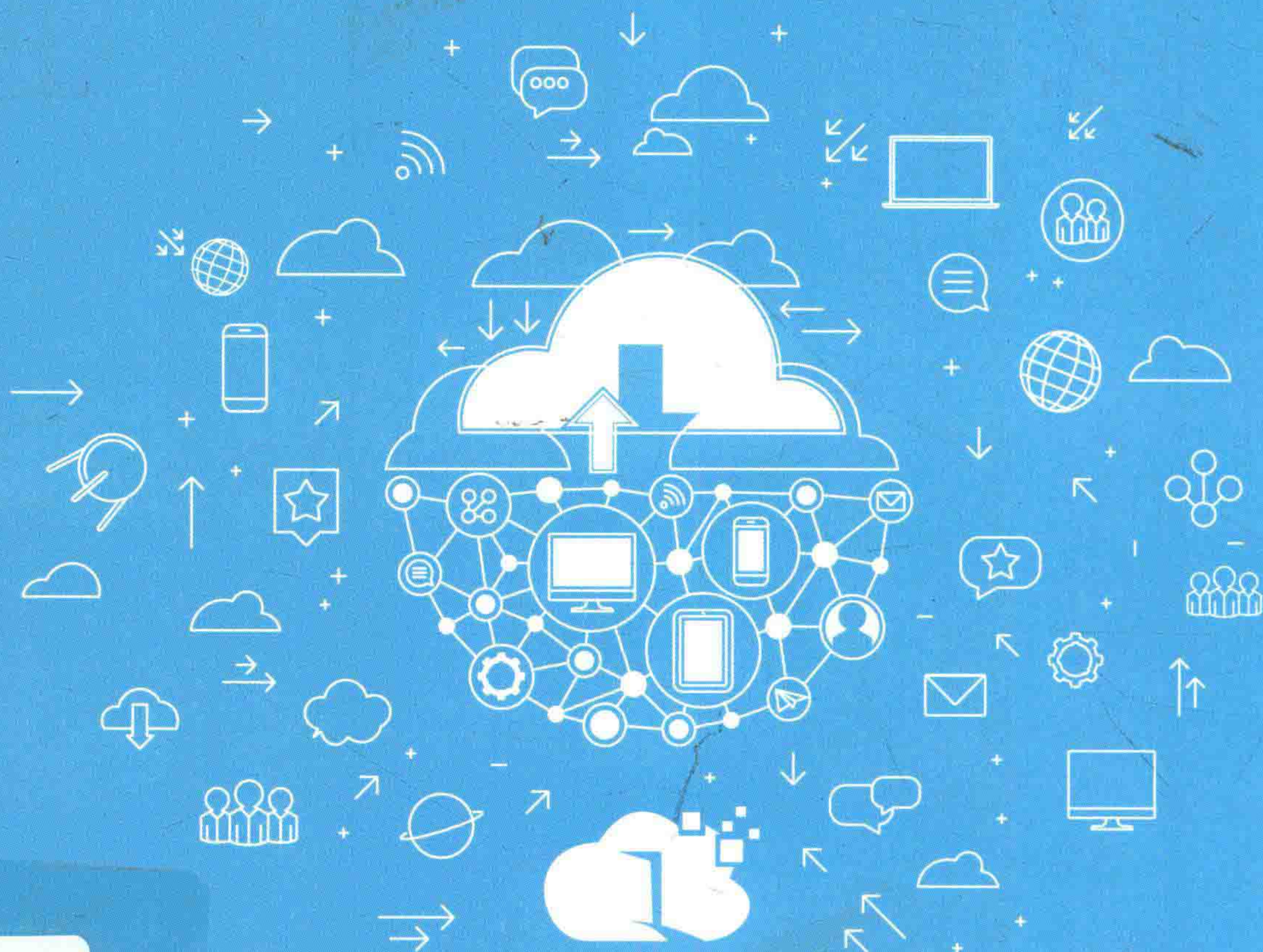


序
作
力
荐

NETWORK CLOUD

黃俊 段強 著



電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

“网络—云”一体化服务质量保障

黄俊 段强 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

在网络服务与云服务融合的背景下,“网络—云”一体化服务质量保障机制受到了业界的广泛关注。本书以网络服务和云服务的一体化融合为基础,提出了一体化环境下的服务质量保障系统框架,建立了通用服务交付模型,设计实现了一体化环境下的服务区分、调度机制、组合方法,构建了一体化环境下的服务测评体系,从而为用户提供满意的服务,实现端到端的服务质量保障。本书旨在为全面实现一体化环境下的服务质量保障提供理论依据,推动云计算产业化进程,为未来一体化环境下的服务质量保障研究奠定基础。

本书深入浅出、内容翔实,主要面向计算机和通信等 IT 行业的研究人员或工程技术人员,也适合作为各大院校相关课程的教材和辅助读物。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

“网络—云”一体化服务质量保障/黄俊,段强著. —北京:电子工业出版社,2018.4

ISBN 978-7-121-33788-8

I. ①网… II. ①黄… ②段… III. ①云计算—研究 IV. ①TP393.027

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 039910 号

策划编辑:米俊萍

责任编辑:徐蔷薇

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:584 千字

版 次:2018 年 4 月第 1 版

印 次:2018 年 4 月第 1 次印刷

定 价:68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: mjjp@phei.com.cn。

序

Dr. Jun Huang's book on *Cloud Computing and Services* introduces the concept of Quality of Service (QoS) specification and management for Cloud services. Dr. Huang explains the importance of this topic and why the widely used basic Web service composition is not adequate in Cloud computing. In the book, Dr. Huang also provides an overview of research infrastructures that offer some forms of QoS management for Cloud services with the achieved results. I do believe that this book can help researchers and graduate students to explore open topics for future research.

Patrick C. K. Hung, Professor
Faculty of Business and Information Technology
University of Ontario Institute of Technology, Canada

序 二

云计算是在分布式计算、网络计算和虚拟化等技术基础上发展起来的一种基于互联网的计算服务模式，是近年来计算机革命中一次重要的突破。无论是公有云、私有云或混合云，还是 IaaS、PaaS、SaaS 或者近年来盛行的容器平台，越来越多的企业和个人已经在使用云上提供的各类丰富服务，云计算的常态化在全世界已成为不可逆转的趋势。如果云计算在整体 IT 战略中运用得当，它可以通过利用规模经济和自动化 IT 运营帮助中小企业和政府降低成本，优化内部计算基础设施，通过建立一个动态的计算体系，企业的动能从固定的基础设施上释放出来，为各种计算领域的自动化提供了巨大机会。

但是抛开商业交付模式上的转变，单从技术角度来说，产品和应用的“网络—云”一体化一直是很有挑战的难题。随着用户对服务种类、服务质量的需求越来越多样化，任务调度问题变得十分复杂。传统的网络技术已经不能处理网络云中的资源弹性伸缩、在线扩容、配置的动态更新、不同服务间的实时发现及感知等需求。大家开始寻求优秀的云端任务调度技术，以有效地分配资源，提高服务的接纳和调度性能，保证服务质量。

在过去几年中，我有机会与本书的作者——黄俊博士合作。作为 IEEE 的资深成员，黄博士对 QoS 路由进行了深入的研究，在这一领域取得了重大的成果，获得 ACM SIGAPP 的 Research in Adaptive and Convergent Systems (RACS 2017) 颁发的杰出服务奖 (Outstanding Service Reward)。他提出的解决多约束最优路径 (MCOP) 问题的近似算法，是目前解决 MCOP 问题的最快算法之一。他的研究成果广泛应用于各种网络和计算技术中，特别是增强端到端服务性能的算法，其被用来解决 QoS 感知服务组合问题，有望实现网络融合，从根本上改变云服务供应在未来互联网的服务模式。

本书着重介绍了现有的和未来的软件系统和体系结构，深入探讨了其如何与现有的网络融合，针对基于云计算的服务、资源分配的动态性，提供了云计算环境中 QoS 管理和选择方法的详细分类和研究。在不同的云基础设施软件框架上，给出了云服务接纳控制、关联组合模型，并展示了在一体化环境下的性能测评方法及结合多路径网络模型的性能评估。最后研究了当下网络生态系统中不同服务供应商的竞争博弈。

无需讳言，随着云计算服务动态性的不断升级，如何提供稳定、可靠、高效的服务，保证云资源利用率，是提高云服务商市场竞争力和持续发展的关键。本书的面世将帮助读者优化方法和思路，创建出更好的服务应用架构。

郭嵩

香港理工大学电子与计算学系教授

序 三

人类对信息的处理可以说经过了三个重要的阶段，首先是 1946 年计算机的发明，然后是 1969 年网际网络的建立，接下来就是现在云计算服务的风行。目前各大学信息专业都需要开设云计算与服务的课程，但是始终缺乏一本深入浅出，同时包含理论、实践与应用的中文教科书。让想开课的老师或想自己进修的同学或社会人士都很困扰，不知道去哪里找一本很好的中文书。

由重庆邮电大学黄俊教授等人编写的《“网络—云”一体化服务质量保障》一书，将黄教授本身对于网络领域的专业知识与云计算的最新发展趋势，针对云服务和网络服务的一体化融合，用深入浅出的方式呈现在这一本书上，不仅刚好可以弥补这个需求，而且更是华人掌握了云计算与网络关键技术的一大指标。

本书用浅显的语言和例子，简洁明了地介绍了云服务与网络服务一体化融合的各种概念和知识，包括服务质量保证与 QoS 感知的服务组合。对于网络模型与评测方法有需要的师生，本书也包含了调度机制、组合方法、构建一体化环境的服务测评体系等重要内容。

对于一位研究型大学的老师而言，写一本中文教科书是一件吃力不讨好的工作。很佩服黄教授能完成这份不简单的工作，造福所有想要教授云计算与服务的老师和所有想要了解云这个新兴领域的各界人士。

总之，很高兴见到本书的问世和作者本身对推广云计算的热情。云计算服务是一个新兴且非常重要的领域。黄教授的这本《“网络—云”一体化服务质量保障》，内容完整，说明清楚，将云计算的专业知识生活化、口语化，是一本很实用的教科书。不管你是不是信息领域的老师或学生，甚至是计算机领域的门外汉，都可以从这本书学到云计算与服务的精髓。

云计算是一个不可挡的趋势，这本书对其提供了很好的参考价值，因而在此极力推荐，谢谢大家。

许庆贤

台湾中华大学信息工程学系特聘教授

前 言



传统的云计算中心和网络基础设施之间彼此独立，缺乏云资源和网络资源的统一管理与优化方法，导致资源利用率很难提高。随着云计算业务量的激增，网络负担越来越重，这严重地制约了云计算产业的进一步发展。“网络—云”一体化融合势在必行。另外，传统网络的服务质量（Quality of Service, QoS）保障策略已不再适用于“网络—云”一体化环境，具有QoS保障能力的一体化融合系统是促进云计算进一步发展的关键。然而，现有云计算体系并未将网络服务纳入考虑范畴，缺乏对“网络—云”一体化融合的充分认识，因此，业界迫切需要“网络—云”一体化服务质量保障来支撑云计算产业的发展。

本书是两位作者多年科研和教学成果的总结。本书以网络服务和云服务为对象，以QoS保障为主线，系统地回答了如何综合提高云计算环境下服务请求的接纳与调度过程的公平性、服务组合方法的有效性和网络服务性能的可靠性等问题。具体地讲，第1章介绍了云计算的基本概念、云服务与网络服务的关系及“网络—云”一体化的融合；第2章简要地列举了本书中的几种“网络—云”一体化环境下的服务质量保障机制；第3、4章将电信网络中的接纳控制思想引入一体化环境中，详细地介绍了接纳控制方法和相关的模型，并提出了基于接纳控制模型的算法，最终实现了资源分配的优化；第5、6章引入服务组合的概念，分别介绍了一体化环境下基于QoS感知的服务组合方法和基于QoS关联的组合服务方法；第7章基于云服务质量和网络服务质量之间的关系，系统地描述了一体化环境下的性能测评方法；第8章在第7章的基础上，介绍了一体化环境下多路径网络模型及其性能评价方法；第9、10章详细地阐述了一体化环境下服务提供商的竞争博弈关系，针对云计算市场中服务提供商之间的竞争行为展开研究。在国内对云计算日渐重视的背景下，本书有望在一定程度上推动云计算产业化进程，促进一体化环境下的QoS保障基础理论研究。

本书研究的主要内容受到了国家自然科学基金项目（项目编号：61309031）的支持。本书在编写过程中得到了周易德、向豪、邹静云、廖勇和黄超等同学的帮助，刘国权、方芳、李世豪、吕娟和何云龙等同学为本书的编写提供了丰富的素材，雷成丽女士对本书的校对倾注了大量的心血。此外，本书的出版离不开重庆邮电大学计算机学院、科技处及电子工业出版社的大力支持，在此一并表示感谢！

由于作者水平所限，书中难免有不足之处，还望读者们海涵。

目 录

第 1 章 云服务与网络服务的一体化融合	1
1.1 云计算概述	1
1.1.1 什么是云计算	3
1.1.2 云计算的关键技术	8
1.1.3 云计算系统架构	11
1.1.4 移动云计算与移动边缘计算	13
1.2 云服务与网络服务的关系	22
1.2.1 网络服务在云计算中的角色	23
1.2.2 云计算服务质量与网络服务质量的关系	26
1.3 云服务与网络服务的一体化融合	30
1.3.1 云服务与网络服务融合的机遇与挑战	31
1.3.2 面向服务的网络虚拟化	32
1.3.3 面向服务架构的 Web 实现	36
1.3.4 网络即服务	38
1.3.5 “网络—云”一体化服务的特点	42
1.4 本书组织结构	43
1.5 本章小结	44
参考文献	44
第 2 章 “网络—云”一体化服务环境下的服务质量保障	49
2.1 接纳控制	49
2.1.1 接纳控制与服务质量保障	50
2.1.2 接纳控制模型	51
2.1.3 接纳控制实现	52
2.2 服务组合	53
2.2.1 服务组合模型	54

2.2.2	服务组合方法	54
2.2.3	基于 QoS 关联的服务组合	55
2.3	性能分析	56
2.3.1	关键参数和方法	57
2.3.2	多路径传输网络性能分析	59
2.4	服务提供商的竞争与博弈关系	59
2.4.1	博弈关系与模型	60
2.4.2	博弈均衡	61
2.5	本章小结	61
	参考文献	62
第 3 章	“网络—云”一体化环境下的服务接纳控制技术	64
3.1	网络接纳控制技术	64
3.1.1	问题描述	65
3.1.2	什么是接纳控制技术	65
3.1.3	设计接纳控制需要考虑的因素	66
3.2	接纳控制技术分类	67
3.2.1	接纳控制技术发展历程	67
3.2.2	应用在不同网络和系统中的接纳控制技术	76
3.3	云计算中的接纳控制技术	87
3.3.1	网络演算理论	87
3.3.2	云计算下接纳控制技术的实现目标	96
3.3.3	云计算下接纳控制技术需考虑的因素	97
3.3.4	云计算下接纳控制技术的 QoS 保障问题	98
3.3.5	云计算中 IaaS 层的 QoS 保障机制	98
3.3.6	云计算中 PaaS/SaaS 层的 QoS 保障机制	99
3.4	云计算环境下的接纳控制模型	100
3.4.1	网络与流	100
3.4.2	网络流特征和行为模式	101
3.4.3	聚合流	103
3.4.4	基于聚合流的接纳控制模型	103
3.5	聚合流的特征描述模型	104
3.5.1	聚合流的有效带宽模型	105

3.5.2 聚合流的等效容量模型	108
3.6 有效带宽与等效容量的关系模型	110
3.6.1 有效带宽与等效容量的关系	110
3.6.2 聚合流的有效带宽与等效容量的关系	112
3.7 本章小结	113
参考文献	113
第 4 章 “网络—云” 一体化环境下的服务接纳控制方法	123
4.1 基于聚合流的有效带宽接纳控制算法	123
4.1.1 接纳控制策略	123
4.1.2 算法描述	124
4.1.3 接受域	126
4.2 算法性能分析	127
4.2.1 聚合流的特征分析	128
4.2.2 有效带宽与等效容量的关系分析	129
4.3 接纳性能分析	131
4.3.1 基于聚合流的接纳控制算法的接纳性能	131
4.3.2 接纳控制算法的接纳能力比较	132
4.4 基于接纳控制的资源分配算法	134
4.4.1 带宽资源的分配	135
4.4.2 缓冲区大小分配	136
4.5 本章小结	137
参考文献	138
第 5 章 “网络—云” 一体化环境下基于 QoS 感知的服务组合	139
5.1 QoS 感知服务组合概述	139
5.1.1 QoS 感知服务组合定义	140
5.1.2 QoS 感知服务组合算法分类	141
5.1.3 一体化环境下 QoS 感知的服务组合	158
5.2 服务组合结构转换与参数约简	162
5.2.1 顺序结构	162
5.2.2 并行结构	163
5.2.3 分裂结构	164
5.2.4 选择结构	165

5.2.5	循环结构	165
5.3	一体化环境下 QoS 感知的服务组合算法	167
5.3.1	算法设计	167
5.3.2	算法描述	167
5.3.3	算法分析	170
5.4	一体化环境下 QoS 感知的服务组合算法测试	171
5.4.1	算法测试环境	171
5.4.2	测评指标设计	172
5.4.3	测试结果	172
5.5	本章小结	179
	参考文献	180
第 6 章	“网络—云”一体化环境下基于 QoS 关联的服务组合	184
6.1	基于 QoS 关联的服务组合	184
6.1.1	QoS 关联性的定义	186
6.1.2	关联性准则	187
6.1.3	关联性比例	189
6.2	QoS 关联的服务组合算法	191
6.2.1	Skyline 相关概念	191
6.2.2	全遍历算法	193
6.2.3	双渐进算法	193
6.2.4	自下而上算法	195
6.3	支持 QoS 关联的组合服务 Skyline 计算	195
6.4	QoS 关联的服务组合近似算法	200
6.4.1	算法思路	200
6.4.2	算法描述	201
6.4.3	算法分析	204
6.5	算法测试	205
6.5.1	算法测试环境	205
6.5.2	测评指标	205
6.5.3	测试结果	206
6.6	本章小结	213
	参考文献	214

第 7 章 “网络—云”一体化环境下的性能评测方法	216
7.1 性能分析概述	216
7.2 云计算与网络性能分析	218
7.2.1 云计算模式下的网络	218
7.2.2 云服务质量与网络服务质量	218
7.3 一体化环境下系统性能评测	250
7.3.1 一体化服务交付系统	251
7.3.2 一体化性能评测理论	251
7.4 性能评测结果	255
7.4.1 服务能力描述	255
7.4.2 负载描述	257
7.4.3 性能上界	258
7.5 实验结果与讨论	259
7.5.1 参数设置	259
7.5.2 结果与分析	259
7.6 本章小结	263
参考文献	263
第 8 章 “网络—云”一体化环境下多路径网络模型和性能评测	266
8.1 多路径网络服务模型描述	266
8.2 模型设计思路与描述	268
8.2.1 设计思路	268
8.2.2 模型描述	269
8.3 性能评测	270
8.3.1 时延上界	270
8.3.2 数据积压上界	274
8.4 实验结果与分析	276
8.4.1 实验设计与参数设置	276
8.4.2 结果与分析	277
8.5 一体化服务质量保障应用方案	282
8.5.1 方案描述	282
8.5.2 案例分析	284

8.6	本章小结	285
	参考文献	285
第 9 章	“网络—云”一体化环境下服务提供商的竞争博弈	286
9.1	服务提供商之间的竞争博弈	286
9.1.1	云服务提供商的合作与竞争博弈	287
9.1.2	“网络—云”一体化环境下云服务提供商竞争国内外发展及研究现状	288
9.2	系统概览	289
9.2.1	相关数学背景	290
9.2.2	用户体验质量	306
9.2.3	系统模型设计	310
9.3	完全信息下的竞争博弈	316
9.3.1	纳什均衡的存在性与唯一性	316
9.3.2	求解模型纳什均衡	318
9.4	性能测试与分析	321
9.4.1	模型参数相关性	321
9.4.2	均衡分析	324
9.4.3	唯一性探讨	326
9.5	本章小结	328
	参考文献	329
第 10 章	“网络—云”一体化环境下服务提供商的不完全信息竞争博弈	331
10.1	不完全信息假设与模型设计	331
10.2	不完全信息下的竞争博弈分析	334
10.2.1	贝叶斯均衡	334
10.2.2	贝叶斯纳什均衡求解	335
10.2.3	收敛性讨论	336
10.3	性能测试与评估	338
10.3.1	参数设置	338
10.3.2	均衡与收益评估	338
10.3.3	唯一性探讨	341
10.4	本章小结	343
	参考文献	343

第 1 章

云服务与网络服务的一体化融合

计算机计算结构从单机计算、联机计算、分布式处理、并行处理、网络计算逐步地向前发展演变。IT 技术的进步总是由两股力量形成的合力不断推进。这两股力量分别是对信息计算能力的需求及对更低计算成本的追求，在信息技术不断发展过程中，这两股力量同时发挥作用，不断地刺激着 IT 行业快速向前发展。起初，计算机的产生就是由于人们对快速计算能力有强烈需求，也就是想获得能在短时间内加工数据得出结果的计算能力。此时的计算机只是单纯地完成特定的计算任务，如导弹弹道计算和核爆炸模拟，人们使用终端提交计算任务，由中心计算机计算完成后把结果返回给终端，计算机完成的工作只相当于现在单片 CPU 的工作，即仅完成计算。

随着大规模集成电路不断发展，作为计算核心部件的集成电路的成本也随之不断地下降。最终在 1969 年，第一部个人电脑（Personal Computer，PC）问世，计算机开始走向平民化、大众化，以满足人们对信息技术的需求。到 IT 技术第三次大变革，也就是互联网产生的时候，人们对信息获取的需求变得日益旺盛。人们希望用更快的速度来传递信息，交换信息，此时仅靠个人电脑的信息加工能力已经无法满足人们对信息处理的要求，需要通过合作交流来满足获取信息的要求。随着通信成本的进一步降低，以及通信覆盖面和通信速度的进一步提升，人们希望通过通信技术直接获得不依赖于任何本地硬件资源的信息。软件即服务（SaaS）在这种背景下应运而生。它通过通信技术将原本需要在本地执行的计算任务交给远程服务器处理，使得终端用户能突破自身硬件的限制，而云计算作为这个理念的实现技术一定会蓬勃发展，激发一次新的技术革新。

1.1 云计算概述

随着电子商务和社交网络等新兴互联网产品的广泛应用与部署，互联网相关业务的种类与数量及业务产生的数据总量飞速增长。根据市场预测公司 IDC 副总裁 Vernon Tumerd 的预测，随着物联网的高速发展全球电子数据总量在 7 年里将激增近 10 倍，从 2013 年的 4.4ZB 增长

到 2020 年的 44ZB，并可能在 2025 年达到惊人的 180ZB。巨大的数据量给数据存储带来了前所未有的挑战。传统企业在硬件设备与软件产品上的购买成本和维护成本较高。据统计，支撑企业营收的系统更新与业务开发等占企业成本预算的 20%，而预算的 80% 用于设备采购与更新及系统运维与安全防范等。对大多数企业而言，能产生商业营收的企业业务最为重要，而硬件设备与系统维护并非企业真正的需求，相反它们给企业运营带来额外开销。因此，为了节省设备的采购成本及降低系统的运维成本，需要一种新型的系统管理与业务开发模式来解决这个问题。

家家户户都需要用电，并非每个家庭都必须自备一台发电机。电力通常由专门的电力公司集中提供。同样，不必每个家庭都要挖一口深井才能获得水源，实际上，生活用水通常由自来水厂集中供给。这种集中的服务模式节约资源、效率高，有利于方便人们的生活。基于这种想法和市场需求，云计算应运而生，它将计算资源作为一种可以流通的商品，人们可以随时随地按需索取、按量付费。如图 1.1 (a) 所示，最初的计算模式是将所有的应用程序和数据都集中交给大型处理机来处理，通常称这些电脑主机为服务器。若是用户想运行特定的程序或者访问特定的数据，则必须在执行业务之前连接到主机上以获得相应的权限。最原始的单个处理机模式虽然结构简单、容易管控，但是其处理能力非常有限，并且对于顾客的请求需要等待时间，效率较低。随着网络技术的不断发展，如图 1.1 (b) 所示，计算模式发展成为基于网络的分布式任务处理。这种处理模式的灵活性和适用性较高，但是在低负载的情况下，会出现资源浪费和闲置，从而导致终端用户的运维成本过高。技术的革新使计算模式发展成如今的按需处理的云计算模式，如图 1.1 (c) 所示，用户不用知道“云”的内部细节，只须按着自己的需求付费使用云计算即可。

在 20 世纪 60 年代，J. McCarthy 提出“计算迟早有一天会变成一种公用基础设施”^[1]，这意味着云计算资源将作为商品出售给终端用户，就像日常生活中的煤气、水、电一样，取用便捷，价格便宜。人们可以通过互联网随时随地享用虚拟资源池来处理存储和大规模计算问题。

云计算的诞生和发展并非偶然。互联网技术的发展与商业模式的创新，给各行业的发展和变革带来新的机遇。云计算紧密结合传统计算机技术与新型商业模式，并在此基础上发展而来^[2]，它是商业发展与技术进步的必然产物。云计算的出现，也势必会引导技术和产业的发展方向，将人类社会带入云计算的崭新时代。

自 2006 年 Google 在搜索引擎大会上率先提出“云计算”概念伊始，全球各大政府和企业纷纷投入巨资进行云计算技术研发并积极推进云计算的商业化。经过十多年的技术发展和商业应用，云计算技术日趋成熟，以亚马逊、阿里巴巴、IBM、微软等为首的世界云计算巨头已在全球各地建设数百个云计算数据中心，并获得巨大的商业利润。亚马逊财报显示，2016 年度 AWS 业务全年营收达 122 亿美元，其中运营利润为 31 亿美元，大大超出亚马逊预期。阿里巴巴财报显示，阿里云在 2017 年第三季度营收 17.6 亿元，同比增长 115%，保持连续 7 个季度的三位数增长趋势。摩根士丹利预测，Google 云计算业务到 2020 年将翻两番，其规模将达 90 亿美元。我国政府也积极推进云计算技术发展，促进云计算商业化应用，并取得了巨大成功。《2016 年度中国云服务及云存储市场分析报告》显示，2016 年中国云计算市场规模达 517 亿元，并预计 2017 年中国云计算市场份额将达 690 亿元。显然，各国政府和企业已经注意到云计算潜在的商业价值，积极创新发展新型商业模式，推进云计算技术研究和商业化应用，并从中获取巨大的商业利润。

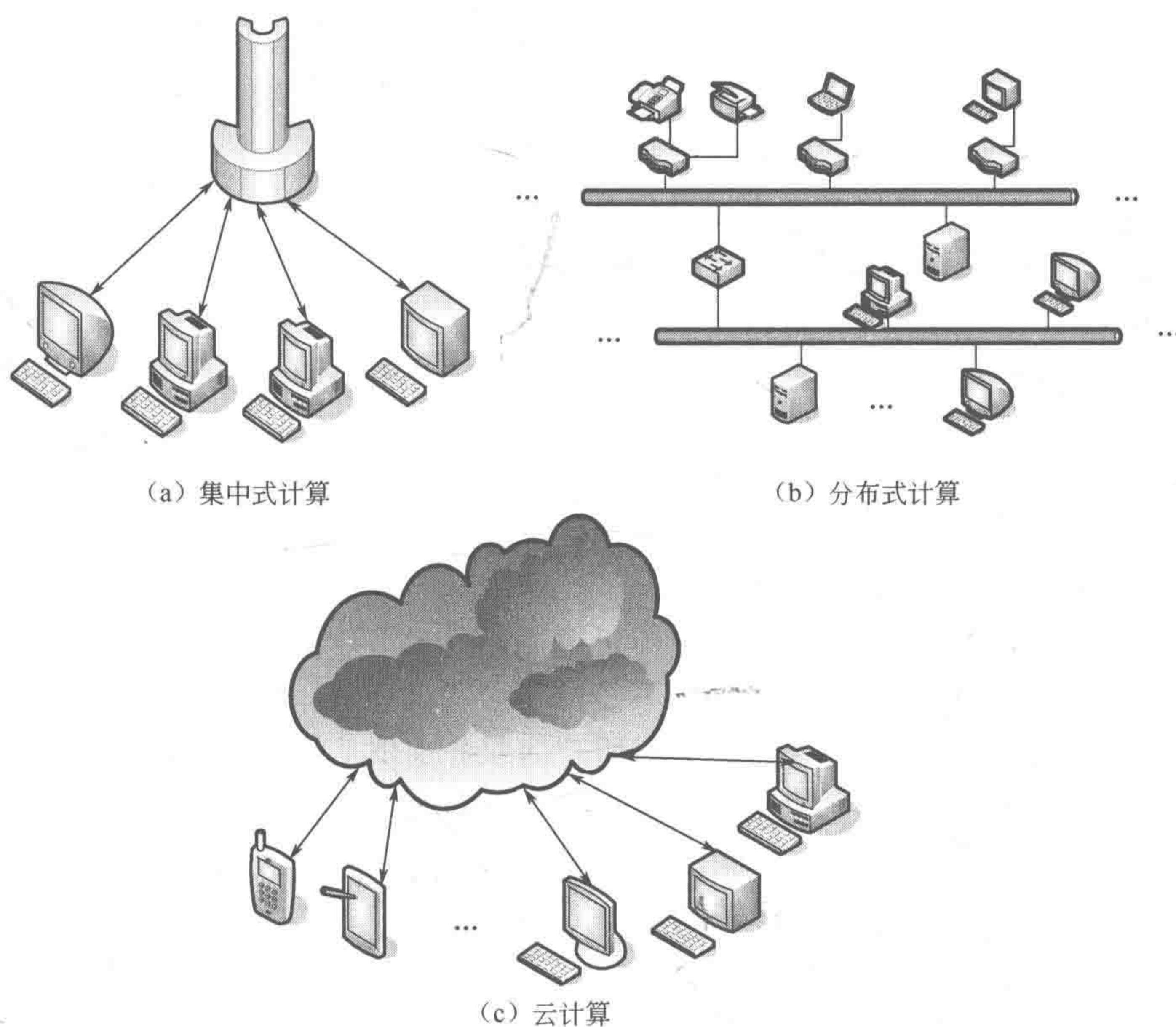


图 1.1 计算模式的演进过程

1.1.1 什么是云计算

简单来说，基于互联网发展起来的云计算通过将各种分散的节点统一起来，为用户提供各种扩展性高的服务，同时云计算还是一种具有高计算能力、高存储能力的计算模式。

1. 云计算应该如何定义？

根据美国国家标准与技术研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）给出的云计算定义，云计算是一种按需分配、实时交付的计算模型，它通过对互联共享的资源进行调度，实现了用户对服务的按需获取和信息交换。这种由分布式计算、虚拟化技术、效用计算等混合演进发展而来的新兴产物已根本性地融入了人们的生产生活方式中，尤其对商业模式的变迁产生了深刻的影响。

IBM 技术白皮书中云计算的定义是：云计算是用来描述一个系统平台或者一种类型的应用程序，该平台具有按需进行动态部署，重新配置及解除部署等能力。云计算中的服务器可以是物理的服务器或者虚拟的服务器。更高层次的云计算通常包含一些其他的资源，如存储区域网络、网络设备、防火墙，以及其他安全设备。

维基百科定义云计算是一种能将弹性的虚拟化的资源通过网络以服务的方式提供给大量

用户的计算模式，用户不用知道如何管理云计算的基础设施，也不用知道云计算的内部构成^[3]。CloudCamp 创始人 R. Cohen 认为：云计算就是一种基于互联网的服务，用户不用为购买基础设施而花钱，只用为自己所使用的功能付费即可^[1]。IBM 公司副总裁认为：云计算是基于互联网服务的方式将那些需要专业技能与大量软硬件投资的应用提供给用户^[4]。中国云计算专委会认为，云计算是通过管理、整合、调配分布在整个网络中的计算资源，以统一的界面同时为广大用户提供服务^[5]。

简而言之，云计算就是一种拥有海量存储和强大计算能力的计算模式，能够为大量用户提供各种高扩展性的服务。

不同组织和行业对云计算的理解和解释角度不同，侧重点各异，但也存在诸多相似之处。综合各方观点来看，云计算是一种技术发展和商业创新结合的产物，它以计算机相关技术为应用基础，以经济发展和社会需求为驱动。云计算由分布式计算、网络存储和虚拟化技术等计算机和网络相关技术融合发展而来，它使用虚拟化技术将计算机的计算能力和存储能力虚拟化为易于扩展和管理的共享资源，便于系统扩展和资源分配。云计算是一种新型的计算机技术，同时也是一种互联网服务模式，它以用户为服务主体，将虚拟化的计算机共享资源作为服务，并根据用户的服务需求以低廉的价格将计算资源提供给用户使用。

云计算的形成是并行计算、分布式计算和网格计算发展的必然趋势。也就是说，云计算是虚拟化、效用计算、基础设施即服务、平台即服务、软件即服务等概念混合演进并升华后的结果。根据云计算的设计目的和定义，我们可以看到云计算主要包含如下一些特点。

(1) 计算资源虚拟化：云计算系统将硬件设备和软件应用等虚拟化为计算资源，放入共享资源池进行集中化管理，并根据用户需求动态回收和分配资源。云计算能让用户在任意位置使用各种终端获取服务。所请求的资源来自云，而不是固定的某个有形实体，因为云端中各种资源是动态变化的，同一个用户在不同时刻提交的相同请求很有可能由不同的单个计算设备或多个计算设备协同完成。虽然不同的计算设备可能使用不同的硬件、操作系统和运行环境，但它们的计算能力、存储能力、网络带宽本质上都是抽象化的资源。能将计算设备的各种能力抽象为虚拟资源的虚拟化技术实现了云计算和底层硬件的分离，屏蔽了底层实现的细枝末节，使得用户只需要提交具体的应用请求，而不用考虑具体的实现细节（硬件和软件）。

(2) 弹性扩展：云计算系统可以利用高性能的网络及时地整合动态扩展的计算机硬件和软件资源，并进行集中优化管理。云计算设计的初衷就是充分利用网络上的各种资源，使资源最大限度地为应用提供服务，且占用的资源规模能够随着应用需要的规模增大而扩大，随着应用规模的减小而缩小。

(3) 按需自助服务：用户根据自己的服务需求自助获取和使用云计算资源，而不需要与云服务提供商进行协商或交互。云计算提供了一个庞大的资源池，可以提供如计算、存储、带宽等最基本的服务，用户可以按需购买这些服务，可以像日常生活中的自来水、电和煤气那样按需计费。

(4) 互联网访问：用户通过互联网获取和使用云计算资源，就像日常生活中的水、电、煤气一样使用便捷，用户以按需付费的方式享用云服务，而不需要购买任何软件和硬件设备。

(5) 可计量服务：云计算系统需要管理和监控资源的使用过程，并根据服务类型和资源