



Cisco Catalyst QoS ——园区网中的服务质量

Cisco Catalyst QoS: Quality of Service in Campus Networks

End-to-end Qos deployment techniques
for Cisco® Catalyst® series switches

Michael Flannagan, CCIE No. 7651
[美] Richard Froom, CCIE No. 5102 著
Kevin Turek, CCIE No. 7284
尹 敏 张 卫 译

内 容 提 要

本书针对 Cisco Catalyst 系列交换机，专门介绍在园区网环境中应用服务质量（QoS）的问题。

全书分为基础 QoS 概念和高级 QoS 概念两部分，由 10 章组成，内容包括：服务质量概述、端对端的 QoS、Catalyst 平台上的 QoS 支持概述、Catalyst 5000 系列交换机中的 QoS 支持、服务质量模块化命令行界面简介、Catalyst 2950 和 3550 系列交换机中可用的 QoS 特性、Catalyst 4000 IOS 和 Catalyst G-L3 系列交换机中可用的 QoS 特性、Catalyst 6500 系列交换机中的 QoS 支持、Catalyst 6500 MSFC 和 FlexWAN 中的 QoS 支持，以及端对端系统中的 QoS 问题研究。

本书面向使用 Catalyst 交换机的网络工程师，以及希望了解此类交换机所能提供的 QoS 能力的技术人员。

关于作者

Mike Flannagan, CCIE No. 7651, 是位于北卡罗来纳州 Research Triangle Park 的 Cisco Systems 公司中 High Touch 技术支持小组的项目经理。2000 年, **Mike** 作为网络咨询工程师加盟 Cisco 高级服务小组, 在这个小组中, 他领导建立和发展了 QoS 虚拟团队。作为虚拟团队的一员, **Mike** 还参与开发了 Cisco IOS 中新的 QoS 特性, 发展 QoS 策略, 并为 Cisco 的一些大型企业用户制定运行方针。**Mike** 讲授 QoS 课程, 并领导开发公司内外的培训课程, 而且他是 Syngress 出版社出版的 *Administering Cisco QoS for IP Networks* 一书的作者。

Richard Froom, CCIE No. 5102, 是位于 Research Triangle Park 的 Cisco Systems 公司中金融测试实验室的软件和 QA 工程师。**Richard** 于 1998 年作为客户支持工程师加盟 Cisco 技术援助组织。作为客户支持工程师, **Richard** 不仅担当了为客户解决网络问题的角色, 并且担任了技术小组的领导。在进行了 Catalyst 系列产品的试验之后, **Richard** 致力于解决这些产品和软件的能力问题。目前, **Richard** 正在从事 Cisco 存储网络产品的工作。**Richard** 在 Clemson 大学计算机科学系获得学士学位。

Kevin Turek, CCIE No. 7284, 刚刚作为网络咨询工程师在 Research Triangle Park 的 Cisco 联邦支持项目组工作。他最近对 Cisco 的一些国防部的客户做了咨询支持。**Kevin** 也是 Cisco 内部的虚拟团队成员之一。他不仅用 QoS 的配置方法对 Cisco 内部的工程师和外部的 Cisco 客户进行支持, 还提升了当前产业中最好的实践使之适合于 QoS。**Kevin** 在 Stony Brook 的纽约州立大学获得商务管理专业的理学学士学位。

关于技术审稿人

Jason Cornett 是 Cisco Systems 公司的客户支持工程师，他是 Research Triangle Park 中 LAN 交换机小组的技术领导。Jason 1999 年加盟 Cisco，并且有 5 年网络方面的工作经验。他获得 St. Lawrence 大学商业技术信息通信系统的学位证书。在此以前，Jason 曾经是一家网络管理公司的网络支持专家。

Lauren L. Dygowski, CCIE No. 7068，是一家专业金融机构的高级网络工程师，并且有 8 年多网络方面的工作经验。他获得了得克萨斯技术大学计算机科学系的学士学位以及波士顿大学的 M.S.B.A。Lauren 曾经是美国海军兵团和 MCI 的网络管理员。目前他和他的妻子以及 3 个儿子居住在北卡罗来纳州的夏洛特。

Balaji Sivasubramanian 是位于 Research Triangle Park 的技术援助中心（TAC）的成员之一，在此中心，他担任全球 LAN 技术专家的职位。他也曾经在 Cisco TAC 工作了 3 年多。他撰写并审阅了 Cisco.com 的 LAN 技术领域的许多技术白皮书。他已经是技术虚拟讨论研讨会的推荐人/监督人。他也积极参与了早期的 Catalyst 4000/5000 平台系列的现场测试工作。Balaji 获得了亚利桑那州立大学计算机工程系的硕士学位，同时还获得了电子工程系的学士学位。

献辞

Mike Flannagan

我将本书献给 Anna。感谢你在我用无数个夜晚和周末来撰写本书的过程中给予我的大力支持和鼓励。

Richard Froom

我将本书献给我的妻子 Elizabeth。感谢她在我写这本书时对我的支持、理解和耐心。同时还要感谢 Elizabeth 在我审稿时的配合和帮助。

Kevin Turek

感谢 Tara 在我写本书时对我的鼓励和耐心。没有你的奉献和理解我将无法完成对本书的写作。我还要感谢 Federal Support Program 对我的大力支持。最后，感谢我的家人和朋友向我灌输的价值和道德观，正是这些观念促使我取得了今天的成就。

致 谢

Richard 要感谢邀他一起撰写本书的合著者们，感谢他们在撰写过程中的努力工作。Richard 还要感谢 Balaji Sivasubramanian 所提供的帮助以及他对属于 Catalyst 4000 系列交换机的技术问题的审阅。

Mike 要感谢 Dave Knuth 和他的朋友在网络优化支持领域对他的支持。Mike 还要特别感谢 Chris Camplejohn、Nimish Desai 和 Zahoor Khan，感谢他们帮助解答了一些难题并使他在其中获益匪浅。感谢 AS QoS 虚拟团队成员的合作和对我们客户的技术支持。Mike 要特别感谢 Richard Watts 对这个撰写小组的支持和贡献。最后要感谢在 Cisco HTTS 小组我的新团队给我带来振奋人心的新的学习机会。

Kevin 以个人名义感谢一起完成本书撰写工作的合著者们，他们的敬业精神和丰富的工作经验，使得本书在保证质量的前提下得以按时完成。特别感谢 Richard 对工作一丝不苟的精神，他在百忙之中抽出时间来完成本书部分撰写工作。

所有的作者都要感谢 Jeff Raymond 提出的宝贵建议，这些建议对保证 Catalyst 6500 系列交换机的技术内容的准确性和质量起到了关键作用。

也感谢 Cisco Press 的工作人员，特别感谢 Brett Bartow 对这个项目的大力支持，感谢 Christopher Cleveland 和 Jennifer Foster 提出的合理建议和对文章进行的编辑。还要特别地感谢我们的检查小组成员 Jason、Lauren 和 Balaji，有他们的努力才使得本书的编写工作如此成功。

前言

本书面向的是使用 Catalyst 交换机的网络工程师，特别是那些希望进一步了解此类交换机中所能提供 QoS (Quality of Service, 服务质量) 能力的用户。此外，对于任何在 Cisco 网络中处理端对端 QoS 策略的网络工程师而言，他们迟早都会发现全面了解 Catalyst 服务质量的必要性。

本书除提供了有关配置服务质量的语法信息外，作者花了大量的笔墨讨论了常见的应用及案例研究。这样读者不仅可以了解在 Catalyst 交换机中如何使用配置 QoS 的命令，而且可以对于采取某些特定策略及相关环境变量的设置原因有所了解。

写作动机

在花了大量的时间为客户寻找大量信息后，作者发现目前市面上没有一本好的关于 Catalyst QoS 的书籍。作者认为，与其将时间花在继续解答相同的问题上，不如将所收集到的关于 QoS 的常用信息，以及一些不太常用但有助于读者进一步了解 Catalyst QoS 的信息整理出版。

目标

本书是为那些对 Catalyst QoS 问题，以及对涉及 Catalyst 交换机的端对端系统中 QoS 问题感兴趣的读者而编写的。本书提供了在请求注释 (RFC) 文档中关于 QoS 的完整信息，保证 QoS 的配置过程，以及在 Catalyst 系列交换机中优化 QoS 操作的命令语法。此外，作者希望读者阅读本书后，不只局限于对命令语法的纯熟掌握，而是能在实际工作环境中真正采取 Catalyst QoS 策略。

预备知识

作者假设读者在阅读本书前，能对所讨论的一些基本网络

概念有所了解。若读者对以下领域不太了解的话,在阅读和理解书中案例和概念时会存在一些困难:

- Cisco IOS (Internet 操作系统)——基本语法。
- CatOS (Cisco Catalyst 操作系统)——基本语法。
- ACL (Access Control List, 访问控制列表) 配置。
- VLAN (虚拟局域网)。
- IP 寻址。
- 路由选择协议——基本语法和概念。
- TCP/UDP 端口分配。

本书的组织结构

虽然读者可以逐页阅读本书,但亦可根据自身的工作需要选择自己感兴趣的章节进行阅读。尽管每一章都是彼此独立的,但书中多数章节均需要参考前面章节的内容。然而从整体上来看,本书的顺序是非常合理的。

本书各章节内容安排如下:

• 第 1 章 服务质量:概述

本章定义了 Cisco 网络中 QoS 的概念,回顾了在多服务网络中 QoS 的必要性,并且讨论了各种 QoS 模型。本章还探讨一些 RFC 中关于 IP QoS 的核心文档。

• 第 2 章 端对端的 QoS:第 2 层和第 3 层的服务质量

本章探究了诸如拥塞管理、拥塞避免、流量调节和链路效率等 QoS 功能组件。本章还探讨了在不同服务体系结构中逐跳行为,以及在 Catalyst 平台上实体层 QoS 的讨论。在对 Catalyst 平台的讨论中,还包含了如何在 Catalyst 系列交换机中实现虚拟局域网的语音服务以及可信的概念。

• 第 3 章 Catalyst 平台上的 QoS 支持概述

本章提供了在 Catalyst 系列每个平台上 QoS 支持的基本概述。此外,还详细地探讨了在 Catalyst 2900XL、3500XL 和 4000 CatOS 系列交换机中所支持的 QoS 特性。

• 第 4 章 Catalyst 5000 系列交换机中的 QoS 支持

本章讨论了在 Catalyst 5000 系列交换机中用于支持 QoS 的有限的软、硬件特征,此外还探究了诸如多层次交换机等概念。

• 第 5 章 服务质量模块化命令行界面简介

本章讨论了 MQC (Modular QoS Command-Line Interface, 服务质量模块化命令行界面) 的必要性,以及如何利用 MQC 来配置 QoS 机制的步骤,除了提供配置命令的必要解释外,本章举例说明了验证配置功能所需的各种命令的 Show 命令的输出结果。

• 第 6 章 Catalyst 2950 和 3550 系列交换机中可用的 QoS 特性

本章讨论了 Catalyst 2950 和 3550 系列交换机所支持的 QoS 特性,还举例说明了这两个系列交换机作为接入层交换机时的 QoS。本章还讨论了这两个系列的交换机在实现 IP 语音时的 Auto-QoS (自动服务质量) 的问题。

• 第 7 章 Catalyst 4000 IOS 和 Catalyst G-L3 系列交换机中可用的 QoS 特性

本章探讨了 Catalyst 4000 IOS 系列交换机和 Catalyst G-L3 系列交换机中所支持的 QoS

特性。在 Catalyst G-L3 系列交换机中也包括 Catalyst 2948G-L3、4908G-L3 和 Catalyst 4000CatOS 系统交换机的 WS-X4232-L3 3 层服务模块。

- 第 8 章 Catalyst 6500 系列交换机中的 QoS 支持

本章重点在于 Catalyst 6500 系列平台中的 QoS 体系结构。尤其是, Catalyst 6500 上的 QoS 如何支持语音以及其他统一环境中的有实时要求的应用。本章进一步讨论了利用 CatOS 和 Cisco IOS 来配置 QoS 特性。

- 第 9 章 Catalyst 6500 MSFC 和 FlexWAN 中的 QoS 支持

本章讨论了在 Catalyst 6500 中 FlexWAN(柔性广域网)和 MSFC(Multilayer Switch Feature Card, 多层交换机功能卡)的 QoS 能力。本章举例说明了 FlexWAN 和 MSFC 如何将 Catalyst 6500 中的 QoS 能力扩展到城域网和广域网中, 示例还显示了如何利用 Cisco IOS 中的可用的 MQC 来配置 QoS。

- 第 10 章 端对端系统中 QoS 案例研究

本章利用典型的园区网设计案例来研究端对端系统中 QoS 的问题。网络拓扑显示采用 Catalyst 2950、3550、4500 IOS 和 6500 系列交换机组网时端对端系统的 QoS。

本书所用图标

在本书中, 读者将看到表示网络设备及网络连接的下列图标:





IBM 大型机



前端处理器



集群控制器



实线：以太网



折线：串行电路



虚线：交换式串行电路



令牌环



光纤分部数据接口



网络云图

命令语法约定

本书中用来表现命令语法的约定与 Cisco IOS 命令参考中使用的约定是相同的。命令参考描述了如下的约定：

- 对于互斥元素用竖线 (|) 隔开。
- 可选元素用方括号 [] 括起。
- 必不可少的选项用花括号 { } 括起。
- 对于可选元素中必不可少的选项用 [{ }] 括起。
- 对于需要逐字输入的命令和关键字，用**粗体**表示。在配置范例和输出（而不是命令语法）中，需要用户手动输入的命令用**粗体**表示（如一个 **show** 命令）。
- *斜体*表示由用户提供实际值的参数。

目 录

第一部分 基本的 QoS 概念

第 1 章 服务质量：概述	5
1.1 理解 QoS	5
1.1.1 QoS 的定义	6
1.1.2 管理不公平	6
1.1.3 可预测性：QoS 的目标	7
1.1.4 拥塞管理	8
1.2 广域网/局域网中的 QoS 配置：高层次概述	9
1.2.1 广域网中为何需要 QoS	9
1.2.2 在交换环境中为何需要 QoS	9
1.3 Cisco AVVID	10
1.4 综合服务和区别服务概述	12
1.4.1 综合服务与区别服务的对比	12
1.4.2 综合服务的定义	12
1.4.3 区别服务的定义	14
1.5 区别服务：一种标准方法	17
1.5.1 RFC 2475：术语和概念	17
1.5.2 RFC 2474：术语和概念	18
1.5.3 确定转发与快速转发	19
1.6 小结	23
第 2 章 端对端的 QoS：第 2 层和第 3 层的 服务质量	25
2.1 QoS 组件	25
2.2 拥塞管理	26
2.2.1 拥塞管理机制	26
2.2.2 调度	28
2.3 拥塞避免	28
2.4 令牌桶机制	34
2.5 流量整形	36
2.6 监控	36
2.7 QoS 信令	37

2.8	链路效率	38
2.8.1	链路分段和交叉 (LFI)	39
2.8.2	实时协议头部压缩 (CRTP)	40
2.9	第 3 层的分类和标记	41
2.9.1	IP 优先权和服务字节的类型	41
2.9.2	区别服务 (DS) 字段	42
2.10	每跳行为	43
2.10.1	RFC 2597: 确定转发 PHB	43
2.10.2	RFC 2598: 快速转发 PHB	45
2.11	第 2 层的分类和标记	46
2.12	第 2 层到第 3 层的映射值	47
2.13	在 Catalyst 平台上 QoS 的基本观点	47
2.13.1	Catalyst QoS 的分类	48
2.13.2	Catalyst QoS 标记	48
2.13.3	Catalyst QoS 策略	48
2.13.4	Catalyst QoS 拥塞管理	49
2.13.5	拥塞避免	49
2.14	Cisco Catalyst QoS 的可信任概念	49
2.14.1	Cisco IP 电话	50
2.14.2	语音虚拟局域网和扩展可信任	51
2.15	小结	52
第 3 章	Catalyst 平台上的 QoS 支持概述	55
3.1	Catalyst 特性概述	56
3.1.1	输入调度	57
3.1.2	分类和标记	57
3.1.3	监控	58
3.1.4	拥塞管理	58
3.2	Catalyst 交换平台的具体表达	59
3.3	Catalyst 2900XL 和 3500XL 所支持的 QoS	60
3.3.1	Catalyst 2900XL 产品系列描述	60
3.3.2	Catalyst 2900XL 和 3500XL 的 QoS 体系结构概述	61
3.3.3	软件要求	62
3.3.4	输入调度	62
3.3.5	分类/再分类	62
3.3.6	拥塞管理	63
3.3.7	案例研究: 在 Cisco Catalyst 3500XL 交换机中的分类和输出调度	64
3.3.8	小结	65
3.4	Catalyst 4000 CatOS 系列交换机所支持的 QoS	66
3.4.1	Catalyst 4000 产品系列描述	66
3.4.2	Catalyst 4000 CatOS 系列交换机的 QoS 体系结构概述	67

3.4.3	软件要求	68
3.4.4	输入调度	68
3.4.5	分类、标记和可信任	69
3.4.6	拥塞管理	70
3.4.7	案例研究: Catalyst 4000 系列交换机的输出调度	71
3.4.8	小结	73
第 4 章	Catalyst 5000 系列交换机中的 QoS 支持	77
4.1	Catalyst 5000 系列交换机的 QoS 体系结构概述	77
4.1.1	软件要求	78
4.1.2	硬件要求	79
4.2	Catalyst 5000 系列交换机中可用的 QoS 特性	81
4.3	输入调度	82
4.4	分类和标记	84
4.4.1	基于入口端口的无标记帧的分类和标记	84
4.4.2	基于入口端口的标记帧的分类	85
4.4.3	基于目的 VLAN 和 MAC 的分类和标记	85
4.4.4	基于 ACE 的分类和标记	86
4.4.5	扩展可信任选项	91
4.5	拥塞避免	91
4.6	案例研究	94
4.7	小结	96
 第二部分 高级的 QoS 概念 		
第 5 章	服务质量模块化命令行界面简介	101
5.1	MQC 的背景、术语和概念	101
5.2	步骤 1: 类映射	102
5.2.1	类映射的配置	102
5.2.2	类映射选项: A Closer Look	104
5.2.3	类的映射配置实例	108
5.3	步骤 2: 策略映射	110
5.3.1	策略映射的配置	110
5.3.2	策略映射选项: A Closer Look	111
5.3.3	策略映射配置实例	112
5.4	步骤 3: 固定服务策略	114
5.5	小结	117
第 6 章	Catalyst 2950 和 3550 系列交换机中可用的 QoS 特性	119
6.1	Catalyst 2950 和 Catalyst 3550 系列交换机 QoS 体系结构概述	120
6.2	输入调度	124
6.3	分类和标记	124
6.3.1	内部 DSCP 和映射表	125

6.3.2	入口端口的 CoS 配置	126
6.3.3	可信任 DSCP	128
6.3.4	可信任 IP 优先级	129
6.3.5	语音 VLAN 和扩展可信任	130
6.3.6	可信任的 Cisco IP 电话设备	130
6.3.7	利用 ACL 对流量分级	131
6.3.8	分类通过选项	132
6.3.9	入口 DSCP 变化	133
6.4	监控	135
6.4.1	监控资源和向导	136
6.4.2	类映射和策略映射	136
6.4.3	入口和出口监控	137
6.4.4	专用监控和集合监控	138
6.4.5	基于端口的监控、基于 VLAN 的监控和基于每个 VLAN 的每个端口的监控	140
6.4.6	监控行为	141
6.5	拥塞管理和避免	146
6.5.1	Catalyst 2950 和 Catalyst 3550 系列交换机的拥塞管理	147
6.5.2	3550 系列交换机的拥塞避免	151
6.5.3	发送队列大小	155
6.6	自动 QoS	156
6.6.1	自动 QoS 分类	157
6.6.2	自动 QoS 拥塞管理	157
6.7	案例研究	159
6.8	小结	164

第 7 章 Catalyst 4000 IOS 和 Catalyst G-L3 系列

	交换机中可用的 QoS 特性	167
7.1	Catalyst 4000 IOS 系列交换机中支持的 QoS	168
7.1.1	Catalyst 4000 IOS 系列交换机 QoS 体系结构概述	169
7.1.2	软件要求	170
7.1.3	全局配置	172
7.1.4	输入调度	172
7.1.5	内部 DSCP	173
7.1.6	分类和标记	173
7.1.7	基于 ACL 的分类	177
7.1.8	监控	180
7.1.9	拥塞管理	188
7.1.10	自动 QoS	195
7.1.11	案例研究	195
7.2	Catalyst 2948G-L3、4908G-L3 和 Catalyst 4000 第 3 层服务模块所支持	

的 QoS	199
7.2.1 Catalyst 2948G-L3、4908G-L3 和 4232-L3 服务模块 QoS 体系 结构概述	200
7.2.2 WS-X4232-L3 服务模块体系结构	200
7.2.3 软件要求	201
7.2.4 全局配置	201
7.2.5 分类	202
7.2.6 输出调度	202
7.2.7 每个端口的流量整形	204
7.2.8 速率限制	205
7.2.9 案例研究	206
7.3 小结	207
第 8 章 Catalyst 6500 系列交换机中的 QoS 支持	211
8.1 Catalyst 6500 体系结构概述	212
8.1.1 软、硬件要求	214
8.1.2 Catalyst 软件识别	216
8.2 交换机中可用的 QoS	217
8.3 输入调度	217
8.3.1 接收队列尾部丢弃门限的配置	221
8.3.2 CoS 到队列的映射和丢弃门限	222
8.3.3 1p1q0t 和 1p1q8t 的输入调度和拥塞避免	224
8.3.4 接收队列大小比例的配置	226
8.4 分类和标记	227
8.4.1 基于端口的 QoS 和基于 VLAN 的 QoS 的比较	227
8.4.2 基于目的 MAC 地址和 VLAN 的分类	228
8.4.3 可信任	229
8.4.4 利用 ACL 和 ACE 的分类和标记	232
8.5 映射	242
8.5.1 CoS 到 DSCP 的映射	243
8.5.2 优先权到 DSCP 的映射	244
8.5.3 DSCP 到 CoS 的映射	246
8.5.4 监控 DSCP 标记的映射	248
8.6 监控	250
8.6.1 微型数据流监控器和集合监控器	250
8.6.2 单速率监控	252
8.6.3 双速率监控	258
8.7 拥塞管理和拥塞避免	262
8.7.1 拥塞管理	263
8.7.2 拥塞避免	269
8.8 自动 QoS	272

8.8.1 全局自动 QoS	272
8.8.2 特殊端口的自动 QoS	274
8.9 小结	277
第 9 章 Catalyst 6500 MSFC 和 FlexWAN 中的 QoS 支持	279
9.1 MSFC 和 FlexWAN 体系结构概述	280
9.2 MSFC 和 FlexWAN 支持的 QoS	282
9.3 分类	283
9.3.1 NBAR 协议发现	284
9.3.2 NBAR 分类	285
9.4 标记	286
9.4.1 基于类的标记	287
9.4.2 利用承诺访问速率进行标记	289
9.4.3 利用基于类的监控器进行标记	291
9.5 监控和整形	292
9.5.1 承诺访问速率	292
9.5.2 基于类的监控器	295
9.5.3 分布式流量整形	298
9.6 拥塞管理和调度	301
9.6.1 分布的加权公平队列	301
9.6.2 分布的基于类的加权公平队列	302
9.6.3 分布的低延迟队列	305
9.7 拥塞避免	307
9.8 小结	311
第 10 章 端对端系统中 QoS 案例研究	313
10.1 本章的基本要求和重要陈述	314
10.2 多平台园区网络设计和拓扑结构	315
10.3 访问层交换机	316
10.3.1 Catalyst 2950G-24	316
10.3.2 Catalyst 4506	319
10.4 分布层	321
10.4.1 Catalyst 3550-12G	321
10.4.2 Catalyst 4507R	324
10.5 核心层	327
10.5.1 Catalyst 6500 混合操作系统	327
10.5.2 Catalyst 6500 混合 MSFC	331
10.5.3 Catalyst 6500 本机 IOS	331
10.6 小结	334

Cisco Catalyst QoS

——园区网中的服务质量

Michael Flannagan, CCIE No.7651

[美] Richard Froom, CCIE No.5102 著

Kevin Turek, CCIE No.7284

尹 敏 张 卫 译

人 民 邮 电 出 版 社