
  - 4.2.1 构成要素 54
  - 4.2.2 协议 56

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 4.3 网关的体系结构              | 56        |
| 4.3.1 构成要素               | 57        |
| <b>第5章 Intserv .....</b> | <b>59</b> |
| 5.1 Intserv 的特征          | 59        |
| 5.2 Intserv 的服务方式和流的规格   | 60        |
| 5.2.1 保证型服务              | 60        |
| 5.2.2 控制负荷型服务            | 62        |
| 5.3 Intserv 操作概要         | 63        |
| 5.4 Intserv 网络体系结构       | 64        |
| 5.5 Intserv 网关的体系结构      | 65        |
| 5.5.1 构成要素               | 65        |
| 5.5.2 流量调节机构             | 66        |
| 5.5.3 数据包分类机构            | 67        |
| 5.5.4 Intserv 调度算法       | 67        |
| 5.5.5 Intserv 的实例        | 68        |
| 5.5.6 网关需要保证的缓冲器大小       | 69        |
| 5.5.7 输出信息               | 70        |
| <b>第6章 资源预留协议 .....</b>  | <b>71</b> |
| 6.1 资源预留协议的特征            | 71        |
| 6.2 资源预留协议的操作原理          | 72        |
| 6.2.1 路径信息的发送            | 74        |
| 6.2.2 Resv 信息的发送         | 75        |
| 6.2.3 其他的操作              | 77        |
| 6.3 预 留                  | 77        |
| 6.3.1 流描述符               | 77        |
| 6.3.2 预留方式               | 79        |
| 6.4 预留的合并                | 81        |
| 6.4.1 预留合并的概念            | 81        |
| 6.4.2 预留合并的条件            | 82        |
| 6.4.3 预留合并的方法            | 84        |
| 6.4.4 预留合并的实例            | 84        |

|                  |    |
|------------------|----|
| 6.5 资源预留协议信息的格式  | 86 |
| 6.5.1 路径信息的参数    | 87 |
| 6.5.2 Resv 信息的参数 | 90 |
| 6.5.3 其他信息       | 91 |

## 第7章 Diffserv ..... 92

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.1 Diffserv 的概念         | 92  |
| 7.2 PHB 操作               | 93  |
| 7.3 PHS 的规格和操作           | 95  |
| 7.3.1 快速转发(EF)PHB        | 95  |
| 7.3.2 可靠转发(AF)PHB        | 96  |
| 7.3.3 预置 PHB             | 97  |
| 7.3.4 类选择 PHB            | 98  |
| 7.3.5 推荐字节               | 99  |
| 7.4 Diffserv 网络体系结构      | 99  |
| 7.5 Diffserv 网关的体系结构     | 100 |
| 7.5.1 接入控制机构             | 100 |
| 7.5.2 流量调节机构             | 101 |
| 7.5.3 数据包分类机构            | 102 |
| 7.5.4 流量控制机构             | 103 |
| 7.6 利用 Diffserv 构成端到端的服务 | 105 |
| 7.6.1 虚拟专用线              | 105 |
| 7.6.2 恢复型服务              | 105 |

## 第8章 Intserv 与 Diffserv ..... 107

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 8.1 Intserv 和 Diffserv 的比较  | 107 |
| 8.2 Intserv over Diffserv   | 108 |
| 8.2.1 体系结构                  | 108 |
| 8.2.2 服务映射(Service Mapping) | 110 |

## 第9章 实 例 ..... 112

|           |     |
|-----------|-----|
| 9.1 企业内部网 | 112 |
| 9.2 音频数据  | 113 |

---

|             |                       |            |
|-------------|-----------------------|------------|
| 9.3         | 视频信号                  | 116        |
| 9.4         | VPN                   | 117        |
| <b>第10章</b> | <b>链路层的 QoS .....</b> | <b>120</b> |
| 10.1        | 低速线路                  | 120        |
| 10.1.1      | 中断/恢复                 | 121        |
| 10.1.2      | 多类 PPP                | 121        |
| 10.1.3      | 分段方式                  | 123        |
| 10.1.4      | 延迟时间和流量调节             | 123        |
| 10.2        | 局域网                   | 125        |
| 10.2.1      | IEEE802LAN 的优先级控制     | 126        |
| 10.2.2      | 用户优先级                 | 128        |
| 10.2.3      | 网络体系结构                | 131        |
| 10.2.4      | DSBM 的 RSVP 处理操作      | 134        |
| 10.2.5      | 延迟时间与流量调节             | 135        |
| 10.3        | ATM 网络                | 136        |
| 10.3.1      | ATM 的 QoS 服务          | 136        |
| 10.3.2      | 体系结构                  | 140        |
| 10.3.3      | Intserv over ATM      | 141        |
| 10.4        | 无线线路                  | 143        |
| <b>第11章</b> | <b>监管控制 .....</b>     | <b>147</b> |
| 11.1        | 监管服务器的类型              | 147        |
| 11.1.1      | 代理型监管服务器              | 147        |
| 11.1.2      | 设置型监管服务器              | 149        |
| 11.2        | 体系结构                  | 150        |
| 11.3        | COPS 协议               | 152        |
| 11.4        | 监管服务器的安装              | 155        |

**第Ⅲ部分 QoS 通信量控制****第12章 调 度 ..... 160**

- 12.1 服务速率 161
- 12.2 数据传输速率管理的调度算法 162
  - 12.2.1 FIFO 162
  - 12.2.2 优先级调度 163
  - 12.2.3 循环调度 164
  - 12.2.4 流体公平循环排队 166
  - 12.2.5 加权公平排队 169
  - 12.2.6 自同步公平排队 177
  - 12.2.7  $WF^2Q$  179
  - 12.2.8 虚拟时钟排队 181
  - 12.2.9 按类排队 184
  - 12.2.10 CLFQ 190
- 12.3 延迟与缓冲量 192
  - 12.3.1 延迟的定义 193
  - 12.3.2 令牌桶 194
  - 12.3.3 单一网关的延迟与储备 195
  - 12.3.4 各种调度算法的延迟与储备 197
  - 12.3.5 latency-rate 网关 203
  - 12.3.6 网络的延迟和储备 204
- 12.4 抖 动 208
  - 12.4.1 Jitter-EDD 209
  - 12.4.2 Stop-and-Go 210
- 12.5 各种调度器的延迟、抖动和缓冲器的容量 212

**第13章 有效的队列管理 ..... 214**

- 13.1 尾部丢弃 215
- 13.2 随机早期检测 216
- 13.3 ERED 219

|      |        |     |
|------|--------|-----|
| 13.4 | RIO    | 220 |
| 13.5 | 均衡 RED | 220 |

## QoS 技术今后的课题

|            |                 |     |
|------------|-----------------|-----|
| 附录         | TCP 的拥塞控制 ..... | 226 |
| A.1        | 拥塞控制的基本概念       | 226 |
| A.2        | TCP 的拥塞控制原理     | 227 |
| A.3        | TCP 的工作原理       | 228 |
| A.4        | 拥塞窗口控制算法        | 230 |
| A.5        | TCP Vegas       | 232 |
| A.6        | 无线链路的拥塞通知       | 234 |
| A.6.1      | 分割 TCP          | 235 |
| A.6.2      | Snooping Agent  | 237 |
| A.6.3      | ECN             | 237 |
| A.7        | 无线配置 TCP        | 239 |
| 参考文献 ..... |                 | 241 |

# 第 I 部分

## QoS 概述

# 第 1 章 绪 论

## 1 QoS 的必要性

### 1.1.1 因特网迅速发展的理由

现在是因特网的时代。无论是使用人数还是可应用的功能数都在直线上升。据说 2000 年因特网的用户数在全世界已超过了 3 亿。

因特网的普及速度也是让人吃惊的。电视经过了 10 年在全世界才拥有观众 5000 万人。相对来说因特网从商用服务开始 5 年后就达到了同样的数字。

我们来分析一下这种急速发展的原因。

第一是 Web 的发明。因特网从 20 世纪 70 年代开始出现,当时主要用来在各大学的学者、教师和学生之间传输电子邮件。但是到了 1990 年, Berners-Lee 开发了 HTML 以及与其相关联的浏览器后,因特网得到了迅速的普及。这就意味着 Web 作为因特网的招人喜爱的功能推动了因特网的普及,这是无可非议的。

第二是因特网的平等主义的设计思想。在因特网上所有的用户都是平等的,无论网络多么拥挤还是会有新的用户加入。但是所有的用户都没有意识到服务水平的下降。这就是提出所谓尽力(best effort)服务的理由。

因此,网络要能逐渐扩展。招人喜爱的应用程序一旦被使用就无法停止,如果存在设备不足的问题,无论怎样也只有增强设备。这就形成一个很庞大的市场。

以电话为例,由于采取的是对所有用户都保证一定质量的方针,设备不增强就不可能增加用户数量。

相反,对于“尽力服务”,其连接性被保证了,但其他的服务质量,如数据速率、延迟、数据包丢失等都取决于通信量,随着通信量在不断变化。为了企业主网的使用有必要降低网络的使用率。

第三是因特网的设计思想是尽可能地简化网络。对于网络,它只具有路由器的功能,而其他的功能大部分都是由终端来实现的。其结果就是计算机价格下降的同时导致了因特网的爆发性扩大。

这就要求,在数年内要建成与过去花费了 100 年建成的电话网同等级以上容量的因特网和内联网。

其结果是通信企业连呼带宽不够。要增加带宽,就只有不遗余力地增加通信设备。

### 1.1.2 因特网利用的高度化

随着因特网使用量的增加和因特网利用范围的扩大,它的使用形态也有了提高。

以前,电子邮件和 Web 等是因特网的主要利用形态。企业中的电话网和企业业务运营用的企业内数据网、因特网这三个网络,由于彼此互不相关地独立运用而造成了很大的浪费,所以提倡将其在因特网上融合起来。

用于这种目的的网络被称做内联网。以前企业专网<sup>1)</sup>是用来传输各种企业数据的,而内联网则是利用因特网技术来传输。这种数据传输方法与通常的因特网数据相比,对可靠性和实时性的要求要严格得多。

首先,为了内联网能在因特网上实现,开发了虚拟个人网络(VPN: Virtual Private Network)。构成 VPN 的虚拟线路是与专用线相同的,它对数据传输速率和延迟都有要求。

为了与电话网融合开发了 VoIP(Voice over IP)技术,以供使用。VoIP 与原来的电话服务相比具有廉价的特点。但是,在对话时由于其对实时性的要求很严格,音频数据传输的时候如不控制降低网络内的延迟,声音质量就会明显地变差。

随着图像压缩技术的进步和高速网络的廉价化,在邮件中附带照片、录像文件,在 Web 页面上显示视频图像已不稀奇。更何况还出现了称为

---

1) 通常称做企业内部网

流式传输(streaming)的,在因特网上传输录像的因特网播放台。这些数据的传输虽然不需要像声音传输那样有严格的实时性,但由于数据量很大引起了网络的阻塞,给其他实时通信带来不良影响的可能性很大。网络拥挤时,最理想的是只传输通信中的重要部分而舍弃其他。

在设计这样的因特网时,由于假设了传输 FTP 和邮件这类的数字数据,特别是数据传输对实时性没有严格的要求,从而使因特网的现状发生了变化。

### 1.1.3 多媒体与 QoS

所谓的多媒体技术就是不同性质的通信在同一个网络上同时传输的技术,QoS 是其中的一部分。具体地说,就是保证最低数据通信速率的技术、保证数据包最大延迟的技术、控制数据包丢失的技术等。

#### 1 数据包通信方式

因特网采用了数据包通信方式。它可以使持有不同可变长度的数据包的多个用户共同使用同一个传输链路。如果链路上的所有网关的出口链路有空,并且存在可发送的数据包,就可以随时发送。这样,链路的使用率就非常高。这也是数据包通信方式被称做异步通信方式的理由。

SDH 等的时间分割通信方式也是多个用户共用同一链路,但是由于每个用户的间隙是预先分配好的,在某一间隙有空,其他的用户也不能使用。这种方式称做同步通信方式。

从链路的使用效率来看,异步方式特别具有优势。但是从保障数据速率、数据包延迟来看,异步方式是存在问题的。

时间分割方式因为要求分配给每一个用户间隙,就不会发生有某个用户的数据速率被其他用户的数据抢占的现象,也不会有因为其他用户的数据包而使这个数据包等待的现象。因此当输入的数据流通过网络时,数据流有可能发生整体延迟,但数据流中的数据不会有抖动<sup>1)</sup>。

#### 2 数据包的延迟

在异步通信方式中,当某用户的数据包到达某个网关时,网关处正在发送这个用户或其他用户的数据包,就要求新到的数据包要等到前一个

1) 一个相同数据流内的两个数据,两者的时间间隔在网络的入口与出口处是相同的。这种性质称为同步性(isochronous)。