

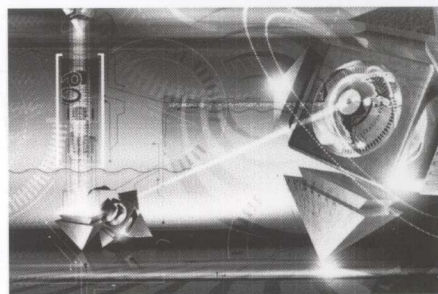


工业和信息化部  
CLOUD COMPUTING & BIG DATA  
TECHNICAL AND VOCATIONAL EDUCATION



工业和信  
息化人才  
培养规  
划教材

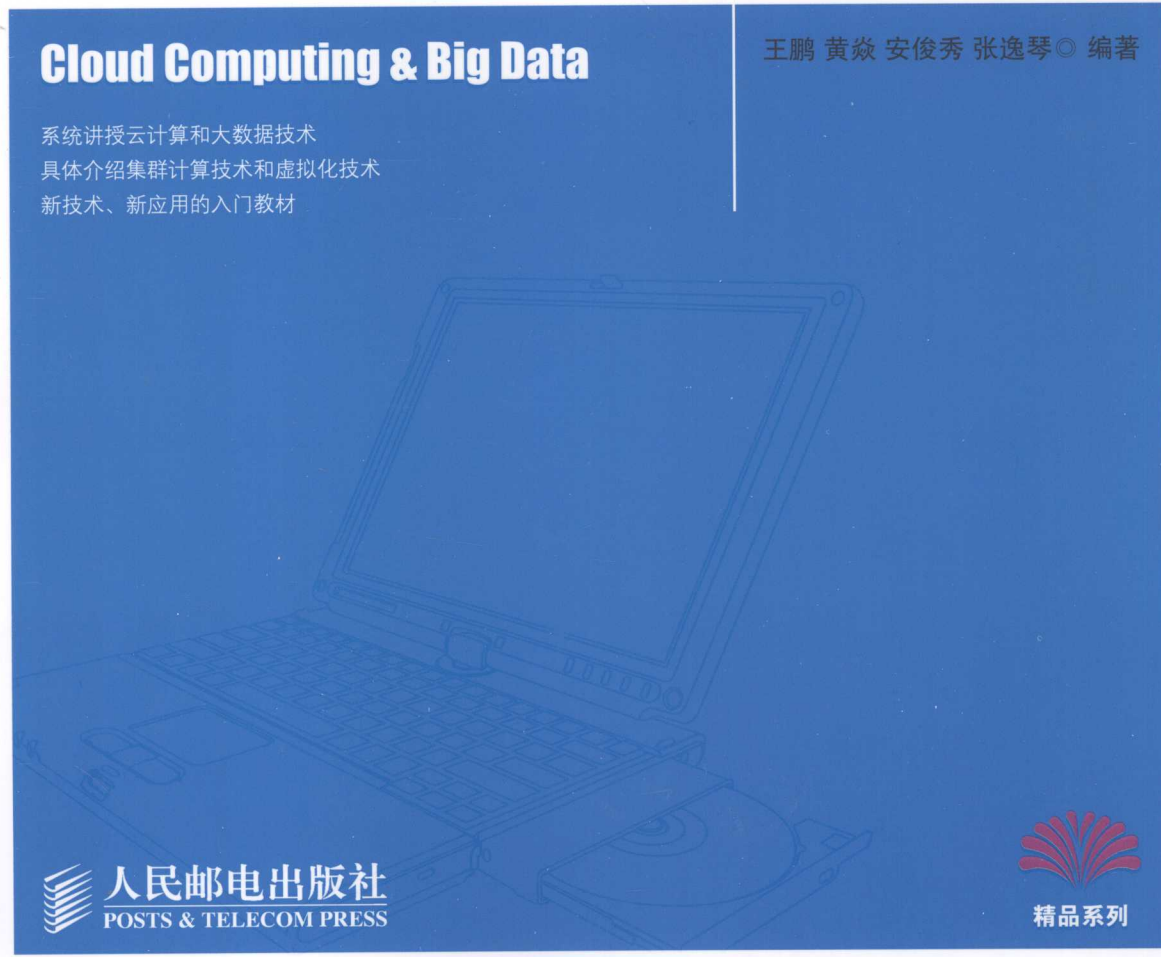
# 云计算与 大数据技术



## Cloud Computing & Big Data

王鹏 黄焱 安俊秀 张逸琴◎ 编著

系统讲授云计算和大数据技术  
具体介绍集群计算技术和虚拟化技术  
新技术、新应用的入门教材



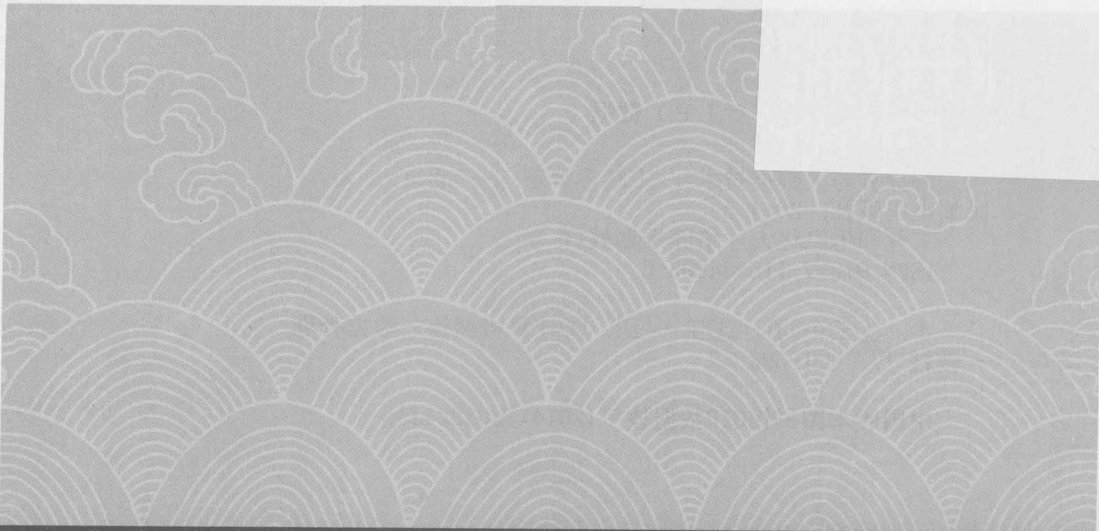
 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

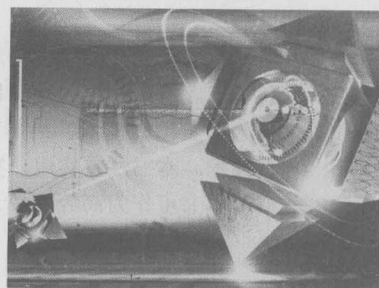


C L O U D C O M P U T I N G & B I G D A T A  
T E C H N I C A L A N D V O C A T I O N A L E D U C A T I O N



工业和信 息化人才培 养规划教 材

# 云计算与 大数据技术



Cloud Computing & Big Data

王鹏 黄焱 安俊秀 张逸琴◎ 编著

人民邮电出版社

北京

TP393  
1348

11070010

## 图书在版编目(CIP)数据

云计算与大数据技术 / 王鹏等编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 5  
工业和信息化人才培养规划教材  
ISBN 978-7-115-34803-6

I. ①云… II. ①王… III. ①计算机网络—数据处理—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第032242号

## 内 容 提 要

本书全面介绍了云计算与大数据的基础知识、主要技术、基于集群技术的资源整合型云计算技术和基于虚拟化技术的资源切分型云计算技术。全书共10章, 主要内容包括云计算与大数据概述、相关技术、虚拟化技术、集群系统基础、MPI、Hadoop、HPCC、Storm、数据中心技术和云计算大数据仿真技术。本书注重实用, 实验丰富, 将实验内容融合在课程内容中, 使理论紧密联系实际。

本书可作为高等院校云计算、大数据相关课程的教材, 也可作为相关技术人员的参考用书。



- 
- ◆ 编 著 王 鹏 黄 焱 安俊秀 张逸琴  
责任编辑 王 威  
责任印制 焦志炜
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
三河市潮河印业有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 11.75 2014年5月第1版  
字数: 303千字 2014年5月河北第1次印刷
- 

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316  
反盗版热线: (010)81055315

## 前 言

计算技术的发展经历从合到分，又从分到合的历程，这一发展历程中内在的推动力就是技术。最早电子管计算机系统价格昂贵、体积巨大，计算资源只能被集中放在机房，随着芯片技术的发展大规模集成电路技术使计算机的体积变得很小，同时微软视窗系统的出现使计算以前所未有的速度得到了普及，计算实现了由合到分的变化。分散的计算资源虽然给大家带来了方便但同时也带来了资源的浪费，而且在需要进行计算时又可能会出现资源不够的情况，这时网络技术的发展使计算资源再次被集中存放于机房成为了可能。

计算技术的发展特别是网络技术的发展催生了云计算技术的出现，云计算技术的出现被广泛地认为是信息技术的一次重大变革，大量的与云计算相关的软件和系统架构如雨后春笋般地出现。云计算技术将计算资源、存储资源以及相关各类广义的资源通过网络以服务的形式提供给资源的使用者，改变了传统信息技术架构中物理资源直接独占使用的模式，甚至从广义上讲只要是通过网络向用户提供服务的信息系统都被称为云计算系统。

云计算、物联网、社交网络的发展使人类社会的数据产生方式发生了变化，社会数据的规模正在以前所未有的速度增长，数据的种类五花八门，对海量、异构数据的存储、管理、分析和挖掘成为信息学科的热门领域，大数据技术逐渐进入人们的视野。

云计算与大数据出现以后随着进入这个领域的企业和研究机构的大量增加，对于云计算、大数据技术的认识出现了大量不同的定义。如果我们把云计算看作是一种通过网络实现资源服务的模式的话，则云计算技术可以被认为是实现云计算模式的所有技术的总称，这些技术包括虚拟化技术、分布式计算技术、分布式存储技术、网络技术等，不少技术是互联网时代就已存在的技术。大数据技术涵盖数据的存储、管理、分析和挖掘，这些技术并不是新的技术门类。

在云计算与大数据概念的内涵还没有完全得到业界的一致认识时，云计算与大数据产业的高速发展却十分出人预料，大量的客户需要企业提供相关的系统解决方案，一些地方希望能建设云计算中心，云计算与大数据人才的需求呈现出一种井喷的局面，不少学校都在规划建立云计算与大数据专业或开设相关课程以满足日益增长的人才需求。云计算与大数据课程专业该“学什么、如何学”正是本教材需要回答的问题。

信息技术这些年的高速发展使信息学科的整体格局也发生了变化。例如：在高性能计算领域已存在很久的集群技术在云计算和大数据时代再次成为系统架构的核心技术；在传统数据中心主机租赁业务中得到广泛应用的服务器虚拟技术，在云计算时代因为桌面虚拟化的大量使用得到了极大的发展，成为云计算技术的重要应用之一。

本书作为云计算与大数据技术的一本综合入门课程，我们一直在思考什么样的人才可以被称为云计算与大数据人才，培养的学生的知识结构是怎么样的，云计算与大数据作为一个高速发展的学科哪些知识是必须要了解的。从课程角度本书并不是对某一项技术的专门介绍，而是希望为学习云计算与大数据技术的同学提供一个完整的知识框架，为今后深入学习打下基础。

本书主要包含两大技术方向：集群计算技术和虚拟化技术，分别介绍了两个技术方向中学生需要了解的基础知识和典型系统，使学生在面对技术的快速发展时能以不变应万变，避免出现现在学校学的技术到工作岗位时由于技术进步而用不上的问题。书中所介绍的相关知识和技术都有一定的普遍性和典型示范作用，在学习时重要的是要学习其中的系统思想。特别是我们在集群云计算系统中加入了基于消息传递机制高性能计算内容，消息传递机制揭示了集群系

统中节点间协调工作和数据传输模式的本质，不少人在学习云计算与大数据技术时知其然而不知其所以然的原因就在于不了解集群工作的基本机制。基于消息传递机制高性能计算知识虽然可能在实际中用得不多，但却可以使我们了解集群的基本工作机制。

云计算与大数据技术涉及面很广，本书在编写过程中参考并引用了大量前辈学者的研究成果和论述，对此编者向这些学者表示敬意，没有这些学者的努力本书是不可能完成的。云计算与大数据技术是一门高速发展的技术领域，新技术、新方法、新架构层出不穷，本书也是在不断探索和研究的新学科，由于作者的经验和能力所限，本书的结构、内容肯定存在许多疏漏和错误，望读者指正。

任课老师可以登录人民邮电出版社教材服务与资源网（[www.ptpedu.com.cn](http://www.ptpedu.com.cn)）下载本书的PPT课件、教学大纲及实验相关资源，读者也可以登录本书支持网站 <http://www.qhoa.org> 或发送邮件至 [jssyhuang@163.com](mailto:jssyhuang@163.com) 获取相关支持。

编者

2014年2月

# 目 录 CONTENTS

## 第 1 章 云计算与大数据基础 1

1.1 云计算技术概述	1	1.2.1 大数据简介	5
1.1.1 云计算简介	1	1.2.2 主要的大数据处理系统	8
1.1.2 云计算的特点	2	1.2.3 大数据处理的基本流程	10
1.1.3 云计算技术分类	3	1.3 云计算与大数据的发展	11
1.2 大数据技术概述	5	练习题	17

## 第 2 章 云计算与大数据的相关技术 19

2.1 云计算与大数据	19	2.4.1 从关系型数据库到非关系型数据库	27
2.2 云计算与物联网	21	2.4.2 非关系型数据库的定义	28
2.3 一致性哈希算法	24	2.4.3 非关系型数据库的分类	28
2.3.1 一致性哈希算法的基本原理	24	2.5 集群高速通信标准 InfiniBand	29
2.3.2 一致性哈希算法中计算和存储位置的一致性	25	2.6 云计算大数据集群的自组织特性	30
2.4 非关系型数据库	27	练习题	32

## 第 3 章 虚拟化技术 33

3.1 虚拟化技术简介	33	3.2.3 KVM	39
3.1.1 虚拟化技术的发展	33	3.3 系统虚拟化	40
3.1.2 虚拟化的描述	34	3.3.1 服务器虚拟化	41
3.1.3 虚拟化技术的优势和劣势	35	3.3.2 桌面虚拟化	43
3.1.4 虚拟化技术的分类	36	3.3.3 网络虚拟化	45
3.2 常见虚拟化软件	39	3.4 使用 KVM 构建虚拟机群	46
3.2.1 VirtualBox	39	练习题	48
3.2.2 VMware Workstation	39		

## 第 4 章 集群系统基础 49

4.1 集群系统的基本概念	49	4.6 分布式系统中计算和数据的协作机制	58
4.2 集群系统的分类	51	4.6.1 基于计算切分的分布式计算	58
4.3 单一系统映射	52	4.6.2 基于计算和数据切分的混合型分布式计算技术——网格计算	60
4.4 Beowulf 集群	53	4.6.3 基于数据切分的分布式计算技术	61
4.5 集群文件系统	55	4.6.4 三种分布式系统的分析对比	63
4.5.1 集群文件系统概念	55	练习题	65
4.5.2 典型的集群文件系统 Lustre	56		

## 第5章 MPI——面向计算的高性能集群技术 66

5.1	什么是 MPI	66	5.4.1	最简单的并行程序	73
5.2	MPI 的架构和特点	67	5.4.2	获取进程标志和机器名	76
5.3	MPICH 并行环境的建立	68	5.4.3	有消息传递功能的并行程序	78
5.3.1	配置前的准备工作	68	5.4.4	Monte Carlo 法在并行程序设计中的应用	82
5.3.2	挂载 NFS	68	5.4.5	并行计算中节点间的 Reduce 操作	84
5.3.3	配置 ssh 实现 MPI 节点间用户的无密码访问	69	5.4.6	用 MPI 的 6 个基本函数实现 Reduce 函数功能	87
5.3.4	安装 MPICH2	70	5.4.7	设计 MPI 并行程序时的注意事项	89
5.3.5	建立并行计算环境时的注意事项	72	练习题		90
5.4	MPI 分布式程序设计基础	72			

## 第6章 Hadoop——分布式大数据系统 91

6.1	Hadoop 概述	91	6.5.1	相关准备工作	105
6.2	HDFS	92	6.5.2	JDK 的安装配置	105
6.2.1	HDFS 文件系统的原型 GFS	92	6.5.3	下载、解压 Hadoop, 配置 Hadoop 环境变量	106
6.2.2	HDFS 文件的基本结构	94	6.5.4	修改 Hadoop 配置文件	107
6.2.3	HDFS 的存储过程	95	6.5.5	将配置好的 Hadoop 文件复制到其他节点	108
6.3	MapReduce 编程框架	96	6.5.6	启动、停止 Hadoop	108
6.3.1	MapReduce 的发展历史	96	6.5.7	在 Hadoop 系统上运行测试程序 WordCount	109
6.3.2	MapReduce 的基本工作过程	96	练习题		111
6.3.3	LISP 中的 MapReduce	99			
6.3.4	MapReduce 的特点	100			
6.4	实现 Map/Reduce 的 C 语言实例	101			
6.5	建立 Hadoop 开发环境	104			

## 第7章 HPCC——面向数据的高性能计算集群系统 112

7.1	HPCC 简介	113	7.6	ECL 语言基础知识	126
7.2	HPCC 的系统架构	115	7.6.1	ECL 语言的保留关键字	127
7.3	HPCC 平台数据检索任务的执行过程	117	7.6.2	ECL 语言的记录定义和操作	128
7.4	HPCC 的安装部署	118	7.6.3	ECL 语言集成开发环境	129
7.5	数据的加载、切分和分发	123	7.7	ECL 语言编程实例	130
			7.7.1	声明数据文件中的记录结构	130

7.7.2 读取数据文件生成数据集	131	7.7.6 发布数据	135
7.7.3 统计记录条数	131	7.7.7 HPCC 中的 WordCount 操作	137
7.7.4 将数据集中的小写字母改为大写	132	练习题	139
7.7.5 建立索引实现对数据集的检索	133		

## 第 8 章 Storm——基于拓扑的流数据实时计算系统 141

8.1 Storm 简介	141	8.3.2 Storm 的设置	146
8.2 Storm 原理及其体系结构	142	8.3.3 Storm 的启动	147
8.2.1 Storm 编程模型原理	142	8.4 Storm 使用实例	148
8.2.2 Storm 体系结构	143	8.4.1 使用 Maven 管理 storm-starter	148
8.3 搭建 Storm 开发环境	144	8.4.2 WordCountTopology 实例分析	150
8.3.1 Storm 的安装步骤	144	练习题	154

## 第 9 章 服务器与数据中心 155

9.1 数据中心的发展历史	155	9.4 数据中心的能耗	161
9.2 数据中心的基本单元——服务器	159	练习题	163
9.3 数据中心选址	161		

## 第 10 章 云计算大数据仿真技术 164

10.1 用参数定义物理设备进行仿真	164	10.2.3 CloudSim 的使用模型场景	169
10.2 云计算仿真系统——CloudSim	165	10.2.4 CloudSim 使用实例	170
10.2.1 CloudSim 基础	165	10.3 云计算系统相空间模型	176
10.2.2 CloudSim 体系结构	167	练习题	178

## 参考文献 179



## 1.1 云计算技术概述

### 1.1.1 云计算简介

云计算技术是硬件技术和网络技术发展到一定阶段而出现的一种新的技术模型,通常技术人员在绘制系统结构图时用一朵云的符号来表示网络,云计算这个奇怪的名字就是因此而得名的。云计算并不是对某一项独立技术的称呼,而是对实现云计算模式所需要的所有技术的总称。云计算技术的内容很多,包括分布式计算技术、虚拟化技术、网络技术、服务器技术、数据中心技术、云计算平台技术、存储技术等。从广义上说,云计算技术几乎包括了当前信息技术中的绝大部分。

维基百科中对云计算的定义为:云计算是一种基于互联网的计算方式,通过这种方式,共享的软硬件资源和信息可以按需求提供给计算机和其他设备。

2012年的国务院政府工作报告将云计算作为国家战略性新兴产业给出了定义:云计算是基于互联网的服务的增加、使用和交付模式,通常涉及通过互联网来提供动态、易扩展且经常是虚拟化的资源。云计算是传统计算机和网络技术发展融合的产物,它意味着计算能力也可作为一种商品通过互联网进行流通。

对于以上的定义我们可以将云计算从非技术的角度理解为一种通过网络的资源整合输出模式,只要是为了达到资源整合输出这个目的的技术都可以被称为云计算技术。从定义中也可以看出网络在云计算技术中的重要性,如果没有网络的高速发展,则云计算这种模式是无法实现的。

云计算技术的出现改变了信息产业传统的格局。传统的信息产业企业既是资源的整合者又是资源的使用者,这就像一个电视机企业既要生产电视机还要生产发电机一样,这种格局并不符合现代产业分工高度专业化的需求,同时也不符合企业需要灵敏地适应客户的需要。传统的计算资源和存储资源大小通常是相对固定的,面对客户高波动性的需求时会非常不敏捷,企业的计算和存储资源要么是被浪费,要么是面对客户峰值需求时力不从心。云计算技术使资源与用户需求之间是一种弹性化的关系,资源的使用者和资源的整合者并不是一个企业,资源的使

用户只需要对资源按需付费,从而敏捷地响应客户不断变化的资源需求,这一方法降低了资源使用者的成本,提高了资源的利用效率。

在云计算时代基本的3种角色为:资源的整合运营者、资源的使用者、终端客户。资源的整合运营者就像是发电厂负责资源的整合输出,资源的使用者负责将资源转变为满足客户需求的各种应用,终端客户为资源的最终消费者。

云计算这种新的模式的出现被认为是信息产业的一大变革,从而吸引了大量企业的注意力。国际巨头IBM、微软、谷歌、DELL等企业都在云计算领域进行了全面的布局,变革之时正是机会出现的时候,云计算的出现更是给国内企业一次重新布局的机会,可以看到国内的华为、中兴、腾讯、阿里、联想、浪潮、五舟等企业都相继提出自己的云计算战略规划,并在云计算技术和市场都进行了全面的布局。

云计算技术作为一项涵盖面广且对产业影响深远的技术,未来将逐步渗透到信息产业和其他产业的方方面面,并将深刻改变产业的结构模式、技术模式 and 产品销售模式,进而深刻影响人们的生活。云计算会逐步成为人们生活中必不可少的技术。同时移动互联网的出现使云计算应用走向了人们的指间,推动了云计算技术的应用发展,今后云计算将是一项随时、随地、随身为我们提供服务的技术。云计算的出现也将如电的出现一般,为信息产业的发展提供无限的想象空间,使应用的创新能力得到完全释放。

### 1.1.2 云计算的特点

为了解云计算这个概念,只了解一个简单的定义是不够的,我们还需要利用云计算技术的特点来判断一个技术是否是云计算技术。与传统的资源提供方向相比,云计算具有以下特点。

#### (1) 资源池弹性可扩张。

云计算系统的一个重要特征就是资源的集中管理和输出,这就是所谓的资源池。从资源低效率的分散使用到资源高效的集约化使用正是云计算的基本特征之一。分散的资源使用方法造成了资源的极大浪费,现在每个人都可能有一到两台自己的计算机,但对这种资源的利用率却非常的低,计算机在大量时间都是在等待状态或是在处理文字数据等低负荷的任务。资源集中起来后资源的利用效率会大大地提高,随着资源需求的不断提高,资源池的弹性化扩张能力成为云计算系统的一个基本要求,云计算系统只有具备了资源的弹性化扩张能力才能有效地应对不断增长的资源需求。大多数云计算系统都能较为方便地实现新资源的加入。

#### (2) 按需提供资源服务。

云计算系统带给客户最重要的好处就是敏捷地适应用户对资源不断变化的需求,云计算系统实现按需向用户提供资源能大大节省用户的硬件资源开支,用户不用自己购买并维护大量固定的硬件资源,只需向自己实际消费的资源量来付费。按需提供资源服务使应用开发者在逻辑上可以认为资源池的大小是不受限制的,这就使应用软件的开发者拥有了更大的想象空间和创新空间,更多的有趣应用将在云计算时代被创造出来,应用开发者的主要精力只需要集中在自己的应用上。

### (3) 虚拟化。

现有的云计算平台的重要特点是利用软件来实现硬件资源的虚拟化管理、调度及应用。通过虚拟平台用户使用网络资源、计算资源、数据库资源、硬件资源、存储资源等，与在自己的本地计算机上使用的感觉是一样的，相当于是在操作自己的计算机，而在云计算中利用虚拟化技术可大大降低维护成本和提高资源的利用率。

### (4) 网络化的资源接入。

从最终用户的角度看，基于云计算系统的应用服务通常都是通过网络来提供的，应用开发者将云计算中心的计算、存储等资源封装为不同的应用后往往会通过网络提供给最终的用户。云计算技术必须实现资源的网络化接入才能有效地向应用开发者和最终用户提供资源服务。这就像有了发电厂必须还要有输电线才能将电传送给用户。所以网络技术的发展是推动云计算技术出现的首要动力。目前一些企业将网络化的软件和硬件都称为云计算，就是因为网络化的资源接入方式是从最终用户角度能看到的云计算的重要特征之一，这些产品的称呼不一定准确但却是对云计算特征的反映。

### (5) 高可靠性和安全性。

用户数据存储在服务器端，而应用程序在服务器端运行，计算由服务器端来处理。所有的服务分布在不同的服务器上，如果什么地方（节点）出问题就在什么地方终止它，另外再启动一个程序或节点，即自动处理失败节点，从而保证了应用和计算的正常进行。

数据被复制到多个服务器节点上有多个副本（备份），存储在云里的数据即使遇到意外删除或硬件崩溃也不会受到影响。

## 1.1.3 云计算技术分类

目前已出现的云计算技术种类非常多，对于云计算的分类可以有多种角度。从技术路线角度可以分为资源整合型云计算和资源切分型云计算；从服务对象角度可以分为公有云和私有云；按资源封装的层次可以分为基础设施即服务（Infrastructure as a Service, IaaS）、平台即服务（Platform as a Service, PaaS）和软件即服务（Software as a Service, SaaS）。

### 1. 按技术路线分类

**资源整合型云计算：**这种类型的云计算系统在技术实现方面大多体现为集群架构，通过将大量节点的计算资源和存储资源整合后输出。这类系统通常能实现跨节点弹性化的资源池构建，核心技术为分布式计算和存储技术。MPI、Hadoop、HPCC、Storm 等都可以被分类为资源整合型云计算系统。

**资源切分型云计算：**这种类型最为典型的的就是虚拟化系统，这类云计算系统通过系统虚拟化实现对单个服务器资源的弹性化切分，从而有效地利用服务器资源，其核心技术为虚拟化技术，这种技术的优点是用户的系统可以不做任何改变接入采用虚拟化技术的云系统，是目前应用较为广泛的技术，特别是在桌面云计算技术上应用得较为成功，缺点是跨节点的资源整合代价较大。KVM、VMware 都是这类技术的代表。

## 2. 按服务对象分类

**公有云：**指服务对象是面向公众的云计算服务，公有云对云计算系统的稳定性、安全性和并发服务能力有更高的要求。

**私有云：**指主要服务于某一组织内部的云计算服务，其服务并不向公众开放，如企业、政府内部的云服务。

公有云与私有云的界限并不是特别清晰，有时服务于一个地区和团体的云也被称为公有云。所以这种云计算分类方法并不是一种准确的分类方法，主要是在商业领域的一种称呼。

## 3. 按资源封装的层次分类

**基础设施即服务（Infrastructure as a Service, IaaS）：**把单纯的计算和存储资源不经封装地直接通过网络以服务的形式提供的用户使用。这类云计算服务用户的自主性较大，就像是发电厂将发的电直接送出去一样。这类云服务的对象往往是具有专业知识能力的资源使用者，传统数据中心的主机租用等可能作为 IaaS 的典型代表。

**平台即服务（Platform as a Service, PaaS）：**计算和存储资源经封装后，以某种接口和协议的形式提供给用户调用，资源的使用者不再直接面对底层资源。平台即服务需要平台软件的支撑，可以认为是从资源到应用软件的一个中间件，通过这类中间件可以大大减小应用软件开发时的技术难度。这类云服务的对象往往是云计算应用软件的开发者，平台软件的开发需要使用者具有一定的技术能力。

**软件即服务（Software as a Service, SaaS）：**将计算和存储资源封装为用户可以直接使用的应用并通过网络提供给用户，SaaS 面向的服务对象为最终用户，用户只是对软件功能进行使用，无需了解任何云计算系统的内部结构，也不需要用户具有专业的技术开发能力。

如图 1.1 所示，云计算系统按资源封装的层次分为 IaaS、PaaS、SaaS，分别为对底层硬件资源不同级别的封装，从而实现将资源转变为服务的目的。传统的信息系统资源的使用者通常是以直接占有物理硬件资源的形式来使用资源的，而云计算系统通过 IaaS、PaaS、SaaS 等不同层次的封装将物理硬件资源封装后，以服务的形式利用网络提供给资源的使用者。在这里资源的使用者可能是资源的二次加工者，也可能是最终应用软件的使用者，通常 IaaS、PaaS 层面向的资源使用者往往是资源的二次加工者，这类资源的使用者并不是资源的最终消费者，他们将资源转变为应用服务程序后以 SaaS 的形式提供给资源的最终消费者。实现对物理资源封装的技术并不是惟一的，目前不少的软件都能实现，甚至有的系统只有 SaaS 层，并没有进行逐层的封装。

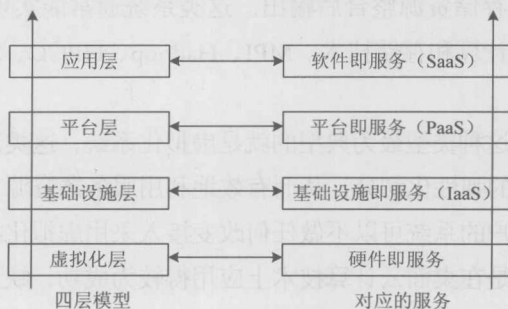


图 1.1 云计算服务体系结构

云计算的服务层次是根据服务类型即服务集合来划分,与大家熟悉的计算机网络体系结构中层次的划分不同。在计算机网络中每个层次都实现一定的功能,层与层之间有一定关联。而云计算体系结构中的层次是可以分割的,即某一层次可以单独完成一项用户的请求而不需要其他层次为其提供必要的服务和支持。

在云计算服务体系结构中各层次与相关云产品对应。

应用层对应 SaaS 软件即服务如: Google APPS、SoftWare+Services。

平台层对应 PaaS 平台即服务如: IBM IT Factory、Google APPEngine、Force.com。

基础设施层对应 IaaS 基础设施即服务如: Amazo EC2、IBM Blue Cloud、Sun Grid。

虚拟化层对应硬件即服务结合 PaaS 提供硬件服务,包括服务器集群及硬件检测等服务。

## 1.2 大数据技术概述

### 1.2.1 大数据简介

计算和数据是信息产业不变的主题,在信息和网络技术迅速发展的推动下,人们的感知、计算、仿真、模拟、传播等活动产生了大量的数据,数据的产生不受时间、地点的限制,大数据的概念逐渐形成,大数据涵盖了计算和数据两大主题,是产业界和学术界的热点,被誉为未来十年的革命性技术。

2008年,《Nature》杂志推出了“大数据”专辑,引发了学术界和产业界的关注;2011年,大数据应用进入我国并快速发展,目前大数据的应用和研究已经是学术界和产业界的热点;2012年3月,美国政府发布《大数据研究和发展倡议》,投资2亿美元发展大数据,用以强化国土安全、转变教育学习模式、加速科学和工程领域的创新速度和水平;2012年7月,日本提出以电子政府、电子医疗、防灾等为中心制定新ICT(信息通信技术)战略,发布“新ICT计划”,重点关注大数据研究和应用;2013年1月,英国政府宣布将在对地观测、医疗卫生等大数据和节能计算技术方面投资1.89亿英镑;2013年我国上海、重庆等地相继发布大数据行动计划。

#### 1. 什么是大数据

大数据是一个比较抽象的概念,维基百科将大数据描述为:大数据是现有数据库管理工具和传统数据处理应用很难处理的大型、复杂的数据集,大数据的挑战包括采集、存储、搜索、共享、传输、分析和可视化等。

大数据的“大”是一个动态的概念,以前10GB的数据是个天文数字;而现在,在地球、物理、基因、空间科学等领域,TB级的数据集已经很普遍。大数据系统需要满足以下三个特性。

- (1) 规模性 (Volume): 需要采集、处理、传输的数据容量大;
- (2) 多样性 (Variety): 数据的种类多、复杂性高;

(3) 高速性 (Velocity)：数据需要频繁地采集、处理并输出。

## 2. 数据的来源

大数据的数据来源很多，主要有信息管理系统、网络信息系统、物联网系统、科学实验系统等，其数据类型包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据。

(1) 管理信息系统：企业内部使用的信息系统，包括办公自动化系统、业务管理系统等，是常见的数据产生方式。管理信息系统主要通过用户输入和系统的二次加工的方式生成数据，其产生的数据大多为结构化数据，存储在数据库中。

(2) 网络信息系统：基于网络运行的信息系统是大数据产生的重要方式，电子商务系统、社交网络、社交媒体、搜索引擎等都是常见的网络信息系统，网络信息系统产生的大数据多为半结构化或无结构化的数据，网络信息系统与管理信息系统的区别在于管理信息系统是内部使用的，不接入外部的公共网络。

(3) 物联网系统：通过传感器获取外界的物理、化学、生物等数据信息。

(4) 科学实验系统：主要用于学术科学研究，其环境是预先设定的，数据既可以是由真实实验产生的也可以通过模拟方式获取仿真的。

## 3. 生产数据的三个阶段

数据库技术诞生以来，人们生产数据的方式经过了三个主要的发展阶段。

(1) 被动式生成数据：数据库技术使得数据的保存和管理变得简单，业务系统在运行时产生的数据直接保存数据库中，这个时候数据的产生是被动的，数据是随着业务系统的运行产生的。

(2) 主动式生成数据：互联网的诞生尤其是 Web 2.0、移动互联网的发展大大加速了数据的产生，人们可以随时随地通过手机等移动终端随时随地地生成数据，人们开始主动地生成数据。据统计，在 1min 的时间内，新浪平均有 2 万条微博产生，苹果商店平均有 4.7 万次应用下载，淘宝平均有 6 万件商品交易记录，百度大约产生了 90 万次的搜索查询，数据的生成大大加速。

(3) 感知式生成数据：感知技术尤其是物联网的发展促进了数据生成方式发生了根本性的变化，遍布在城市各个角落的摄像头等数据采集设备源源不断地自动采集、生成数据。

## 4. 大数据的特点

在大数据的背景下，数据的采集、分析、处理与传统方式有很大的不同。

(1) 数据产生方式：在大数据时代，数据的产生方式发生了巨大的变化，数据的采集方式由以往的被动采集数据转变为主动生成数据。

(2) 数据采集密度：以往我们进行数据采集时的采样密度较低，获得的采样数据有限；在大数据时代，有了大数据处理平台的支撑，我们可以对需要分析的事件的数据进行更加密集地采样，从而精确地获取事件的全局数据。

(3) 数据源：以往我们多从各个单一的数据源获取数据，获取的数据较为孤立，不同数据源之间的数据整合难度较大；在大数据时代，我们可以通过分布式计算、分布式文件系统、分布式数据库等技术对多个数据源获取的数据进行整合处理。

(4) 数据处理方式: 以往我们对数据的处理大多采用离线处理的方式, 对已经生成的数据集中进行分析处理, 不对实时产生的数据进行分析; 在大数据时代, 我们可以根据应用的实际需求对数据采取灵活的处理方式, 对于较大的数据源、响应时间要求低的应用可以采取批处理的方式进行集中计算, 而对于响应时间要求高的实时数据处理则采用流处理的方式进行实时计算, 并且可以通过对历史数据的分析进行预测分析。

大数据需要处理的数据大小通常达到 PB (1024 TB) 或 EB (1024 PB) 级, 数据的类型多种多样, 包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据。巨大的数据量和种类繁多的数据类型给大数据系统的存储和计算带来很大挑战, 单节点的存储容量和计算能力成为瓶颈。

分布式系统是对大数据进行处理的基本方法, 分布式系统将数据切分后存储到多个节点上, 并在多个节点上发起计算, 解决单节点的存储和计算瓶颈。常见的数据切分的方法有随机方法、哈希方法和区间方法, 随机方法将数据随机分布到不同的节点, 哈希方法根据数据的某一行或者某一列的哈希值将数据分布到不同的节点, 区间方法将不同的数据按照不同区间分布到不同节点。

### 5. 大数据的应用领域

大数据在社会生活的各个领域得到广泛的应用, 如科学计算、金融、社交网络、移动数据、物联网、网页数据、多媒体等, 不同领域的大数据应用具有不同的特点, 其对响应时间、系统稳定性、计算精确性的要求各不相同, 其对比如表 1.1 所示。

表 1.1 典型的大数据应用特征对比

应用领域	示例	用户数量	响应时延	数据量级	稳定性	精确度
科学计算	基因计算	小	长	TB	一般	非常高
金融	股票交易	大	实时	GB	非常高	非常高
社交网络	Facebook	非常大	快速	PB	高	高
移动数据	移动终端	非常大	快速	TB	高	高
物联网	传感网	大	快速	TB	高	高
网页数据	新闻网站	非常大	快速	GB	高	高
多媒体	视频网站	非常大	快速	GB	高	一般

## 1.2.2 主要的大数据处理系统

大数据处理的数据源类型多种多样，如结构化数据、半结构化数据、非结构化数据，数据处理的需求各不相同，有些场合需要对海量已有数据进行批量处理，有些场合需要对大量的实时生成的数据进行实时处理，有些场合需要在进行数据分析时进行反复迭代计算，有些场合需要对图数据进行分析计算。目前主要的大数据处理系统有数据查询分析计算系统、批处理系统、流式计算系统、迭代计算系统、图计算系统和内存计算系统。

### 1. 数据查询分析计算系统

大数据时代，数据查询分析计算系统需要具备对大规模数据进行实时或准实时查询的能力，数据规模的增长已经超出了传统关系型数据库的承载和处理能力。目前主要的数据查询分析计算系统包括 HBase、Hive、Cassandra、Dremel、Shark、Hana 等。

**HBase:** 开源、分布式、面向列的非关系型数据库模型，是 Apache 的 Hadoop 项目的子项目，源于 Google 论文《Bigtable: 一个结构化数据的分布式存储系统》，实现了其中的压缩算法、内存操作和布隆过滤器。HBase 的编程语言为 Java。HBase 的表能够作为 MapReduce 任务的输入和输出，可以通过 Java API 来存取数据。

**Hive:** 基于 Hadoop 的数据仓库工具，用于查询、管理分布式存储中的大数据集，提供完整的 SQL 查询功能，可以将结构化的数据文件映射为一张数据表。Hive 提供了一种 SQL 语言（HiveQL）可以将 SQL 语句转换为 MapReduce 任务运行。

**Cassandra:** 开源 NoSQL 数据库系统，最早由 Facebook 开发，并于 2008 年开源，由于其良好的可扩展性，Cassandra 被 Facebook、Twitter、Rackspace、Cisco 等公司使用，其数据模型借鉴了 Amazon 的 Dynamo 和 Google BigTable，是一种流行的分布式结构化数据存储方案。

**Impala:** 由 Cloudera 公司主导开发，是运行在 Hadoop 平台上的开源的大规模并行 SQL 查询引擎。用户可以使用标准的 SQL 接口的工具查询存储在 Hadoop 的 HDFS 和 HBase 中的 PB 级大数据。

**Shark:** Spark 上的数据仓库实现，即 SQL on Spark，与 Hive 相兼容，但处理 Hive QL 的性能比 Hive 快 100 倍。

**Hana:** 由 SAP 公司开发的与数据源无关、软硬件结合、基于内存计算的平台。

### 2. 批处理系统

MapReduce 是被广泛使用的批处理计算模式。MapReduce 对具有简单数据关系、易于划分的大数据采用“分而治之”的并行处理思想，将数据记录的处理分为 Map 和 Reduce 两个简单的抽象操作，提供了一个统一的并行计算框架。批处理系统将复杂的并行计算的实现进行封装，大大降低开发人员的并行程序设计难度。Hadoop 和 Spark 是典型的批处理系统。MapReduce 的批处理模式不支持迭代计算。

**Hadoop:** 目前大数据处理最主流的平台，是 Apache 基金会的开源软件项目，使用 Java 语言开发实现。Hadoop 平台使开发人员无需了解底层的分布式细节，即可开发出分布式程序，在



集群中对大数据进行存储、分析。

**Spark:** 由加州伯克利大学 AMP 实验室开发, 适合用于机器学习、数据挖掘等迭代运算较多的计算任务。Spark 引入了内存计算的概念, 运行 Spark 时服务器可以将中间数据存储在 RAM 内存中, 大大加速数据分析结果的返回速度, 可用于需要互动分析的场景。

### 3. 流式计算系统

流式计算具有很强的实时性, 需要对应用源源不断产生的数据实时进行处理, 使数据不积压、不丢失, 常用于处理电信、电力等行业应用以及互联网行业的访问日志等。Facebook 的 Scribe、Apache 的 Flume、Twitter 的 Storm、Yahoo 的 S4、UCBerkeley 的 Spark Streaming 是常用的流式计算系统。

**Scribe:** Scribe 由 Facebook 开发开源系统, 用于从海量服务器实时收集日志信息, 对日志信息进行实时的统计分析处理, 应用在 Facebook 内部。

**Flume:** Flume 由 Cloudera 公司开发, 其功能与 Scribe 相似, 主要用于实时收集在海量节点上产生的日志信息, 存储到类似于 HDFS 的网络文件系统中, 并根据用户的需求进行相应的数据分析。

**Storm:** 基于拓扑的分布式流数据实时计算系统, 由 BackType 公司 (后被 Twitter 收购) 开发, 现已经开放源代码, 并应用于淘宝、百度、支付宝、Groupon、Facebook 等平台, 是主要的流数据计算平台之一。

**S4:** S4 的全称是 Simple Scalable Streaming System, 是由 Yahoo 开发的通用、分布式、可扩展、部分容错、具备可插拔功能的平台, 其设计目的是根据用户的搜索内容计算得到相应的推荐广告, 现已经开源, 是重要的大数据计算平台。

**Spark Streaming:** 构建在 Spark 上的流数据处理框架, 将流式计算分解成一系列短小的批处理任务进行处理。网站流量统计是 Spark Streaming 的一种典型的使用场景, 这种应用既需要具有实时性, 还需要进行聚合、去重、连接等统计计算操作, 如果使用 Hadoop MapReduce 框架, 则可以很容易地实现统计需求, 但无法保证实时性; 如果使用 Storm 这种流式框架则可以保证实时性, 但实现难度较大; Spark Streaming 可以以准实时的方式方便地实现复杂的统计需求。

### 4. 迭代计算系统

针对 MapReduce 不支持迭代计算的缺陷, 人们对 Hadoop 的 MapReduce 进行了大量改进, Hadoop、iMapReduce、Twister、Spark 是典型的迭代计算系统。

**HaLoop:** HaLoop 是 Hadoop MapReduce 框架的修改版本, 用于支持迭代、递归类型的数据分析任务, 如 PageRank、K-means 等。

**iMapReduce:** 一种基于 MapReduce 的迭代模型, 实现了 MapReduce 的异步迭代。

**Twister:** 基于 Java 的迭代 MapReduce 模型, 上一轮 Reduce 的结果会直接传送到下一轮的 Map。

**Spark:** 基于内存计算的开源集群计算框架。

### 5. 图计算系统

社交网络、网页链接等包含具有复杂关系的图数据, 这些图数据的规模巨大, 可包含数十亿顶点和上百亿条边, 图数据需要由专门的系统进行存储和计算。常用的图计算系统有 Google