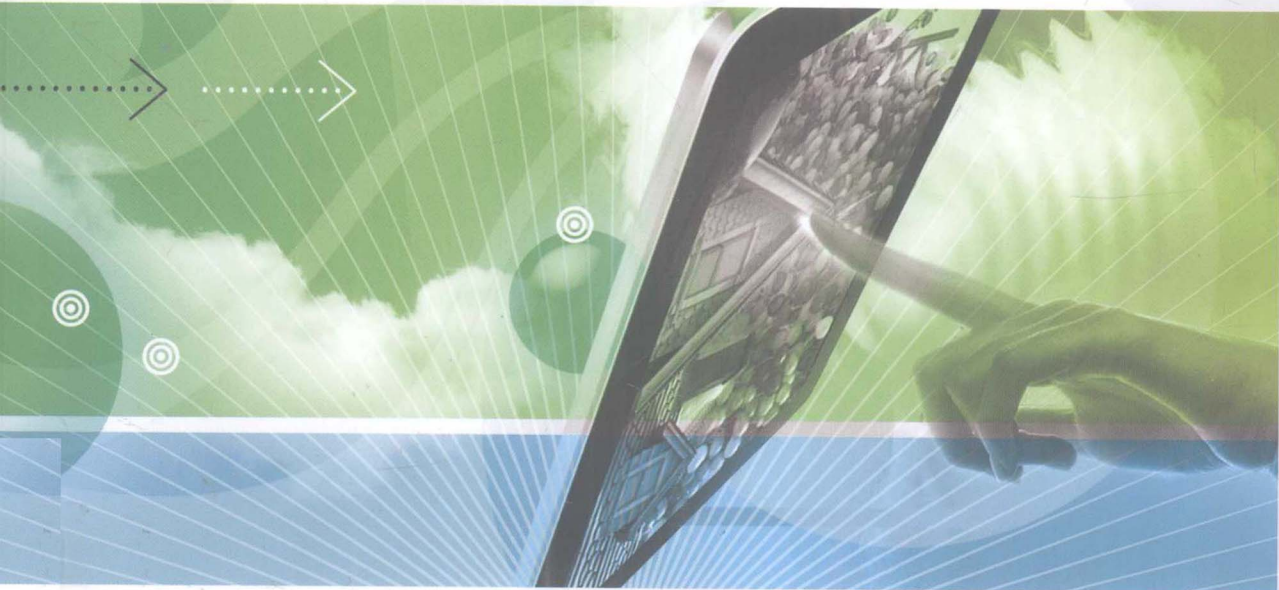


◎更加深入剖析云计算核心技术、包含大量动手实践内容的权威书籍

云计算 (第二版)

CLOUD COMPUTING, Second Edition

刘 鹏 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

云 计 算

(第二版)

刘 鹏 主编

電 子 工 業 出 版 社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是中国电子学会云计算专家委员会刘鹏教授主编的系统讲授云计算技术的专业图书，重点阐述了云计算领域具有代表性的 Google、Amazon、微软和 VMware 四家公司的云计算技术原理和应用方法，并详细分析了以 Hadoop、Eucalyptus 为代表的众多开源云计算系统和云计算仿真器 CloudSim，综述了云计算领域的理论研究热点问题。本书强化了可操作性，给出了大量应用实例、编程方法或实验步骤等。本书主要内容包括：Google 的 GFS、MapReduce、Bigtable、Chubby、Megastore、Dapper 和 App Engine 等；Amazon 的 Dynamo、EC2、S3、SQS、SimpleDB 和 CloudFront 等；微软的 Windows Azure、SQL Azure、App Fabric 等；VMware 的 vSphere、vCenter 等，开源云计算技术的 Hadoop、Eucalyptus、Cassandra、Hive、VoltDB 等。读者可从本书配套网站中国云计算（<http://www.chinacloud.cn>）获取更多资料和求解疑难问题。

本书紧跟云计算的发展前沿，既有理论深度，又有实用价值，可作为高校教材使用，也可作为云计算研发人员和爱好者的学习和参考资料。

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

云计算 / 刘鹏主编. —2 版. —北京：电子工业出版社，2011.5
ISBN 978-7-121-13409-8

I. ①云… II. ①刘… III. ①计算机网络 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 077812 号

责任编辑：董亚峰 特约编辑：史 涛

印 刷：北京东光印刷厂

装 订：三河市皇庄路通装订厂

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：787×1 092 1/16 印张：23 字数：718 千字

印 次：2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数：5 000 册 定价：48.00 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。

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。

服务热线：（010）88258888。



编写组



主 编：刘 鹏

副主编：朱 军 陈卫卫 慈 祥

编 委：许小龙 田浪军 程 浩 张 洁 张 贞
王 磊 李志刚 任桐炜 李 浩 邓 鹏
叶晓江 刘 楠 张建平 邓 谦 张海天
魏家宾 王 昊 李 松 马少兵 冯颖聪
陈秋晓 傅雷扬

前 言

《云计算》第一版于 2010 年 3 月出版。承蒙大家的喜爱，一年中印刷了 4 次，在当当网云计算书籍中销量保持领先。由于云计算技术发展迅猛，我们的云计算研发团队封闭数月，紧密跟踪，及时推出了第二版。新版《云计算》增加了 40% 内容，并对原有内容进行全面改写或扩充，以确保能更准确地反映云计算技术的最新面貌。

为了使第二版能够更好地满足大家的需要，本书在改版时先进行了读者调查。调查结果显示大家已经普遍跨越了概念理解阶段，而对云计算的动手实践环节和核心技术原理有着迫切的需求。因此，本书强化了 Hadoop、Eucalyptus、CloudSim 等动手性强的内容，充实了 Google、Amazon、微软云计算原理，增补了 VMware 虚拟化技术，还同步更新了对云计算理论研究热点的综述。

一些同志参加了《云计算》第一版的编写工作，第二版内容部分地继承了他们的成果。由于编写组署名空间的限制，只好在此记载他们的贡献。他们是：文艾、罗太鹏、龚传、薛志强、朱扬平、王晓璇、王晓盈、鲍爱华、伊英杰、吕良干、周游等。

虽然云计算起步于企业界，但在发展过程中有许多挑战性的技术问题需要解决，希望学术界与企业界密切协作，共同迎接挑战。本着这个思想，我们团队与华为、中兴通讯、360 安全卫士、华胜天成、天威视讯、世纪鼎利等知名企业建立了紧密的联合研究关系，研究内容紧跟市场需求和技术发展，研究成果能够迅速转化成生产力。在这本书里，我们将和大家分享其中一些研究成果。

解放军理工大学 刘鹏

2011 年 5 月 18 日

第一版前言

随着网络带宽的不断增长，通过网络访问非本地的计算服务（包括数据处理、存储和信息服务等）的条件越来越成熟，于是就有了今天我们称做“云计算”的技术。之所以称做“云”，是因为计算设施不在本地而在网络中，用户不需要关心它们所处的具体位置，于是我们就像以前画网络图那样，用“一朵云”来代替了。其实，云计算模式的形成由来已久（Google 公司从诞生之初就采用了这种模式），但只有当宽带网普及到一定程度，且网格计算、虚拟化、SOA 和容错技术等成熟到一定程度并融为一体，又有业界主要大公司的全力推动和吸引人的成功应用案例时，它才如同一颗新星闪亮登场。

既然云计算的服务设施不受用户端的局限，就意味着它们的规模和能力不可限量。Google、亚马逊、微软和 IBM 等的云计算平台已经达到几十万乃至上百万台计算机的规模。由于规模经济性和众多新技术的运用，加之拥有很高的资源利用率，云计算的性能价格比较之传统模式可以达到惊人的 30 倍以上——这使得云计算成为一种划时代的技术。

云计算与当今同样备受关注的 3G 和物联网是什么关系呢？是互为支撑、交相辉映的关系。3G 为云计算带来数以亿计的宽带移动用户。移动终端的计算能力和存储空间有限，却有很强的联网能力，如果有云计算平台的支撑，移动用户将获得前所未有的服务体验；物联网使用数量惊人的传感器、RFID 和视频监控单元等，采集到极其海量的数据，通过 3G 和宽带互联网进行传输，如果汇聚到云计算设施进行存储和处理，则可以更加迅速、准确、智能、低成本地对物理世界进行管理和控制，大幅提高社会生产力水平和生活质量。

云计算的影响将是深远的，它将彻底改变 IT 产业的架构和运行方式。可以预见，高性能计算机、高端服务器、高端存储器和高端处理器的市场将被数量众多、低成本、低能耗和高性价比的云计算硬件市场所挤占；传统互联网数据中心（IDC）将迅速被成本低一个数量级的云计算数据中心所取代；绝大多数软件将以服务方式呈现，甚至连大多数游戏都将在“云”里运行；呼叫中心、网络会议中心、智能监控中心、数据交换中心、视频监控中心和销售管理中心等，将越来越向某些云计算设施集中而获取高得多的性价比。放眼远眺，云计算将与网格计算融为一体，实现云计算平台之间的互操作和资源共享，实现紧耦合高性能科学计算与松耦合高吞吐量商业计算的融合，使互联网上的主要计算设施融为一个有机整体——作者称之为云格（Gloud，即 Grid+Cloud）。

因为云计算如此重要，与云计算相关的书籍应运而生。但由于云计算技术起源于企业界而非学术界，各种技术文献很难寻获，目前还未见到对云计算技术进行全面、深入剖析的教科书式出版物。本书编写团队核心成员自 2000 年起就从事网格计算研发，并一直紧跟国际形势从事云计算领域研发，运营了中国网格（<http://www.chinagrid.net>）和中国云计算（<http://www.chinacloud.cn>）网站，并承担了知名企业的云计算技术培训工作。我们能够感受到广大读者渴望弄清云计算技术本质和细节的迫切心情，集中力量编写了这本书，希望有所裨益。

本书适合不同层次的读者阅读。根据作者的经验,读一本书,面面俱到的方法不可取——耗时过长、印象不深。建议读者带着自己的疑问,寻找感兴趣的阅读点,直奔主题而去:希望了解云计算的概念、本质和发展趋势的读者,可以重点阅读第1、11章;希望学习云计算技术原理的读者,可以将重点放在第2、3、4、5章;希望动手从事云计算开发工作的读者,可重点阅读第6、7、8章;希望从事云计算理论研究的学术界同仁,可重点阅读第9、10章。

此书非常适合于作为高校教材使用。建议高校为高年级本科生和研究生开设《云计算》课程。目前解放军理工大学、南京大学等多所高校已经为本科生、研究生开设了《云计算》课程。本课程教学时数建议为60学时,其中实验教学占10~20学时为宜。建议各位老师在中国云计算网站上共享自己的教案和课件,争取依靠大家的共同努力把它做成精品课程。

感谢中国云计算专家委员会主任委员李德毅院士和林润华秘书长对我们云计算研究工作的指导和鼓励。感谢在我攻读硕、博士学位期间,我的导师谢希仁教授和李三立院士分别在计算机网络和网格计算方向对我的悉心指导。

由于云计算技术较为前沿,加之作者水平有限、时间较紧,书中难免存在谬误,恳请读者批评指正。意见和建议请发到 gloud@126.com。欢迎在本书配套网站中国云计算(<http://www.chinacloud.cn>)上获取更多资料,并交流与云计算相关的任何问题。我们将密切跟踪云计算技术的发展,吸收您的意见,适时编撰本书的升级版本。

解放军理工大学 刘鹏
2010年3月1日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 云计算的概念	1
1.2 云计算发展现状	3
1.3 云计算实现机制	5
1.4 网格计算与云计算	6
1.5 云计算的发展环境	9
1.5.1 云计算与 3G	9
1.5.2 云计算与物联网	9
1.5.3 云计算与移动互联网	10
1.5.4 云计算与三网融合	11
1.6 云计算压倒性的成本优势	12
习题	15
参考文献	15
第 2 章 Google 云计算原理与应用	17
2.1 Google 文件系统 GFS	17
2.1.1 系统架构	18
2.1.2 容错机制	20
2.1.3 系统管理技术	20
2.2 分布式数据处理 MapReduce	21
2.2.1 产生背景	21
2.2.2 编程模型	22
2.2.3 实现机制	22
2.2.4 案例分析	24
2.3 分布式锁服务 Chubby	25
2.3.1 Paxos 算法	26
2.3.2 Chubby 系统设计	27
2.3.3 Chubby 中的 Paxos	29
2.3.4 Chubby 文件系统	31
2.3.5 通信协议	32
2.3.6 正确性与性能	34
2.4 分布式结构化数据表 Bigtable	35
2.4.1 设计动机与目标	35
2.4.2 数据模型	36
2.4.3 系统架构	37

2.4.4	主服务器	38
2.4.5	子表服务器	39
2.4.6	性能优化	42
2.5	分布式存储系统 Megastore	43
2.5.1	设计目标及方案选择	44
2.5.2	Megastore 数据模型	44
2.5.3	Megastore 中的事务及并发控制	46
2.5.4	Megastore 基本架构	47
2.5.5	核心技术——复制	49
2.5.6	产品性能及控制措施	52
2.6	大规模分布式系统的监控基础架构 Dapper	54
2.6.1	基本设计目标	54
2.6.2	Dapper 监控系统简介	54
2.6.3	关键性技术	57
2.6.4	常用 Dapper 工具	58
2.6.5	Dapper 使用经验	60
2.7	Google 应用程序引擎	62
2.7.1	Google App Engine 简介	62
2.7.2	应用程序环境	63
2.7.3	Google App Engine 服务	65
2.7.4	Google App Engine 编程实践	72
	习题	86
	参考文献	86

第3章 Amazon 云计算 AWS 88

3.1	Amazon 平台基础存储架构: Dynamo	88
3.1.1	Dynamo 在 Amazon 服务平台的地位	88
3.1.2	Dynamo 架构的主要技术	89
3.2	弹性计算云 EC2	97
3.2.1	EC2 的主要特性	97
3.2.2	EC2 基本架构及主要概念	97
3.2.3	EC2 的关键技术	99
3.3.4	EC2 安全及容错机制	101
3.3	简单存储服务 S3	102
3.3.1	基本概念和操作	102
3.3.2	数据一致性模型	104
3.3.3	S3 安全措施	105
3.4	简单队列服务 SQS	107
3.4.1	SQS 基本模型	107
3.4.2	两个重要概念	107

3.4.3	消息	108
3.4.4	身份认证	109
3.5	简单数据库服务 Simple DB	109
3.5.1	重要概念	110
3.5.2	存在的问题及解决办法	112
3.5.3	Simple DB 和其他 AWS 的结合使用	112
3.6	关系数据库服务 RDS	113
3.6.1	SQL 和 NoSQL 数据库的对比	113
3.6.2	RDS 数据库原理	114
3.6.3	RDS 的使用	115
3.7	内容推送服务 CloudFront	115
3.7.1	内容推送网络 CDN	115
3.7.2	云内容推送 CloudFront	117
3.8	其他 Amazon 云计算服务	119
3.8.1	快速应用部署 Elastic Beanstalk 和服务模板 CloudFormation	119
3.8.2	云中的 DNS 服务 Router 53	119
3.8.3	虚拟私有云 VPC	120
3.8.4	简单通知服务 SNS 和简单邮件服务 SES	120
3.8.5	弹性 MapReduce 服务	120
3.8.6	电子商务服务 DevPay、FPS 和 Simple Pay	122
3.8.7	Amazon 执行网络服务	126
3.8.8	土耳其机器人	127
3.8.9	Alexa Web 服务	128
3.9	AWS 应用实例	129
3.9.1	在线照片存储共享网站 SmugMug	129
3.9.2	在线视频制作网站 Animoto	130
3.10	小结	131
	习题	131
	参考文献	131

第 4 章 微软云计算 Windows Azure 135

4.1	微软云计算平台	135
4.2	微软云操作系统 Windows Azure	136
4.2.1	Windows Azure 概述	136
4.2.2	Windows Azure 计算服务	137
4.2.3	Windows Azure 存储服务	138
4.2.4	Windows Azure Connect	152
4.2.5	Windows Azure CDN	153
4.2.6	Fabric 控制器	153
4.2.7	Windows Azure 应用场景	155

4.3	微软云关系数据库 SQL Azure	157
4.3.1	SQL Azure 概述	157
4.3.2	SQL Azure 关键技术	158
4.3.3	SQL Azure 应用场景	160
4.3.4	SQL Azure 和 SQL Server 对比	162
4.4	Windows Azure AppFabric	163
4.4.1	AppFabric 概述	163
4.4.2	AppFabric 关键技术	164
4.5	Windows Azure Marketplace	167
4.6	微软云计算编程实践	168
4.6.1	利用 Visual Studio2010 开发简单的云应用程序	168
4.6.2	向 Windows Azure 平台发布应用程序	170
	习题	173
	参考文献	173
第 5 章	VMware 云计算	174
5.1	VMware 云产品简介	174
5.1.1	VMware 云战略三层架构	174
5.1.2	VMware vSphere 架构	175
5.1.3	云操作系统 vSphere	176
5.1.4	底层架构服务 vCloud Service Director	177
5.1.5	虚拟桌面产品 VMware View	178
5.2	云管理平台 vCenter	179
5.2.1	虚拟机迁移工具	179
5.2.2	虚拟机数据备份恢复工具	181
5.2.3	虚拟机安全工具	181
5.2.4	可靠性组件 FT 和 HA	182
5.3	云架构服务提供平台 vCloud Service Director	182
5.3.1	创建虚拟数据中心和组织	183
5.3.2	网络的设计	184
5.3.3	目录管理	184
5.3.4	计费功能	184
5.4	VMware 的网络和存储虚拟化	184
5.4.1	网络虚拟化	184
5.4.2	存储虚拟化	186
	习题	188
	参考文献	188
第 6 章	Hadoop: Google 云计算的开源实现	189
6.1	Hadoop 简介	189

6.2 Hadoop 分布式文件系统 HDFS	190
6.2.1 设计前提与目标	190
6.2.2 体系结构	191
6.2.3 保障可靠性的措施	192
6.2.4 提升性能的措施	194
6.2.5 访问接口	195
6.3 分布式数据处理 MapReduce	196
6.3.1 逻辑模型	196
6.3.2 实现机制	196
6.4 分布式结构化数据表 HBase	197
6.4.1 逻辑模型	198
6.4.2 物理模型	198
6.4.3 子表服务器	199
6.4.4 主服务器	199
6.4.5 元数据表	200
6.5 Hadoop 安装	200
6.5.1 在 Linux 系统中安装 Hadoop	200
6.5.2 在 Windows 系统中安装 Hadoop	208
6.6 HDFS 使用	215
6.6.1 HDFS 常用命令	215
6.6.2 HDFS 基准测试	219
6.7 HBase 安装使用	219
6.7.1 HBase 的安装配置	219
6.7.2 HBase 的执行	220
6.7.3 Hbase 编程实例	221
6.8 MapReduce 编程	223
6.8.1 矩阵相乘算法设计	223
6.8.2 编程实现	224
习题	226
参考文献	226

第 7 章 Eucalyptus: Amazon 云计算的开源实现

7.1 Eucalyptus 简介	228
7.2 Eucalyptus 技术实现	229
7.2.1 体系结构	229
7.2.2 主要构件	230
7.2.3 访问接口	230
7.2.4 服务等级协议	231
7.2.5 虚拟组网	232
7.3 Eucalyptus 安装与使用	233

7.3.1 在 Linux 系统中安装 Eucalyptus	233
7.3.2 Eucalyptus 配置和管理	236
7.3.3 Eucalyptus 常用命令的示例和说明	238
习题	240
参考文献	240
第 8 章 其他开源云计算系统	241
8.1 简介	241
8.1.1 Cassandra	241
8.1.2 Hive	242
8.1.3 VoltDB	242
8.1.4 Enomaly ECP	243
8.1.5 Nimbus	244
8.1.6 Sector and Sphere	245
8.1.7 abiquo	247
8.1.8 MongoDB	247
8.2 Cassandra	249
8.2.1 体系结构	249
8.2.2 数据模型	250
8.2.3 存储机制	251
8.2.4 读/写删过程	252
8.3 Hive	254
8.3.1 整体构架	254
8.3.2 数据模型	255
8.3.3 HQL 语言	257
8.3.4 环境搭建	259
8.4 VoltDB	260
8.4.1 整体架构	260
8.4.2 自动数据分片技术	261
习题	264
参考文献	264
第 9 章 云计算仿真器 CloudSim	265
9.1 CloudSim 简介	265
9.2 CloudSim 体系结构	265
9.2.1 CloudSim 核心模拟引擎	266
9.2.2 CloudSim 层	268
9.2.3 用户代码层	271
9.3 CloudSim 技术实现	271
9.4 CloudSim 的使用方法	274

9.4.1	环境配置	274
9.4.2	运行样例程序	274
9.5	CloudSim 的扩展	277
9.5.1	调度策略的扩展	277
9.5.2	仿真核心代码	280
9.5.3	平台重编译	286
习题		287
参考文献		287
第 10 章	云计算研究热点	288
10.1	云计算体系结构研究	288
10.1.1	Youseff 划分方法	288
10.1.2	Lenk 划分方法	290
10.2	云计算关键技术研究	292
10.2.1	虚拟化技术	292
10.2.2	数据存储技术	293
10.2.3	资源管理技术	295
10.2.4	能耗管理技术	298
10.2.5	云监测技术	301
10.3	编程模型研究	303
10.3.1	All-Pairs 编程模型	303
10.3.2	GridBatch 编程模型	304
10.3.3	其他编程模型	305
10.4	支撑平台研究	306
10.4.1	Cumulus: 数据中心科学云	306
10.4.2	CARMEN: e-Science 云计算	307
10.4.3	RESERVOIR: 云服务融合平台	308
10.4.4	TPlatform: Hadoop 的变种	309
10.4.5	P2P 环境的 MapReduce	309
10.4.6	Yahoo 云计算平台	311
10.4.7	微软的 Dryad 框架	311
10.4.8	Neptune 框架	312
10.5	应用研究	313
10.5.1	语义分析应用	313
10.5.2	生物学应用	314
10.5.3	数据库应用	315
10.5.4	地理信息应用	316
10.5.5	商业应用	317
10.5.6	医学应用	318
10.5.7	社会智能应用	319

10.6 云安全研究	321
10.6.1 Anti-Spam Grid: 反垃圾邮件网格	321
10.6.2 CloudAV: 终端恶意软件检测	323
10.6.3 AMSDS: 恶意软件签名自动检测	324
10.6.4 CloudSEC: 协作安全服务体系结构	325
习题	327
参考文献	327
第 11 章 总结与展望	332
11.1 主流商业云计算解决方案比较	332
11.1.1 应用场景	332
11.1.2 使用流程	334
11.1.3 体系结构	335
11.1.4 实现技术	335
11.1.5 核心业务	336
11.2 主流开源云计算系统比较	338
11.2.1 开发目的	338
11.2.2 体系结构	339
11.2.3 实现技术	340
11.2.4 核心服务	340
11.3 国内代表性云计算平台比较	341
11.3.1 中国移动“大云”	341
11.3.2 阿里巴巴“阿里云”	343
11.3.3 “大云”与“阿里云”的比较	343
11.4 云计算的历史坐标与发展方向	344
11.4.1 互联网发展的阶段划分	344
11.4.2 云格 (Gloud) —— 云计算的未来	346
习题	348
参考文献	349

第1章 绪 论

很少有一种技术能够像“云计算”这样，在短短的两三年间就产生巨大的影响力。Google、Amazon、IBM 和微软等 IT 巨头们以前所未有的速度和规模推动云计算技术和产品的普及，一些学术活动迅速将云计算提上议事日程。一年前支持者和反对者还在喋喋不休地争论，而如今业界已对云计算高度认同。那么，云计算到底是什么？发展现状如何？它的实现机制是什么？它与网格计算是什么关系？本章将分析这些问题，目的是帮助读者对云计算形成一个初步认识。

1.1 云计算的概念

云计算（Cloud Computing）是在 2007 年第 3 季度才诞生的新名词，但仅仅过了半年多，其受到关注的程度就超过了网格计算（Grid Computing），而且关注度至今一直居高不下，如图 1-1 所示。

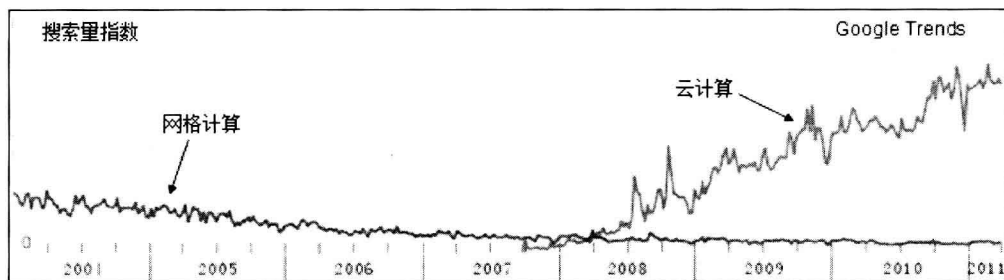


图 1-1 云计算和网格计算在 Google 中的搜索趋势

然而，对于到底什么是云计算，至少可以找到 100 种解释，目前还没有公认的定义。本书给出一种定义，供读者参考。

云计算是一种商业计算模型，它将计算任务分布在大量计算机构成的资源池上，使用户能够按需获取计算力、存储空间和信息服务^{[1][2]}。

这种资源池称为“云”。“云”是一些可以自我维护 and 管理的虚拟计算资源，通常是一些大型服务器集群，包括计算服务器、存储服务器和宽带资源等。云计算将计算资源集中起来，并通过专门软件实现自动管理，无需人为参与。用户可以动态申请部分资源，支持各种应用程序的运转，无需为烦琐的细节而烦恼，能够更加专注于自己的业务，有利于提高效率、降低成本和技术创新。云计算的核心理念是资源池，这与早在 2002 年就提出的网格计算池（Computing Pool）的概念非常相似^{[3][4]}。网格计算池将计算和存储资源虚拟成为一个可以任意组合分配的集合，池的规模可以动态扩展，分配给用户的处理能力可以动

态回收重用。这种模式能够大大提高资源的利用率，提升平台的服务质量。

之所以称为“云”，是因为它在某些方面具有现实中云的特征：云一般都较大；云的规模可以动态伸缩，它的边界是模糊的；云在空中飘忽不定，无法也无需确定它的具体位置，但它确实存在于某处。之所以称为“云”，还因为云计算的鼻祖之一 Amazon 公司将大家曾经称为网格计算的东西，取了一个新名称“弹性计算云”（Elastic Computing Cloud），并取得了商业上的成功。

有人将这种模式比喻为从单台发电机供电模式转向了电厂集中供电的模式。它意味着计算能力也可以作为一种商品进行流通，就像煤气、水和电一样，取用方便，费用低廉。最大的不同在于，它是通过互联网进行传输的。

云计算是并行计算（Parallel Computing）、分布式计算（Distributed Computing）和网格计算（Grid Computing）的发展，或者说是这些计算科学概念的商业实现。云计算是虚拟化（Virtualization）、效用计算（Utility Computing）、将基础设施作为服务 IaaS（Infrastructure as a Service）、将平台作为服务 PaaS（Platform as a Service）和将软件作为服务 SaaS（Software as a Service）等概念混合演进并跃升的结果。

从研究现状上看，云计算具有以下特点。

（1）超大规模。“云”具有相当的规模，Google 云计算已经拥有 100 多万台服务器，Amazon、IBM、微软和 Yahoo 等公司的“云”均拥有几十万台服务器。“云”能赋予用户前所未有的计算能力。

（2）虚拟化。云计算支持用户在任意位置、使用各种终端获取服务。所请求的资源来自“云”，而不是固定的有形的实体。应用在“云”中某处运行，但实际上用户无需了解应用运行的具体位置，只需要一台笔记本或一个 PDA，就可以通过网络服务来获取各种能力超强的服务。

（3）高可靠性。“云”使用了数据多副本容错、计算节点同构可互换等措施来保障服务的高可靠性，使用云计算比使用本地计算机更加可靠。

（4）通用性。云计算不针对特定的应用，在“云”的支撑下可以构造出千变万化的应用，同一片“云”可以同时支撑不同的应用运行。

（5）高可伸缩性。“云”的规模可以动态伸缩，满足应用和用户规模增长的需要。

（6）按需服务。“云”是一个庞大的资源池，用户按需购买，像自来水、电和煤气那样计费。

（7）极其廉价。“云”的特殊容错措施使得可以采用极其廉价的节点来构成云；“云”的自动化管理使数据中心管理成本大幅降低；“云”的公用性和通用性使资源的利用率大幅提升；“云”设施可以建在电力资源丰富的地区，从而大幅降低能源成本。因此“云”具有前所未有的性能价格比。Google 中国区前总裁李开复称，Google 每年投入约 16 亿美元构建云计算数据中心，所获得的能力相当于使用传统技术投入 640 亿美元，节省了 40 倍的成本。因此，用户可以充分享受“云”的低成本优势，需要时，花费几百美元、一天时间就能完成以前需要数万美元、数月时间才能完成的数据处理任务。

云计算按照服务类型大致可以分为三类：将基础设施作为服务 IaaS、将平台作为服务 PaaS 和将软件作为服务 SaaS，如图 1-2 所示。