



国际信息工程先进技术译丛



Springer

内容分发网络

Content Delivery Networks

Rajkumar Buyya

(澳)

Mukaddim Pathan

编著

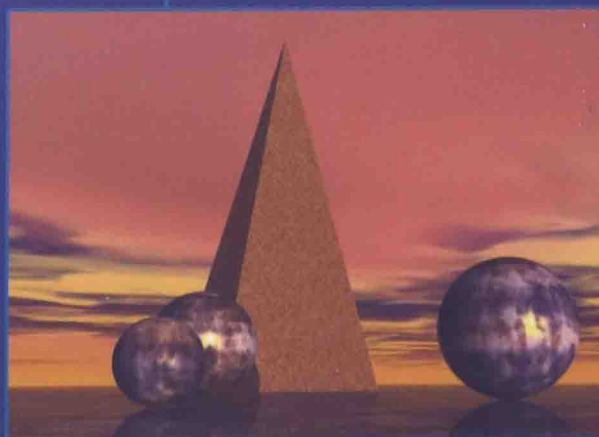
(希)

Athena Vakali

宋伟 韩立伟 杨莉萍 郑睿

译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

内 容 分 发 网 络

(澳) Rajkumar Buyya
Mukaddim Pathan 编著

(希) Athena Vakali
宋伟 韩立伟 杨莉萍 郑睿 译



机械工业出版社

本书介绍了目前内容分发网络 (CDN) 最新的概念、原理、特点、应用、平台、设计思路、建模、仿真、工程方法以及最近的技术发展,可以帮助读者了解 CDN 的基本概念、技术原理及各种模型。

全书共分为 3 个部分。第 1 部分是 CDN 基础,分为 6 章,主要介绍 CDN 的基本思想、技术和现状。第 2 部分是 CDN 建模和性能,分为 4 章。第 3 部分是高级 CDN 平台和应用,分为 6 章。

本书内容详尽、章节顺序安排合理,既包括学术界及业界的研究成果,也不乏实际案例,可以作为系统工程师、相关从业人员、产品开发人员、研究人员以及研究生的参考书籍。

Translation from the English language edition

Content Delivery Networks/By Rajkumar Buyya, Mukaddim Pathan, Athena Vakali (eds.)

ISBN: 978-3-540-77886-8.

© Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2008.

Springer – Verlag is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved.

本书原版由 Springer 公司出版,并授权翻译出版,版权所有,侵权必究。

本书中文简体翻译出版授权机械工业出版社独家出版,并限定在中国大陆地区销售,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Springer 公司的防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记图字 01-2009-3769 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

内容分发网络/(澳)布亚 (Buyya, R.) 等编著;宋伟等译. —北京:机械工业出版社,2012.10

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文: Content Delivery Networks

ISBN 978-7-111-40052-3

I. ①内… II. ①布…②宋… III. ①计算机网络 – 网络结构
IV. ①TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 243034 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张俊红 责任编辑: 朱 林

版式设计: 霍永明 责任校对: 张 薇 闫玥红

封面设计: 马精明 责任印制: 乔 宇

唐山丰电印务有限公司印刷

2014 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 21.75 印张 · 467 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-40052-3

定价: 98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

译者序

随着信息技术的快速发展，互联网已成为人类信息社会的主要基础设施之一，但互联网经过半个多世纪的发展，已经演变成为一个复杂的巨系统。随着用户规模快速增长，资源并发访问显著，使得有限的网络资源与日益增长的用户需求之间的矛盾日益突出。此外，各种新型应用和智能终端的出现，种类繁多的业务形态访问异质异构资源时，服务质量要求差异较大，传统的内容传递方法难以满足要求。再者，网络流量视频化的趋势，需要通过新的网络体系架构解决海量数据的应用问题。这些均使得内容分发面临重大挑战。

内容分发网络（CDN）的思想产生于1998年，该技术通过内容复制和用户就近访问的方式，试图缓解困扰着互联网内容提供商的瓶颈难题。经过多年的实践化探索，CDN技术逐渐受到广泛关注并得到了快速的发展，其提供的分发服务已成为互联网中一项重要的组成部分，也有相关研究表明，通过对CDN的体系结构进行改进，性能进行优化，能够和现有的内容中心网络（CCN）的功能相媲美，即可以从CDN向未来网络进行演进。

同时，国外CDN的发展极为迅猛，已出现了如Akamai、Level3、Limelight等互联网知名大公司，且都有自己先进的产品和服务。国内也出现了蓝汛、世纪互联、网宿等相关企业，但市场占有率和国外大公司相比，还有一定差距。同时，为了更好地提供服务，原有的内容服务提供商，诸如腾讯等，也开始自建CDN。网络服务提供商也都想通过自有CDN占据网络流量的霸主地位。因此CDN竞争日趋激烈。

目前，国内在CDN技术方面的参考书籍较为匮乏，难以满足广大从业人员的需要。且本书包括CDN技术的概念、原理、性能分析、应用以及实验数据，凝聚着大量CDN研究者、开发人员、设计人员和行业人员的智慧和经验，章节脉络清晰、内容翔实，希望通过本书的引入，能够对从事该领域研究和开发的科研和工程技术人员带来帮助。基于此，我们组织了相关人员对本书进行翻译。

本书由中央民族大学的宋伟、中国兵器工业集团的韩立伟、中央民族大学的杨莉萍和郑睿进行翻译。翻译工作的分工如下：宋伟（1~3章，12~13章），韩立伟（4~7章），杨莉萍（8~11章），郑睿（14~16章），宋伟对全书各部分做了校订和修改。在本书的翻译过程中，力求既忠于原文，又适于国内从业人员阅读。由于译者知识水平和认识的局限，难免在内容和术语的翻译上存在不妥之处，真诚地欢迎专家和读者不吝指正，以完善我们的工作。同时感谢傅思遥在本书翻译过程中给予的帮助，并感谢出版社的张俊红、朱林等编辑在本书出版中付出的大量辛勤劳动。

本书的翻译受到“北京市教委共建项目－北京市公共安全信息监测平台关键技术研究”、“江苏省未来网络创新研究院－未来网络前瞻性研究项目”和“中央民族大学一流大学一流学科项目”的部分资助，这里一并表示感谢。

译 者

原 书 前 言

作为一种无处不在的提供内容分享和服务的媒介，Web 网页的出现造就了互联网的快速发展。同时，访问 Web 内容和服务的用户数也呈指数增长，这就对提供内容和应用服务的 Web 系统以及互联网带宽提出了很高的要求，从而造成了许多网站无法满足这种要求，在提供及时的服务方面存在困难。

内容分发网络（CDN）的出现使这些问题得以解决，它以可扩展方式提供网络设施和运行机制，可以更高效地实现内容和服务的分发，增强了用户的网络体验。CDN 已经在许多领域得到了广泛应用，如学术机构、广告媒体和互联网广告公司、数据中心、互联网服务提供商（ISP）、在线音乐零售商、移动电话运营商、消费电子制造商以及其他的运营商等。随着 CDN 概念的扩展、成型和巩固，新形式的互联网内容和服务也随之不断涌现，为内容的分发和管理带来了新的挑战，同时也为 CDN 的构建、设计和实现带来了新的课题。因此，有必要对这个领域的技术发展趋势进行研究，从而为 CDN 的相关研究人员提供正确的研究路线图。

本书名为《内容分发网络》，将 CDN 最新的研究成果呈现给读者，包括概念、原理、特点、应用、平台、设计思路、建模、仿真、工程方法以及近期的技术发展。本书内容囊括了学术界及业界的研发成果，并对世界各地许多不同机构的实际案例进行了研究。同时，本书还为读者指出了未来有潜力的研究方向以及推动进一步创新的技术。作者希望本书能够成为一本有价值的参考书，为系统工程师、相关从业人员、产品开发人员、研究人员以及研究生等在内的广大读者带来帮助。

本书的概述和范围：本书将帮助读者理解 CDN 的基本概念，了解其基本技术，总结有关的概念、观点、原理以及应用于 CDN 领域中的诸多模型。因此，本书对内容的顺序进行了适当的编排，分别从以下几个方面对 CDN 进行了介绍，包括基本概念、设计过程、实践、技术、性能、平台、应用以及实验结果。同时，本书对与 CDN 相关的基本方法、创新性内容、重要研究成果以及进一步研究所用到的参考文献也都有所介绍，并在相应的章节对不同的设计和开发方法给出了比较，使新进入该领域的研究人员和资深研究人员都可以使用该评估结果作为研究的路线图。本书的所有内容都经过了审核、编辑和处理，并进行了适当的编排以保证其连贯性。这样，无论读者对 CDN 的了解和技术水平如何，都可以从本书中获得最大的收获。全书分为 3 部分：第 1 部分是 CDN 基础，第 2 部分是 CDN 建模和性能，第 3 部分是高级 CDN 平台和应用。这种内容安排保证了每个后续章节都是建立在之前章节的基础上，使内容之间实现了平滑的衔接。本书的主要内容如下：

- CDN 基础知识和现状;
- CDN 技术分类;
- 高效、动态和可扩展的内容复制技术;
- 内容分发和管理;
- 利用缓存进行复制的综合应用及其性能;
- 对动态内容请求的重定向;
- 利用经济学原理进行 CDN 建模;
- 定价策略与 CDN 商业模式;
- 资源分配与管理的数学建模;
- CDN 性能;
- CDN 互联方案、架构和方法;
- 流媒体;
- 动态 CDN 和基于 QoS 的自适应内容分发;
- 移动的动态 CDN;
- 应用: 实时与按需视频服务、社区网络的内容分发。

第 1 部分主要介绍 CDN 的基本思想、技术和现状。在第 1 章, Pathan 等人介绍了 CDN 及其起源、发展和现状。该章定义了 CDN 及相关术语, 对 CDN 进行了深入的介绍, 并通过与相关的分布式计算模型比较, 总结了 CDN 的特点, 进而提出了 CDN 领域未来技术的发展方向。目前已有大量文献对 CDN 的不同领域进行了研究, 包括内容分发、复制、缓存以及 Web 服务器放置等。因此, 在第 2 章 Pathan 和 Buyya 提出了一个综合性的 CDN 分类方法, 覆盖了包括应用、特性和实现技术等在内的各个方面。在第 3 章, Chen 着重研究了 CDN 对高效、动态和可扩展复制技术的需求。针对该主题, 作者介绍了在服务质量 (QoS) 和服务器的容量等约束条件下的动态和自组织的副本放置算法。在第 4 章, Cardellini 等人主要研究了使用 CDN 进行内容分发的相关问题, 其中重点介绍了对动态创建的个性化内容的分发。为了对各种缓存策略以及缓存和复制的综合应用进行分析和建模, Stamos 等人在第 5 章中介绍了相关的设计方法, 并分享了实现经验, 内容涉及在 CDN 仿真过程中的各种 Web 缓存问题。在第 6 章中, Ranjan 介绍了 CDN 中的请求重定向技术, 同时也介绍了一种称为 WARD 技术的概念验证性实现, 用来帮助实现动态内容的重定向。

本书的第 2 部分主要介绍 CDN 的经济学与数学建模及其性能。在博弈论的基础上, Christin 等人在第 7 章为参与 CDN 覆盖网的代理提出了一个基于成本的模型, 并分析了在 CDN 中建立连接的激励因素。在第 8 章中, Hosanagar 讨论了内容分发市场的经济分析, 提供了一个从 CDN 服务中捕获内容提供商收益的模型, 并利用该模型讨论了定价策略。针对 CDN 领域中的资源管理和分配问题, Bektaş 和 Ouveysi 在第 9 章中展示了如何利用数学模型进行系统分析。Sitaraman 等人在第 10 章中介绍了 Akamai 的全局覆盖路由及其性能和可用性收益。

本书的第3部分主要介绍高级CDN平台及其极具吸引力的应用。Yoshida在第11章介绍了FCAN,这是一种动态CDN,主要用来缓解瞬时拥塞现象。Fortino等人第12章介绍了一种基于CDN的支持协作播放服务的架构,并介绍了分级协作控制协议(HCOCOP),该协议主要用于在协作播放会话中的流媒体共享控制。在第13章,Czyrnek等人使用iTVP来解决多媒体CDN设计中面临的关键问题,iTVP是一种基于IP的、可以实现在国家级地域尺度上向大量在线用户分发多媒体内容的平台。在第14章,Loulloudes等人介绍了移动CDN的信息发布技术以及相关的挑战和现状。在第15章,Plagemann等人讨论了如何构建基于CDN的社区网络设施。在本书的最后一章,Pathan等人介绍了CDN之间的不同互联模型,并指出了这些模型在实现中面临的挑战。

致谢:本书得以完成,要感谢直接和间接参与其中的许多研究人员、学者、开发人员、设计人员以及业界人士。因此,我们对相关作者、研究机构以及本书所引论文、报告、文章、评论、网站以及学习材料的作者、研究机构和公司表示感谢。此外,本书的多位作者对其研究工作的支持机构和合作研究人员表示感谢,感谢他们对本书作者的研究所起到的重要影响。最后,我们要特别感谢Springer出版公司和出版编辑Christoph Baumann对我们的帮助,使得本书得以顺利出版。

上述的技术资源已在本书的适当位置通过引用表达了我们的致谢。对于本书中可能存在的不足之处,我们非常希望能够得到反馈意见,以便在下次修订时更正。

目 录

译者序

原书前言

第1部分 CDN 基础

第1章 内容分发网络：现状、观点和规律	1
1.1 引言	1
1.2 概览	2
1.2.1 术语解释	2
1.2.2 CDN 组件	3
1.3 背景和相关系统	5
1.3.1 CDN 的发展	5
1.3.2 相关系统	6
1.4 对 CDN 的深入探究	9
1.5 CDN 的发展现状	10
1.5.1 商业 CDN	10
1.5.2 学术 CDN	14
1.6 写给使用者	18
1.7 未来研究方向	19
1.8 结论	20
参考文献	20
第2章 CDN 分类法	24
2.1 引言	24
2.1.1 动机与范围	24
2.1.2 贡献和组织结构	25
2.2 分类法	26
2.2.1 CDN 的构成	26
2.2.2 内容分发和管理	31
2.2.3 请求路由	38

2.2.4 性能测量	44
2.3 分类法到代表性 CDN 的映射	46
2.3.1 基于 CDN 构成的分类	46
2.3.2 基于内容分发和管理的分类	48
2.3.3 基于请求路由的分类	50
2.3.4 基于性能测量的分类	51
2.4 讨论	52
2.5 总结和结论	53
致谢	54
参考文献	54
第3章 动态、可扩展和高效的内容复制技术	59
3.1 引言	59
3.2 前期工作	61
3.2.1 Web 缓存	61
3.2.2 基于拉取的非协作式 CDN	62
3.2.3 基于推送的协作式 CDN	63
3.2.4 对象定位系统	64
3.2.5 分发更新的组播	66
3.2.6 总结	66
3.3 动态副本放置问题	67
3.4 副本放置算法	68
3.4.1 副本放置的目标	68
3.4.2 动态放置	68
3.4.3 软状态树管理	72
3.5 评估方法	72
3.5.1 评价指标	72
3.5.2 网络设置	73
3.5.3 工作负载	73
3.6 评估结果	74
3.6.1 人工工作负载的结果	74
3.6.2 Web 跟踪的工作负载情况	77
3.6.3 讨论	78
3.7 结论	79
致谢	79
参考文献	79

第 4 章 内容分发和管理 82

4.1 引言 82

4.2 Web 内容分发系统 83

4.2.1 Web 系统的逻辑层 83

4.2.2 一个简化的 CDN 架构 85

4.2.3 内容的创建和分发的加速 86

4.3 前端层的复制 87

4.4 应用层的复制 89

4.5 后端层的复制 91

4.5.1 内容未知的缓存 91

4.5.2 内容已知的缓存 92

4.5.3 数据库整体复制 93

4.6 用户配置层的复制 94

4.7 结论和尚待解决的问题 96

参考文献 97

第 5 章 CDN 模拟框架的缓存技术 100

5.1 引言 100

5.2 Web 内容分发 101

5.2.1 代理服务器 101

5.2.2 内容分发网 102

5.3 CDN 中新兴的 Web 数据缓存技术 103

5.3.1 CDN 缓存 103

5.3.2 动态内容的缓存 106

5.3.3 缓存的一致性机制 107

5.4 CDNsim 的缓存技术 109

5.4.1 CDN 模拟环境的需要 109

5.4.2 CDNsim 的缓存框架的要求 109

5.4.3 CDNsim 的缓存架构 110

5.4.4 实现的问题 112

5.4.5 实验结果 114

5.5 写给使用者 117

5.6 未来研究方向 118

5.7 结论 119

参考文献 119

第 6 章 动态内容的请求重定向 122

6.1 引言 122

6.2 相关工作	125
6.3 背景	126
6.3.1 集群的架构	126
6.3.2 排队论	126
6.4 重定向架构和算法	127
6.4.1 WARD	128
6.4.2 重定向算法	129
6.5 性能模型	129
6.6 数值结果	130
6.6.1 广域重定向下的结果	131
6.6.2 对测量误差的敏感度	132
6.7 测试平台的实现及实验	134
6.7.1 数据库分派器	134
6.7.2 重定向算法	135
6.7.3 TPC-W 工作负载	135
6.7.4 实验	135
6.8 写给使用者	139
6.9 未来研究方向	139
6.10 结论	140
附录	140
致谢	141
参考文献	141

第 2 部分 CDN 建模与性能

第 7 章 CDN 的经济学设计	143
7.1 引言	143
7.2 背景和相关工作	145
7.2.1 博弈论背景	145
7.2.2 博弈论在网络问题上的应用	147
7.3 CDN 的代价和效益建模	148
7.4 社会最优和纳什均衡	150
7.4.1 全网状网	151
7.4.2 星形网络	152
7.4.3 纳什均衡	153
7.4.4 解释	154
7.5 现有结构的分析	154
7.5.1 de Bruijn 图	155

7.5.2	D 维 Torus 网	156
7.5.3	PRR 树	157
7.5.4	Chord 环	158
7.5.5	讨论	158
7.6	定量评估	158
7.7	写给使用者	162
7.8	未来研究方向	163
7.9	结论	164
	致谢	164
	参考文献	164
第 8 章	CDN 的定价	167
8.1	引言	167
8.2	业界常用的定价模型	168
8.2.1	基于总量的定价	168
8.2.2	基于百分位数的定价	168
8.3	背景和相关工作	168
8.3.1	网络中的拥塞定价	168
8.3.2	内容分发的经济性	169
8.4	CDN 价格模型	170
8.4.1	内容提供商采用自给方式	170
8.4.2	内容提供商通过 CDN 进行分发	171
8.4.3	CDN 的收益函数	171
8.4.4	泊松分布和突发流量时的最优定价	172
8.5	写给使用者	176
8.6	未来研究方向	177
8.7	结论	177
	致谢	178
	参考文献	178
第 9 章	CDN 资源管理与分配的数学模型	179
9.1	引言	179
9.2	相关工作	179
9.2.1	基本问题	180
9.2.2	综合问题	181
9.3	求解算法	185
9.3.1	Benders 分解	185
9.3.2	拉格朗日松弛和分解	187
9.3.3	启发式算法	189

9.4 其他 CDN 架构使用的新模型	190
9.4.1 从多服务器获取对象	191
9.4.2 CDN 的生存力设计	193
9.5 性能结果	194
9.6 写给使用者	195
9.7 未来研究方向	196
9.8 结论	196
致谢	197
附录	197
参考文献	197
第 10 章 全球覆盖路由的性能和可用性效益	199
10.1 引言	199
10.1.1 CDN 架构回顾	199
10.1.2 传输系统	201
10.1.3 本章的贡献	203
10.1.4 内容安排	204
10.2 相关工作	204
10.3 实验环境的配置	205
10.3.1 测量平台	205
10.3.2 性能和可用性数据的收集	205
10.3.3 评估	206
10.4 覆盖路由对性能的改善	206
10.5 覆盖路由对可用性的提高	209
10.6 在实际设计中获得提升	211
10.6.1 最优路径的稳定性	212
10.6.2 预测覆盖路由的性能提升	213
10.6.3 稳定性	214
10.7 未来研究方向	215
10.8 写给使用者	215
致谢	216
参考文献	216
第 3 部分 先进 CDN 平台与应用	
第 11 章 缓解瞬时拥塞的动态 CDN	218
11.1 引言	218
11.2 背景和相关工作	220
11.2.1 瞬时拥塞	220
11.2.2 可行方案	222

11.3	FCAN: 瞬时拥塞缓解网络	225
11.3.1	需求	226
11.3.2	设计总览	226
11.3.3	瞬时拥塞检测	227
11.3.4	网络转换	228
11.3.5	动态重组	228
11.3.6	基于 DNS 的重定向	230
11.3.7	基于仿真的性能评估	230
11.3.8	结论	232
11.4	写给使用者	233
11.5	未来研究方向	234
11.6	总结	235
	参考文献	235
第 12 章	基于 CDN 的协作流媒体服务	238
12.1	引言	238
12.2	背景知识和相关工作	238
12.3	COMODIN 系统概览	241
12.4	HCOCOP	243
12.5	HCOCOP 的仿真分析	246
12.5.1	性能指标	246
12.5.2	仿真参数	247
12.5.3	HCOCOP 的运行模式	248
12.5.4	性能评估	248
12.6	写给使用者	252
12.7	未来研究方向	253
12.8	结论	253
	参考文献	254
第 13 章	通过 IP 进行直播和点播视频服务的 CDN	255
13.1	引言	255
13.2	背景和相关研究工作	256
13.2.1	多媒体特性影响	256
13.2.2	多媒体分发和访问模式影响	257
13.3	iTVP 平台	258
13.4	iTVP CDN 架构	260
13.4.1	两层的分级式设计	260
13.4.2	CDN 节点放置	261
13.4.3	网络层配置	262

13.5 内容的分配和分发	263
13.5.1 内容分配模式	263
13.5.2 内容传输模式	264
13.5.3 瞬时拥塞处理	265
13.6 用户请求路由	265
13.6.1 节点选择标准	266
13.6.2 请求重定向机制	267
13.7 iTVP CDN 性能评估	267
13.7.1 iTVP CDN 配置	267
13.7.2 内容库特性	268
13.7.3 CDN 负载	269
13.7.4 内容分配性能	270
13.7.5 用户感受到的服务质量	272
13.8 未来研究方向	273
13.9 写给使用者	274
13.10 总结	274
参考文献	275
第 14 章 移动 CDN 中的信息分发	277
14.1 引言	277
14.2 动机	278
14.3 移动 CDN	280
14.4 移动 CDN 的无线网络设施	282
14.4.1 在集中式无线网络设施下的移动 CDN	282
14.4.2 在 Ad-Hoc 无线网络设施下的移动 CDN	283
14.5 写给使用者	286
14.6 实施和实验	287
14.7 未来研究方向	289
14.7.1 内容放置技术	289
14.7.2 动态内容的分发	290
14.7.3 移动流媒体的分发	290
14.8 结论	292
参考文献	292
第 15 章 社区网络的基础设施	296
15.1 引言	296
15.2 背景和相关工作	297
15.2.1 架构性框架	298
15.2.2 社区网络	299

15.2.3 分发设施	300
15.2.4 内容服务网络	301
15.3 写给使用者	303
15.3.1 社区网络	303
15.3.2 分发设施	304
15.3.3 内容服务网络	305
15.4 未来研究方向	305
15.4.1 社区网络	305
15.4.2 分发设施	306
15.4.3 内容服务网络	307
15.4.4 跨层问题	308
15.5 CONTENT 方法	308
15.6 结论	309
致谢	310
参考文献	310
第 16 章 内容分发网络的互联	313
16.1 引言	313
16.2 CDN 网络互联的重要性	314
16.3 相关工作	316
16.4 CDN 网络互联/对等的架构	318
16.5 CDN 对等的新模型	323
16.5.1 已有的 CDN 模型	324
16.5.2 基于中介的对等 CDN	325
16.5.3 由 QoS 驱动（定制）的基于中介的对等 CDN	325
16.6 实现 CDN 对等时面临的挑战	327
16.7 对等 CDN 的技术问题	328
16.8 结论	330
致谢	330
参考文献	331