

◎ 云计算研发团队全面深入剖析云计算技术的权威书籍

云计算

CLOUD COMPUTING

刘 鹏 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

云 计 算

刘 鹏 主编

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是中国云计算专家委员会委员刘鹏教授主编的系统讲解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、亚马逊和微软三个云计算平台的技术原理和应用方法，并介绍了以 Hadoop 为代表的开源云计算技术和云计算仿真器 CloudSim，分析了云计算领域的理论研究热点问题，给出了云计算应用实例以及云计算实验的详细步骤。本书主要包括：Google 的 GFS、MapReduce、Bigtable、Chubby 和 App Engine 等；亚马逊的 Dynamo、EC2、S3、SQS、SimpleDB 和 CloudFront 等；微软的 Azure、SQL 服务、.Net 服务和 Live 服务等；开源云计算技术的 HDFS、HBase 和 Eucalyptus 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. —北京：电子工业出版社，2010.3

ISBN 978-7-121-10199-1

I. 云… II. 刘… III. 计算机网络—研究 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 001568 号

责任编辑：董亚峰

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：787×1092 1/16 印张：17.75 字数：490 千字

印 次：2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：38.00 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。

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。本书剖析了具有代表性的 Google、亚马逊和微软三家公司的云计算平台技术原理和使用方法，并介绍了以 Hadoop 为代表的开源云计算技术和云计算仿真器 CloudSim，还分析了云计算领域的理论研究热点问题。另外，一些云计算应用实例和云计

算实验的详细步骤，将使您感觉到云计算并非遥不可及。

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、9 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 章，并着手附录中的实验；希望从事云计算理论研究的学术界同仁，可重点阅读第 7、8 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已经为四年级本科生开设了云计算课程。本课程教学时数建议为 40 学时，如要开展实验教学则另加 10 学时。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。另外，本书编写团队有配套的云计算深度培训系列课程可对外提供。

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@189.cn。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	4
1.4 网格计算与云计算	6
参考文献	8
第 2 章 Google 云计算原理	10
2.1 Google 文件系统 GFS	10
2.1.1 系统架构	11
2.1.2 容错机制	13
2.1.3 系统管理技术	13
2.2 并行数据处理 MapReduce	14
2.2.1 产生背景	14
2.2.2 编程模型	15
2.2.3 实现机制	15
2.2.4 案例分析	17
2.3 分布式锁服务 Chubby	19
2.3.1 Paxos 算法	19
2.3.2 Chubby 系统设计	20
2.3.3 Chubby 文件系统	21
2.3.4 通信协议	23
2.3.5 正确性与性能	24
2.4 分布式结构化数据表 Bigtable	25
2.4.1 设计动机与目标	25
2.4.2 数据模型	26
2.4.3 系统架构	27
2.4.4 主服务器	28
2.4.5 子表服务器	29
2.4.6 性能优化	32
参考文献	34
第 3 章 Google 应用程序引擎	35
3.1 Google App Engine 简介	35
3.2 应用程序环境	37
3.3 Google App Engine 数据库	38
3.4 Google App Engine 服务	39

3.4.1	图像操作 API	39
3.4.2	邮件 API	40
3.4.3	Memcache API	42
3.4.4	网址抓取 API	44
3.4.5	用户 API	45
3.4.6	数据库 API	46
3.5	编程实例: Hello World	52
3.5.1	创建简单请求处理程序	53
3.5.2	使用 webapp 框架	55
3.5.3	使用用户服务	56
3.5.4	用 webapp 处理表单	57
3.5.5	使用数据库	59
3.5.6	使用模板	61
3.5.7	应用实例: 搭建 CDN	61
3.6	应用实例: 用 iPhone 访问 Google App Engine	63
3.7	应用实例: 基于位置的聊天	66
	参考文献	68
第 4 章	亚马逊云计算 AWS	69
4.1	简介	69
4.2	亚马逊平台基础存储架构: Dynamo	69
4.2.1	Dynamo 在亚马逊服务平台的地位	69
4.2.2	Dynamo 架构的主要技术	71
4.3	弹性计算云 EC2	76
4.3.1	EC2 的主要特性	77
4.3.2	EC2 基本架构及主要概念	77
4.3.3	常用 API	81
4.4	简单存储服务 S3	82
4.4.1	基本概念和操作	82
4.4.2	数据一致性模型	84
4.4.3	S3 安全措施	85
4.4.4	常用 API	87
4.5	简单队列服务 SQS	87
4.5.1	SQS 基本模型	88
4.5.2	两个重要概念	88
4.5.3	消息	89
4.5.4	身份认证	90
4.5.5	常用 API	90
4.6	简单数据库服务 SimpleDB	91

4.6.1	重要概念	91
4.6.2	与关系型数据库的比较	93
4.6.3	存在的问题及解决办法	93
4.6.4	SDB 和其他 AWS 的结合使用	94
4.6.5	常用 API	94
4.7	弹性 MapReduce 服务	95
4.7.1	弹性 MapReduce	95
4.7.2	常用 API	96
4.8	内容推送服务 CloudFront	96
4.8.1	CDN	97
4.8.2	CloudFront	98
4.8.3	常用 API	100
4.9	电子商务服务 DevPay 和 FPS	100
4.9.1	DevPay	100
4.9.2	FPS	103
4.9.3	常用 API	104
4.10	其他亚马逊云计算服务	105
4.10.1	简单支付服务 Simple Pay	105
4.10.2	亚马逊完成 Web 服务	106
4.10.3	土耳其机器人	106
4.10.4	Alexa Web 服务	107
4.10.5	常用 API	108
4.11	AWS 应用实例	108
4.11.1	在线照片存储共享网站 SmugMug	108
4.11.2	在线视频制作网站 Animoto	110
	参考文献	110
第 5 章	微软云计算 Windows Azure	113
5.1	微软云计算服务平台	113
5.2	微软云操作系统 Windows Azure	114
5.2.1	概述	114
5.2.2	Windows Azure 存储服务	116
5.2.3	Windows Azure 计算服务	127
5.2.4	Fabric	129
5.2.5	使用 Windows Azure	129
5.3	SQL 服务	130
5.3.1	SQL 数据服务	130
5.3.2	SDS 数据模型	131
5.3.3	访问 SDS	132

5.4	.NET 服务	132
5.4.1	概述	132
5.4.2	访问控制服务	133
5.4.3	.NET 服务总线	135
5.4.4	workflow 服务	139
5.5	Live 服务	143
5.5.1	概述	143
5.5.2	Live 框架	144
5.5.3	访问数据	145
5.5.4	使用网络	146
5.5.5	Mesh-Enabled 应用程序	147
5.6	小结	148
	参考文献	148
第 6 章	开源云计算系统	149
6.1	开源云计算系统简介	149
6.1.1	Hadoop	149
6.1.2	Eucalyptus	151
6.1.3	Enomaly ECP	152
6.1.4	Nimbus	152
6.1.5	Sector and Sphere	153
6.1.6	abiquo	155
6.1.7	MongoDB	156
6.2	HDFS: GFS 的开源实现	157
6.2.1	设计前提与目标	157
6.2.2	体系结构	158
6.2.3	保障可靠性的措施	159
6.2.4	提升性能的措施	161
6.2.5	访问接口	162
6.3	MapReduce 的开源实现	163
6.3.1	逻辑模型	163
6.3.2	实现机制	164
6.4	HBase: Bigtable 的开源实现	165
6.4.1	逻辑模型	165
6.4.2	物理模型	165
6.4.3	子表服务器	166
6.4.4	主服务器	167
6.4.5	元数据表	167
6.5	Eucalyptus: EC2 的开源实现	168

6.5.1	背景	168
6.5.2	体系结构	169
6.5.3	主要构件	171
6.5.4	访问接口	172
6.5.5	服务等级协议	173
6.5.6	虚拟组网	174
	参考文献	175
第 7 章	云计算仿真器 CloudSim	177
7.1	CloudSim 简介	177
7.2	CloudSim 体系结构	178
7.2.1	SimJava 层	179
7.2.2	GridSim 层	179
7.2.3	CloudSim 层	179
7.2.4	用户代码层	180
7.3	CloudSim 技术实现	180
7.4	CloudSim 的使用方法	182
	参考文献	185
第 8 章	云计算理论研究热点	186
8.1	体系结构研究	186
8.1.1	Youseff 划分方法	186
8.1.2	Lenk 划分方法	188
8.2	关键技术研究	190
8.2.1	虚拟机	190
8.2.2	安全管理	191
8.2.3	云监测	192
8.2.4	能耗管理	194
8.2.5	数据管理	196
8.2.6	资源调度	197
8.3	编程模型研究	198
8.3.1	All-Pairs 编程模型	198
8.3.2	GridBatch 编程模型	199
8.4	支撑平台研究	200
8.4.1	Cumulus: 数据中心科学云	200
8.4.2	CARMEN: e-Science 云计算	201
8.4.3	RESERVOIR: 云服务融合平台	202
8.4.4	TPlatform: Hadoop 的变种	203
8.4.5	P2P 环境的 MapReduce	203
8.4.6	Yahoo 云计算平台	205

8.5	应用研究	205
8.5.1	语义分析应用	205
8.5.2	生物学应用	206
8.5.3	数据库应用	207
8.5.4	地理信息应用	208
8.5.5	商业应用	209
8.6	云安全研究	211
8.6.1	Anti-Spam Grid: 反垃圾邮件网格	211
8.6.2	CloudAV: 终端恶意软件检测	213
8.6.3	AMSDS: 恶意软件签名自动检测	214
8.6.4	云平台上的数字身份认证	215
	参考文献	216
第9章	总结与展望	220
9.1	Google、亚马逊和微软云计算对比	220
9.1.1	应用场景	220
9.1.2	使用流程	221
9.1.3	体系结构	222
9.1.4	实现技术	223
9.1.5	小结	224
9.2	云计算压倒性的成本优势	226
9.3	云计算的历史坐标与发展方向	229
9.3.1	互联网发展的阶段划分	229
9.3.2	3G、物联网与云计算	231
9.3.3	云格 (Gloud) —— 云计算的未来	232
	参考文献	234
附录A	云计算实验——Hadoop 安装与使用	235
A.1	实验目的及环境	235
A.2	在 Linux 系统中安装使用 Hadoop	235
A.2.1	实验准备	235
A.2.2	实验步骤	236
A.3	在 Windows 系统中安装使用 Hadoop	243
A.3.1	实验准备	243
A.3.2	实验步骤	244
A.4	注意事项	249
附录B	云计算实验——HDFS 使用	250
B.1	实验目的	250
B.2	实验环境	250
B.3	实验步骤	250

附录 C	云计算实验——HDFS 和 MapReduce 编程	254
C.1	实验目的	254
C.2	实验环境	254
C.3	实验步骤	254
C.4	注意事项	260
附录 D	云计算实验——HBase 安装使用	261
D.1	实验目的	261
D.2	实验环境	261
D.3	实验步骤	261
D.4	注意事项	265
附录 E	云计算实验——CloudSim 编程	266
E.1	实验目的	266
E.2	实验环境	266
E.3	实验步骤	266

第1章 绪 论

很少有一种技术能够像“云计算”这样，在短短的两年间就产生巨大的影响力。Google、亚马逊、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，支持和反对的声音不绝于耳。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），如图 1-1 所示。

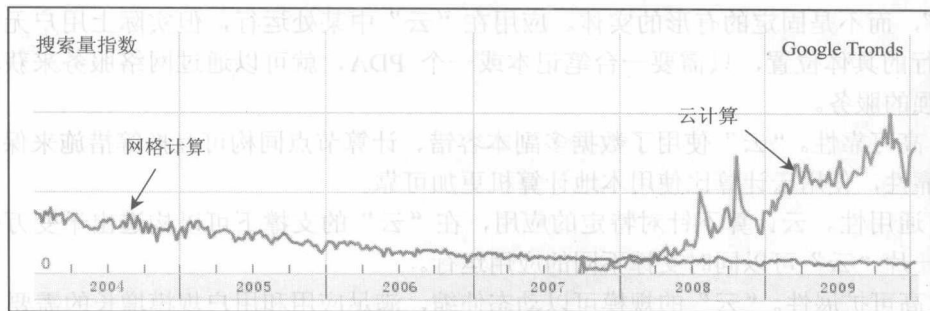


图 1-1 云计算和网格计算在 Google 中的搜索趋势

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。

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亚马逊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，亚马逊、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) 高可扩展性。“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。

IaaS 将硬件设备等基础资源封装成服务供用户使用，如亚马逊云计算 AWS（Amazon Web Services）的弹性计算云 EC2 和简单存储服务 S3。在 IaaS 环境中，用户相当于在使用裸机和磁盘，既可以让它运行 Windows，也可以让它运行 Linux，因而几乎可以做任何

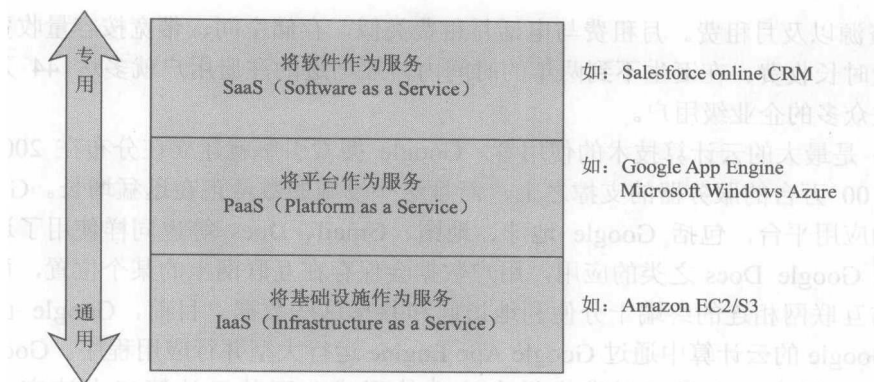


图 1-2 云计算的服务类型

想做的事情，但用户必须考虑如何才能让多台机器协同工作起来。AWS 提供了在节点之间互通消息的接口简单队列服务 SQS (Simple Queue Service)。IaaS 最大的优势在于它允许用户动态申请或释放节点，按使用量计费。运行 IaaS 的服务器规模达到几十万台之多，用户因而可以认为能够申请的资源几乎是无限的。同时，IaaS 是由公众共享的，因而具有更高的资源使用效率。

PaaS 对资源的抽象层次更进一步，它提供用户应用程序的运行环境，典型的如 Google App Engine。微软的云计算操作系统 Microsoft Windows Azure 也可大致归入这一类。PaaS 自身负责资源的动态扩展和容错管理，用户应用程序不必过多考虑节点间的配合问题。但与此同时，用户的自主权降低，必须使用特定的编程环境并遵照特定的编程模型。这有点像在高性能集群计算机里进行 MPI 编程，只适用于解决某些特定的计算问题。例如，Google App Engine 只允许使用 Python 和 Java 语言、基于称为 Django 的 Web 应用框架、调用 Google App Engine SDK 来开发在线应用服务。

SaaS 的针对性更强，它将某些特定应用软件功能封装成服务，如 Salesforce 公司提供的在线客户关系管理 CRM (Client Relationship Management) 服务。SaaS 既不像 PaaS 一样提供计算或存储资源类型的服务，也不像 IaaS 一样提供运行用户自定义应用程序的环境，它只提供某些专门用途的服务供应用调用。

需要指出的是，随着云计算的深化发展，不同云计算解决方案之间相互渗透融合，同一种产品往往横跨两种以上类型。例如，Amazon Web Services 是以 IaaS 发展的，但新提供的弹性 MapReduce 服务模仿了 Google 的 MapReduce，简单数据库服务 SimpleDB 模仿了 Google 的 Bigtable，这两者属于 PaaS 的范畴，而它新提供的电子商务服务 FPS 和 DevPay 以及网站访问统计服务 Alexa Web 服务，则属于 SaaS 的范畴。

1.2 云计算发展现状

由于云计算是多种技术混合演进的结果，其成熟度较高，又有大公司推动，发展极为迅速。Google、亚马逊、IBM、微软和 Yahoo 等大公司云计算的先行者。云计算领域的众多成功公司还包括 VMware、Salesforce、Facebook、YouTube、MySpace 等。

亚马逊研发了弹性计算云 EC2 (Elastic Computing Cloud) 和简单存储服务 S3 (Simple Storage Service) 为企业计算和存储服务。收费的服务项目包括存储空间、带

宽、CPU 资源以及月租费。月租费与电话月租费类似，存储空间、带宽按容量收费，CPU 根据运算量时长收费。在诞生不到两年的时间内，亚马逊的注册用户就多达 44 万人，其中包括为数众多的企业级用户。

Google 是最大的云计算技术的使用者。Google 搜索引擎就建立在分布在 200 多个站点、超过 100 万台的服务器的支撑之上，而且这些设施的数量正在迅猛增长。Google 的一系列成功应用平台，包括 Google 地球、地图、Gmail、Docs 等也同样使用了这些基础设施。采用 Google Docs 之类的应用，用户数据会保存在互联网上的某个位置，可以通过任何一个与互联网相连的终端十分便利地访问和共享这些数据。目前，Google 已经允许第三方在 Google 的云计算中通过 Google App Engine 运行大型并行应用程序。Google 值得称颂的是它不保守，它早已以发表学术论文的形式公开其云计算三大法宝：GFS、MapReduce 和 Bigtable，并在美国、中国等高校开设如何进行云计算编程的课程。相应的，模仿者应运而生，Hadoop 是其中最受关注的开源项目。

IBM 在 2007 年 11 月推出了“改变游戏规则”的“蓝云”计算平台，为客户带来即买即用的云计算平台。它包括一系列自我管理和自我修复的虚拟化云计算软件，使来自全球的应用可以访问分布式的大型服务器池，使得数据中心在类似于互联网的环境下运行计算。IBM 正在与 17 个欧洲组织合作开展名为 RESERVOIR 的云计算项目，以“无障碍的资源和服务虚拟化”为口号，欧盟提供了 1.7 亿欧元作为部分资金。2008 年 8 月，IBM 宣布将投资约 4 亿美元用于其设在北卡罗来纳州和日本东京的云计算数据中心改造，并计划 2009 年在 10 个国家投资 3 亿美元建设 13 个云计算中心。

微软紧跟云计算步伐，于 2008 年 10 月推出了 Windows Azure 操作系统。Azure（译为“蓝天”）是继 Windows 取代 DOS 之后，微软的又一次颠覆性转型——通过在互联网架构上打造新云计算平台，让 Windows 真正由 PC 延伸到“蓝天”上。Azure 的底层是微软全球基础服务系统，由遍布全球的第四代数据中心构成。目前，微软已经配置了 220 个集装箱式数据中心，包括 44 万台服务器。

在我国，云计算发展也非常迅猛。2008 年，IBM 先后在无锡和北京建立了两个云计算中心；世纪互联推出了 CloudEx 产品线，提供互联网主机服务、在线存储虚拟化服务等；中国移动研究院已经建立起 1024 个 CPU 的云计算试验中心；解放军理工大学研制了云存储系统 MassCloud，并以它支撑基于 3G 的大规模视频监控应用和数字地球系统。作为云计算技术的一个分支，云安全技术通过大量客户端的参与和大量服务器端的统计分析来识别病毒和木马，取得了巨大成功。瑞星、趋势、卡巴斯基、McAfee、Symantec、江民、Panda、金山、360 安全卫士等均推出了云安全解决方案。值得一提的是，云安全的核心思想，与早在 2003 年就提出的反垃圾邮件网格非常接近^[5]。2008 年 11 月 25 日，中国电子学会专门成立了云计算专家委员会。2009 年 5 月 22 日，中国电子学会隆重举办首届中国云计算大会，1200 多人与会，盛况空前。2009 年 11 月 2 日，中国互联网大会专门召开了“2009 云计算产业峰会”。2009 年 12 月，中国电子学会举办了首届中国云计算学术会议。2010 年 5 月，中国电子学会将举办第二届中国云计算大会。

1.3 云计算实现机制

由于云计算分为 IaaS、PaaS 和 SaaS 三种类型，不同的厂家又提供了不同的解决方

案，目前还没有一个统一的技术体系结构，对读者了解云计算的原理构成了障碍。为此，本书综合不同厂家的方案，构造了一个供参考的云计算体系结构。这个体系结构如图 1-3 所示，它概括了不同解决方案的主要特征，每一种方案或许只实现了其中部分功能，或许也还有部分相对次要功能尚未概括进来。



图 1-3 云计算技术体系结构

云计算技术体系结构分为四层：物理资源层、资源池层、管理中间件层和 SOA (Service-Oriented Architecture, 面向服务的体系结构) 构建层。物理资源层包括计算机、存储器、网络设施、数据库和软件等。资源池层是将大量相同类型的资源构成同构或接近同构的资源池，如计算资源池、数据资源池等。构建资源池更多的是物理资源的集成和管理工作，例如研究在一个标准集装箱的空间如何装下 2000 个服务器、解决散热和故障节点替换的问题并降低能耗。管理中间件层负责对云计算的资源进行管理，并对众多应用任务进行调度，使资源能够高效、安全地为应用提供服务。SOA 构建层将云计算能力封装成标准的 Web Services 服务，并纳入到 SOA 体系进行管理和使用，包括服务接口、服务注册、服务查找、服务访问和服务工作流等。管理中间件层和资源池层是云计算技术的最关键部分，SOA 构建层的功能更多依靠外部设施提供。

云计算的管理中间件层负责资源管理、任务管理、用户管理和安全管理等工作。资源管理负责均衡地使用云资源节点，检测节点的故障并试图恢复或屏蔽之，并对资源的使用情况进行监视统计；任务管理负责执行用户或应用提交的任務，包括完成用户任务映像 (Image) 的部署和管理、任务调度、任务执行、任务生命期管理等；用户管理是实现云计算商业模式的一个必不可少的环节，包括提供用户交互接口、管理和识别用户身份、创建用户程序的执行环境、对用户的使用进行计费等；安全管理保障云计算设施的整体安全，包括身份认证、访问授权、综合防护和安全审计等。

基于上述体系结构，本书以 IaaS 云计算为例，简述云计算的实现机制，如图 1-4 所示。