



> 华为ICT认证系列丛书

深圳大学
华为技术有限公司 联合创作
深圳云联盟科技有限公司

云计算工程

陈国良 明仲 主编

冯禹洪 白鉴聪 毛斐巧 谢毅 编著



中国工信出版集团

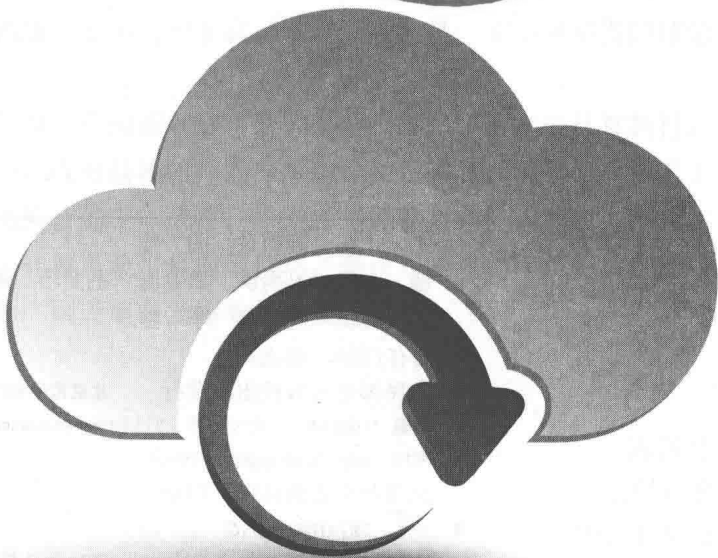


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

云计算工程

陈国良 明仲 主编

冯禹洪 白鉴聪 毛斐巧 谢毅 编著



人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

云计算工程 / 陈国良, 明仲主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2016.3
ISBN 978-7-115-40645-3

I. ①云… II. ①陈… ②明… III. ①计算机网络—软件工程 IV. ①TP311.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第262860号

内 容 提 要

本书从基本理论入手, 依据“硬件—软件—系统”的架构, 对云计算的理论体系和系统架构做了完整的阐述, 并结合华为成熟的系统平台, 对应用场景和系统实操进行了详细描述。全书共分12章, 前10章以云计算基本理论知识为主, 包括云计算概述、云计算硬件架构和云计算软件架构, 重点介绍网络、存储、计算、安全、负载均衡等方面的基本知识、相关软硬件基础设施, 以及计算、存储、网络三方面的虚拟化技术。后2章以云应用和系统实操为主, 以华为基础云计算的三大软件平台作为实例, 详细介绍三大平台的部署、应用和管理的方法技巧。

本书既适合云计算初学者全面了解云计算理论, 也适合云计算从业人员进一步了解云计算应用场景和系统平台实操。本书还可以作为云计算工程应用方向的本专院校教材, 以及从事云计算工作的专业人员的参考书。

-
- ◆ 主 编 陈国良 明 仲
 - 编 著 冯禹洪 白鉴聪 毛斐巧 谢 毅
 - 责任编辑 乔永真 李 静
 - 责任印制 彭志环
 - ◆ 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>
 - 北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 22
 - 字数: 410千字
 - 2016年3月第1版
 - 2016年3月北京第1次印刷
-

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

序

云计算是新一轮信息技术革命的主要推动力，是各国新一轮产业竞争和抢占经济科技制高点的关键，也是我国新一代信息技术产业的代表方向之一。当前，云计算产业蓬勃发展，云服务日益普及，云计算已成为人们使用信息技术的新模式，为人们的生活提供更方便环保的信息服务。随着云计算市场不断扩大，人才需求日益强烈，尤其是技能应用型复合人才已成为需求主体。

诞生于我国改革开放最前沿的深圳大学一直紧抓最新技术发展和新兴产业动脉，致力于培养“视野开阔，注重实际，热衷创新，崇尚竞争”的特色人才。作为全球领先的信息与通信解决方案供应商，同时也是中国十分专业的一站式云计算基础设施供应商，华为一直致力于云计算信息和通信技术的普及，为增加教育机会并培养前沿的信息技术人才贡献自己的能力。

面对当前广阔的云计算发展前景和强烈的人才需求，深圳大学联合华为技术有限公司、中国智慧城市研究院，组织多名经验丰富的老师，编写了本书，为广大的云计算从业人员提供理论知识和系统实操指导。本书的最大特点是从基本理论入手，依据“硬件—软件—系统”的架构，对云计算的理论体系和系统架构做了完整的阐述；并结合华为成熟的系统平台，依据“系统部署—资源管理—桌面接入—应用创建”的技术路线，对应用场景和系统实操进行详细描述。本书内容丰富，条理清晰，是一本不可多得的理论结合实践的云计算教材。

深圳大学和华为技术有限公司、中国智慧城市研究院合作编写了这本云计算教材，合作方都投入了大量的时间精力，既有高校教师的深厚理论知识功底，又有专业技术工程师的丰富实战经验，是产学研结合的丰硕成果。希望本书能够帮助广大读者打下扎实的云计算理论知识基础，掌握云计算系统平台应用技巧，理论与实践相得益彰，进而成为云计算专家人才，在云计算的广阔天地中发挥专长，实现梦想！

陈国良
深圳大学
2015年6月

前 言

本书是深圳大学和华为技术有限公司、中国智慧城市研究院联合编写的一本云计算工程教材。本书理论结合实践，前 10 章对云计算理论进行了详细全面的介绍，后 2 章以华为三大软件平台为实例，介绍了云系统平台的操作原理。初学者可以首先阅读了解云计算发展历史和基本概念，再学习有关硬件架构和软件架构的内容，从而全面掌握云计算理论知识，然后再学习后面的实践内容。有一定云计算基础的技术人员，可先了解华为 FusionCompute、FusionManager、FusionAccess 三大云计算平台的软件架构和运行机制，然后再学习其他内容，从而掌握华为三大云计算平台的系统原理和实用方法，使得技术人员能够从无到有地建立一套完整的云计算系统，为客户按需提供弹性伸缩的云服务。

本书的基本定位是云计算理论与工程实践参考书籍，涵盖了云计算理论知识和华为云计算平台操作，适合以下几类读者：高校学生、云计算从业人员以及对云计算和华为云计算产品感兴趣的爱好者。

首先，对于高校学生来说，本书可作为云计算工程应用方向的本专院校教材，也可作为云计算相关专业方向学生的自学参考书。通过本书学习，可以帮助学生全面深入地了解云计算基础理论，熟悉华为云计算平台操作，理解和掌握云计算技术原理和应用技巧，使学生能更快地积累云计算实践经验，为将来从事云计算工作建立更高更扎实的起点。

其次，对于云计算从业人员来说，本书可作为工具用书，帮助云计算从业人员熟悉华为云计算软件平台，掌握 FusionCompute、FusionManager、FusionAccess 三大平台的部署、配置、管理的能力，提升云计算技术应用能力和云服务平台运维水平，促进企业中的个人价值提高。

最后，对云计算和华为云计算产品感兴趣的爱好者来说，本书可作为学习云计算技术的参考书籍，使爱好者了解华为云计算产品和技术的特點，掌握华为产品和技术的应用，为其进一步的技术研究提供工具和指导。

目 录

第 1 章 云计算概述	0
1.1 云计算的演进	2
1.1.1 技术的发展	2
1.1.2 商业模式的转变	10
1.1.3 需求的驱动	13
1.1.4 小结	14
1.2 云计算的概念	15
1.2.1 系统模型	15
1.2.2 部署模式	16
1.2.3 商业模式	18
1.2.4 实施流派	19
1.3 价值	21
第 2 章 云计算体系结构	24
2.1 云计算愿景	26
2.2 云计算解决方案组合	28
2.2.1 物理资源	29
2.2.2 水平融合	29
2.2.3 垂直融合	30
2.2.4 数据融合	31
2.2.5 接入融合	32
2.2.6 计费管理	33
2.3 体系结构	35
第 3 章 网络设备	38
3.1 网络基础知识	40
3.1.1 网络基本概念	40
3.1.2 数据传输与交换	42
3.2 VLAN 技术原理	49
3.2.1 VLAN 基本概念	49
3.2.2 VLAN 的网络功能	54
3.3 IP QoS 技术	60
3.3.1 IP QoS 的概念	60
3.3.2 IP QoS 服务模型	62
3.3.3 IP QoS 技术实现	63
3.4 堆叠和集群	71
3.4.1 堆叠概念	71
3.4.2 集群的使用	74

3.4.3 堆叠和集群的应用	75
第4章 存储设备	78
4.1 存储基础知识	80
4.1.1 直连式存储	81
4.1.2 存储区域网络	82
4.1.3 网络接入存储	83
4.1.4 DAS/SAN/NAS 存储模型的比较	84
4.1.5 存储接口技术	85
4.2 冗余磁盘阵列	87
4.2.1 RAID 概述	87
4.2.2 RAID 种类	88
4.2.3 RAID 原理	89
4.2.4 RAID 级别	92
4.2.5 RAID 数据保护	99
4.2.6 RAID 与 LUN	101
4.2.7 云计算和大数据时代 RAID 的发展趋势	102
4.3 多路径技术	103
4.4 快照技术	105
第5章 计算与辅助设备	108
5.1 计算设备	110
5.1.1 设备介绍	110
5.1.2 主要组件	111
5.1.3 计算系统	111
5.1.4 交换系统	112
5.1.5 管理与机电系统	113
5.1.6 功能配置	113
5.2 桌面云的计算设备	115
5.2.1 解决方案	115
5.2.2 逻辑架构	116
5.2.3 硬件架构	117
5.2.4 部署方案	118
5.2.5 应用场景	119
5.3 计算应用案例	120
5.3.1 云计算	120
5.3.2 传统 IT 应用	121
5.3.3 Hadoop	122
5.3.4 高性能计算	123
5.4 安全设备	124
5.4.1 安全架构	124
5.4.2 设备介绍	127
5.4.3 主要组件	128
5.4.4 功能配置	129
5.4.5 桌面云安全	130

5.5 负载均衡设备	131
5.5.1 负载均衡算法	131
5.5.2 设备介绍	132
5.5.3 主要组件	133
5.5.4 功能配置	133
第6章 虚拟化	136
6.1 虚拟化概述	138
6.1.1 虚拟机结构	139
6.1.2 虚拟化特征	139
6.1.3 虚拟化分类	140
6.2 虚拟化技术	142
6.2.1 计算虚拟化	142
6.2.2 存储虚拟化	145
6.2.3 网络虚拟化	147
6.3 虚拟化平台参考案例	149
6.3.1 云计算整体架构	149
6.3.2 虚拟化平台架构	150
6.3.3 平台部署	153
6.3.4 虚拟化应用	155
6.4 本章总结	158
第7章 资源管理	160
7.1 概述	162
7.2 资源管理技术	164
7.2.1 计算资源管理	164
7.2.2 存储资源管理	174
7.2.3 网络资源管理	176
7.3 资源分配调度	180
7.3.1 云计算环境下的 QoS	180
7.3.2 资源提供与分配模式	181
7.3.3 资源分配策略	181
7.3.4 调度算法	183
7.4 云管理平台参考案例	185
7.4.1 系统架构	186
7.4.2 平台部署	188
7.4.3 资源管理应用	189
第8章 服务交付	196
8.1 桌面接入	198
8.1.1 虚拟桌面类型	198
8.1.2 桌面分配方式	200
8.2 应用自动化	200
8.3 多租户管理	204
8.3.1 多租户架构	204

8.3.2 多租户数据	205
8.3.3 隔离控制	206
8.4 计费管理	209
8.4.1 计费方式	209
8.4.2 计费模式	210
8.5 云接入平台参考架构	211
8.5.1 系统架构	212
8.5.2 平台部署	216
8.5.3 三个平台的关系	218
第9章 服务质量管理	220
9.1 统一管理	222
9.1.1 现状与问题	222
9.1.2 统一管理	223
9.1.3 系统架构	223
9.2 服务可靠性	224
9.3 系统可靠性指标	225
9.3.1 原则与依据	225
9.3.2 面向云服务的系统可靠性指标体系	226
9.3.3 面向云系统结构的系统可靠性指标体系	227
9.3.4 云服务可靠性指标矩阵	227
9.4 云服务系统可靠性模型	228
9.4.1 串联可靠性模型	228
9.4.2 并联可靠性模型	229
9.4.3 混联可靠性模型	229
9.4.4 可靠性与集群规模	229
9.4.5 可靠性与使用时间	230
9.5 系统服务等级协议	231
9.6 系统架构的可靠性	231
9.6.1 计算方法	231
9.6.2 准入控制	232
9.6.3 组件冗余机制	233
9.6.4 负载均衡策略	236
9.6.5 无干扰故障恢复	237
9.7 虚拟机的可靠性	238
9.7.1 计算方法	238
9.7.2 迁移容错	239
9.7.3 容灾备份恢复	243
第10章 云数据中心迁移服务及工具	244
10.1 数据中心迁移服务	246
10.1.1 数据中心迁移服务概述	246
10.1.2 迁移方法	249
10.2 现状评估及工具	251
10.2.1 信息采集及工具	251

10.2.2 现状评估	256
10.3 规划设计及工具	264
10.3.1 制定迁移策略	264
10.3.2 容量规划	266
10.3.3 其他规划与设计	273
10.4 业务迁移实施及工具	276
10.4.1 迁移实施步骤及案例	276
10.4.2 Rainbow HConvertor 工具	282
10.5 本章总结	284
第 11 章 “十万桌面云”项目	286
11.1 业务背景	288
11.2 项目建设愿景与实施过程概况	289
11.3 需求分析	290
11.4 方案设计	293
11.4.1 总体设计原则	293
11.4.2 容量规划及设备选型	293
11.4.3 网络设计	300
11.4.4 安全性设计	304
11.5 项目实施过程	306
11.6 桌面云运维	307
11.6.1 运维规范化	308
11.6.2 安全运维	309
11.6.3 日常运维自助化	310
11.6.4 系统持续优化	311
11.7 总结	312
第 12 章 “智居云”项目	314
12.1 智居云科技	316
12.1.1 智能家居	316
12.1.2 核心价值	317
12.1.3 产品与服务	318
12.2 阿里云服务	319
12.2.1 地域选择	320
12.2.2 系统选择	320
12.2.3 选择配置	320
12.2.4 云安全服务	322
12.3 云服务实战	324
12.3.1 申请实例	324
12.3.2 实例操作	326
12.4 云计算对创业团队的好处	330
12.4.1 节约成本	330
12.4.2 安全可靠	331
参考文献	334
致谢	338

第1章 云计算概述

1.1 云计算的演进

1.2 云计算的概念

1.3 价值

根据美国国家标准与技术研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 的定义, 云计算是一种计算模型, 允许无处不在地、方便地、按需地通过网络访问共享可配置计算资源, 如网络、服务器、存储、应用和服务等, 这些资源以服务形式快速供应和发布, 使相应的软硬件资源的管理代价或服务提供商的互动降低到最小。云计算由著名搜索引擎服务提供商 Google 在 2006 年率先提出之后, 其发展可用“风起云涌”来概括。随着各类云计算服务的不断完善, 云计算正在军事、政务、医疗、教育、电力、通信等领域深入应用, 潜移默化中深刻地改善着我们的工作或生活方式, 成为全球信息技术第三次革命浪潮的颠覆性推动力量。

1.1 云计算的演进

云计算通过互联网以服务的方式提供动态可伸缩的虚拟化资源。技术的发展、商业模式的转变以及需求的驱动是云计算产生和迅猛发展的三大基石。首先, 从技术角度来讲, 云计算是并行分布式计算技术理念的自然延伸。与传统的集群计算、网格计算和超级计算相比, 云计算通过集中式虚拟化计算、软件及数据等服务, 使信息化系统从用户中分离出来, 由专业的服务商提供, 降低用户应用门槛。其次, 从商业模式来看, 它利用高速互联网的传输能力, 将数据的处理从个人计算机或服务器转移到大型的计算中心进行, 然后将计算能力和存储能力当作服务来提供, 并按使用量进行计费, 如同大家熟知的电力、自来水的使用一样, 同时提高用户和服务提供商的经济效益。最后, 各企事业单位信息系统数据量每年成倍数地在快速增长, 因此带来上百万元乃至千万元的软硬件投资。合理使用资源、降低运营成本等社会日益增长的需求与成熟的技术、新的商业模式共同导致云计算的产生和迅猛发展。这将打破传统 IT 产业布局, 开辟一个崭新的充满机遇的市场。

1.1.1 技术的发展

云计算环境是计算与存储并存的网络环境, 上面承载云平台和云服务。其中, 云平台是支撑海量信息处理的服务器和存储系统。而云服务提供多种多样的应用软件、业务和服务, 如社区、搜索和商务等。用户通过各种终端和网络接入与使用云服务。因此, 云计算的发展首先是被信息通信技术的形成、发展、融合以及相关标准的快速发展所推动的。

一、通信技术的发展

通信技术 (Communication Technology, CT) 是将信息从一个地点传送到另一个地点所采取的方法和措施的总称。一般来说, 通信技术的发展历程可以划分为 4 个阶段: 技术准备阶段、内容服务阶段、Web 2.0 阶段以及移动互联阶段。

第一阶段, 从 1876 年到 1989 年的技术准备阶段。众所周知, 早在 1876 年, 亚历山大·贝尔发出世界上第一条电话信息, 揭开人类历史上以有线电话为主的远程通信时代。1901 年, 伽利尔摩·马可尼在英国与纽芬兰之间 (3 540km) 实现横跨大西洋的无线电通信, 使无线电达到实用阶段。至 1963 年, 利克里德尔 (J.C.R Licklider, 1915~

1990)提出了星际计算机网络(Intergalactic Computer Network),预见所有机器将构成网络,人能同时与所有计算机互动并获得超越性的信息处理能力。这是最早的全球计算机互联网络的构思。1969年,作为现代互联网前身的阿帕网(ARPANET)诞生,该事件入选2009年外国媒体评IT历史十大里程碑之一。而阿帕网诞生的原因,根据时任ARPANET高等研究计划署主任Charles Herzfeld的解释,是因为当时只有数量非常有限的、能力强大的大型计算机用于科研,而分布在美国各地的很多研究人员要访问这些资源非常不方便。无论是设计的初衷、提出的概念、还是实现都与现在的云计算中的“云”如出一辙。1978年,传输控制协议/互联网互联协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP)得到了标准化认可。TCP/IP定义了电子设备如何连入互联网,以及数据如何在它们之间传输的标准,成为互联网最基本的协议。1986年,第一条骨干TCP/IP线路——美国国家科学网(NSFNet)——建成,NSFNet的网络速率为56Kbit/s,连接6个科研教育服务的超级计算机中心,使得相关研究人员能够共享研究成果并查找信息。1989年,欧洲核研究组织(CERN)开放第一条外部数据通道并提出万维网原型。

第二阶段,从1990年到1999年的内容服务阶段,此阶段的特点是网络即内容,通过HTML提供各种消息服务,如1990年的Archie、1994年的Yahoo、1996年的Sohu、1998年的Sina等。同期我们也见证了1997年到2000年的互联网泡沫,如1999年亿唐网由5个哈佛MBA毕业生和2个芝加哥大学MBA毕业生组成的“梦幻团队”创建,融资5000万美元,却由于定位混乱,在贪大求全却毫无特色的内容服务中渐渐全面收缩阵线,经历无数次转移后最终走向失败。

第三阶段,从1999年到现在的Web 2.0阶段。Web 2.0是相对Web 1.0的新的一类互联网应用的统称。Web 1.0的主要特点在于用户通过浏览器获取信息。Web 2.0则更注重用户的交互作用,用户既是网站内容的浏览者,也是网站内容的制造者,即互联网上的每一个用户不再仅仅是互联网的读者,同时也成为互联网的作者。此时,用户参与模式由单纯的“读”向“写”以及“共同建设”发展,用户由被动地接收互联网信息向主动创造互联网信息发展,从而更加人性化。同期还见证了一类特殊的互联网寄存服务即网页寄存(Web hosting)服务的出现与发展。网页寄存提供个人、组织和用户用于存储信息、图像、视频或任何通过网络可访问内容的在线系统。在经历了互联网泡沫的洗礼后,互联网的发展渐入理性。此阶段的特点是网络即平台,网络的主旨在于提高用户体验、参与度、信任度等,如1999年创建的Salesforce.com、携程网、2002年的Amazon Web Services、2003年的淘宝、2004年的Facebook、2005年的人人网。再到后来2006年的Amazon弹性计算云(Elastic Compute Cloud, EC2)平台,2009年的Google App Engine等,这些后来都发展为国内外知名的云计算提供商。

第四阶段,从2007年至今蓬勃发展的移动互联网阶段,其特点除了包含Web2.0的高用户体验、参与度、信任度外,还包含便捷、无处不在等优点。移动通信技术自1980年以来已经经历了第一代(1G)、第二代(2G)、第三代(3G)以及已经进入我们日常生活且日渐普及的第四代(4G)。其中,1G以频分多址制式提供普通模拟电话等话音业务。2G实现语音信息以数字化方式传输,并引入了短信、电子邮件等功能。3G采用蜂窝移动通信技术支持高速数据传输,能够在全局范围内实现无线漫游,并支持图像、音乐、视频流等多种媒体的传输。4G采用全数字全IP技术,支持分组交换。同时,4G可

集成不同模式的无线通信,从无线局域网、蓝牙、蜂窝信号、广播电视到卫星通信,支持移动用户自由地在不同的无线通信网络中无间断地切换。基于这个技术,可实现快速上传现场信息(如监控图像)到相应的数据处理中心,以做出及时准确的决策。4G 对云计算及其相关联产业的发展起到了极大的推动作用,为实现云计算的便携、无处不在的网络接入提供了关键的技术支撑。

二、信息技术的发展

狭义的信息技术(Information Technology, IT)是指利用计算机、网络、广播电视等各种硬件设备、软件工具和科学方法,对文、图、声、像等各种信息进行获取、加工、存储、传输与使用的技术之和。当代信息技术有着广泛的应用领域,如各种各样的内容服务、集成制造、决策支持等。云计算首先是一种信息技术。美国国防部供应商 NJVC 公司在 2014 年父亲节上致谢 6 位云计算之父,其中第一位就是图灵奖得主、美国麻省理工学院科学家约翰·麦卡锡(John McCarthy)博士。早在 1961 年麦卡锡博士就提出:“某天计算可能被组织成为一种公共效用,就像电话系统一样,每个订阅者只为自己实际使用的容量付费,但是他可以接入非常大的系统所提供的所有编程语言的特性……某些用户可能提供服务给其他用户……计算机公共事业可能成为一个新的和重要的产业基础。”这些话预见性地描述了今天如火如荼地发展着的云计算,这在谷歌之前、在互联网诞生之前、甚至在宣告 IBM 大型主机时代开始的 IBMSys/360 正式发布(1964 年)之前。

(一) 相关概念

为方便介绍信息技术的发展历史,这里先介绍几个相关的术语:可伸缩性、集中式管理、分散式管理、封闭信息系统和开放信息系统。

首先,可伸缩性(也称可扩展性)是测量软件系统在线处理能力的一个重要指标,可伸缩性强的系统在应对突发事件时可及时扩展系统以应对更多的资源需求,而在突发事件过后又能及时裁减相应的系统资源用于其他的业务,从而提高了资源的利用率。系统的可伸缩性有两种:纵向扩展(scale-up)和横向扩展(scale-out)。纵向扩展指的是在线给系统的节点动态增加或减少资源,如 CPU 或内存。纵向扩展性好的系统为其所承载的操作系统和应用模块提供更好的资源共享环境以提供更灵活的服务,如动态扩大或缩减当前运行的 Apache 守护进程数等。而横向发展指的是给一个系统添加更多的节点,如将 1 个 Web 服务器扩展为 3 个以提高系统的响应效率。

其次,根据信息管理过程中启动的控制过程数量以及它们运行的资源,信息管理技术可以划分为集中式管理技术和分布式管理技术。当使用集中式管理技术的时候,通常管理过程(或过程组)部署在同一台主机上,其中,过程可以是进程或线程,取决于实现的方式。此时,应用运营和分析数据等任务运行于单个系统中,便于接入、汇总和管理相关信息,有利于提高数据安全性与管理便利性。缺点是同一主机负责所有控制信息的处理,容易导致单点失效和可扩展性差等性能问题。大型机系统通常使用这种管理方式。尽管大型机具有稳定高效的特点,但单机系统不可能做到 100%的稳定。如 2012 年 12 月 15 日,中国银行采用的 IBM 大型机在运行过程中突然宕机,时间长达 4 个小时。无独有偶,2010 年新加坡的星辰银行和 2011 年的美国银行都出现过大型机宕机事件,给相应的金融业务带来严重影响。

当使用分布式管理技术时,大的计算或存储问题被划分为若干个小问题,分散到不同计算资源上并行处理,相应的管理过程有多个,部署在不同的计算资源上,协同完成信息管理任务,最后各运行结果将综合汇总并得到最终结果。此时,业务运营和数据分析等工作由多个计算资源共同承担完成,减轻了单个计算资源的工作负担,并提高了性能。当有某个节点失效时,其上的任务可以迁移到其他正常的节点上继续运行,避免了单点失效的问题。集群技术就是一种典型的分布式计算技术。随着计算机价格的下降和性能的提升,数以百计的低成本普通计算机配置成集群,从而获得更强的计算能力,这往往超过传统单一的以精简指令集为基础的科学计算机。同时,高性能互联技术如 Myrinet 和 InfiniBand 的出现,进一步推动了这种计算模式的普及,现已广泛用于高性能计算应用中,如生物计算和抗震分析等。分布式管理技术很好地提高了系统的横向扩展性,但缺点是多过程协作会带来运行期的额外开销。同时,数据分散在多处,会导致多个数据副本的一致性、访问的安全性等管理上的问题。另外,多源数据的抽取、转换和加载(Extract、Transform and Load, ETL)等操作给数据分析带来更多额外的处理开销。

最后,根据服务供给过程中所涉及的软硬件计算资源的获得和运维等服务是由少数几个指定供应商供应还是大规模公众运营,计算架构可以划分为封闭式系统和开放式系统。封闭式系统包含两类,一类是早期的大型机系统,不对外开放,自己独立运行;另一类是底层基础设施使用大型机等封闭系统,上层解决方案由相应厂商提供的分布式系统。封闭式系统是一种垂直整合资源的服务系统,拥护者一般是拥有良好用户合作关系的科技巨头,如甲骨文、惠普等。这些厂商把自己生产的硬件和软件业务有机合成到相应的服务套装中,并对整体环境进行调优,提供相对可靠和安全的 service。但因所有计算设施均来自单一厂商,用户容易被厂商锁定,打包方案价格偏高。而且,不同厂商系统间兼容性不好,限制了应用的拓展。特别是当有客户中途希望改换服务提供商,相应数据迁移工作难度将很大。

可复用可定制的开放体系结构,是互联网应用共享成功的关键支撑技术之一。开放式体系结构指具有以下特点:①底层网络上各节点间互操作性强;②基础软件和支撑软件可从多方获得;③应用系统的可移植性和可剪裁性强。开放架构需要有开放性的计算基础设施、标准、虚拟化技术和面向服务架构(Service-Oriented Architecture, SOA)等技术的支持。首先,计算基础设施的开放性始于 1978 年 Intel 发布 X86 通用计算机,而这也揭开了计算机的开放生态环境新时代。现代开放式服务器包括基于 Windows、UNIX、Linux 等操作系统的服务器。其次,标准化是实现开放性的基础。国际标准化组织(ISO)早在 1978 年就开始制定开放系统互联(OSI)标准,为分布式系统提供了开放连接的基础。2010 年英特尔帮助创建了一个由 70 多家全球领先企业联合组成的“开放式数据中心联盟”,开发更加开放、更具互操作性的云计算和数据中心解决方案,为如何部署、维护以及优化云计算基础架构,提供经过验证的云构建方案及实际指导。2014 年,华为推出融合云计算解决方案 FusionCloud,实现了异构厂家硬件资源池融合,计算、存储、网络架构融合,以及固定移动融合的云接入。通过整合 OpenStack 开源云平台技术, FusionCloud 可以最大限度地实现云平台的开放性,帮助企业和服务供应商建立和管理各项云服务。另外,虚拟化技术能处理操作系统、中间件和应用的映像,主动预先构建并

分配到正确的物理机等问题。近年来, 虚拟化管理平台如 KVM、Xen、VMware 等都走向开放平台架构, 多个厂家的虚拟机可以在开放的平台架构下并存、协作以提供更丰富的应用。而面向服务架构是一个系统或软件体系结构在进化过程中采用构件化技术和服务供给的使用方式提高资源的可重用性、可扩展性和灵活性。以上这些技术相互支撑使得开放式系统获得比封闭式系统更好的横向扩展能力。同时, 用户可以根据自身的需求和喜好选择服务供应商, 拥有更自由的解决方案。

(二) 螺旋上升过程

正如前面所述, 云计算概念本身不是一个突破性的发明, 其发展历程可以追溯到大型机时代。随着时间的推移, 新的概念、新的能力不断涌现、成长与提升, 信息技术的发展是一个螺旋上升的过程。如图 1-1 所示, 信息技术发展历程大致可以划分为以下几个阶段: 集中封闭式计算、分布开放式计算以及集中开放式计算。

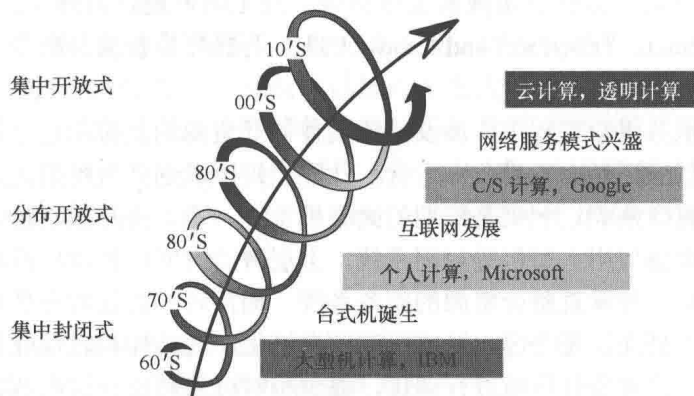


图 1-1 信息技术架构的发展

1. 集中封闭式计算

从 1960 年到 1980 年是集中封闭式计算, 其特征是采用大型主机集中式管理信息系统的所有数据和应用, 多个使用者通过终端机(或个人计算机)与系统互动, 所有数据处理与存储都在主机上完成。该系统的伸缩性局限在纵向扩展上。同时, 大型机上部署的信息系统相应的解决方案也由厂商提供。自 1964 年 IBMsystem/360 正式发布并承载大型应用以来, 大型机很长一段时间都被看作是是企业应用与数据集中处理的平台, 曾支撑了美国阿波罗人类第一次登月计划中相关的复杂计算。直至 2010 年 INFORMATICA 年的技术白皮书报告, 大型机仍然活跃在银行、保险、航空等大型企业的后台数据中心, 承载着相关领域的核心业务。据该报告, 全世界 70%~80% 的这些行业的关键数据依然由大型主机进行管理^[5]。

大型机蓬勃发展期间有两个值得注意的计算模式: 并行计算和效用计算。首先, 并行计算是用多个 CPU 联合求解问题并汇总的计算模式。1966 年, Sperry Rand 公司的 UNIVAC 分部发布了第一台多处理器计算机 UNIVAC 1108, 每台配备了最多 3 个 CPU 及 2 个 I/O 控制器, 其专用的 EXEC 8 操作系统支持多线程的运行, 为并行计算的产生提供了硬件条件。并行计算的产生与发展加速了计算的过程, 使得在有限时间内解决复杂问题成为可能, 如汽车碰撞试验和天气预报等。

其次,效用计算将计算、存储和服务等计算资源包装为计量服务。其特点是允许用低价位甚至是零首付的方式获得计算初始资源,即通过租用的方式按照实际使用情况付费。效用计算的目标是实现IT资源像传统公共实施(如水和电等)一样供应和收费。在20世纪60~70年代,由于大型机价格昂贵,IBM和同期大型机生产商已经实施了这种计算模式,采用分时机制将计算能力、数据存储能力等提供给全球其他大型企业。伴随价格相对低的小型机和PC的出现和普及,这种商业模式逐渐淡出人们的视野。直至90年代后期,这种模式开始复兴。效用计算所提倡的资源按需供应和用户按使用量付费的理念与云计算相符。

2. 分布开放式计算

从1980年到2007年是分布开放式计算技术大量涌现的时期。1971年Kenbak Corporation推出Kenbak-1个人计算机(Personal Computer, PC),标志着第一台可大规模生产的PC产生。PC泛指大小、性能以及价位适合个人使用、相互分离且由用户直接操控的计算机,包括台式机、笔记本、上网本及近年的个人数码助理(Personal Digital Assistant, PDA)、智能手机、可穿戴式电脑等。时至今日,我们看到个人计算机越来越普及和便携,可编程的数字逻辑器件大量嵌入到我们的日常生活中,包括个人计算机、服务器、ATM取款机、自动服务终端、路由器、交换机、MP3播放器、电子游戏机、电视机、DVD/MP3/CD播放机、冰箱、洗衣机等。计算设备的多元化及各种网络接入方式的涌现与迅猛发展改变了人们处理信息的方式、使用的情景及交互的范例,实现了人们随时随地方便地接入、获取、处理或交换信息。

个人计算机的发展和20世纪60年代后期产生的阿帕网共同促进分布式应用的形成。70年代后期到80年代早期,分布式计算作为计算机科学的一个独立学科形成。同期,以X86服务器的诞生为标志,微型计算机开始作为服务器,取代了旧的大型主机。企业信息系统从全封闭的软硬件堆栈架构走向网络、存储、服务器、操作系统、中间件、应用层等多层次水平分工的架构,各层之间接口标准化、规范化,极大地简化了每一层的技术复杂度。

分布式计算隐藏了计算机的分散性和异构性,向用户提供统一的编程接口和常见的服务,如数据管理、远程执行、并行处理、资源管理、服务管理、安全和容错等。从分布式概念提出后的近30年,由于网络和计算两大技术的发展,新概念、新技术的提出,侧重面不同,我们见证了多个分布式计算模式的产生与发展,包括C/S计算(Client/Server, C/S)、对等计算(Peer-to-Peer, P2P)、网格计算(Grid Computing)、Web服务(Web Services)、移动计算(Mobile Computing)、普适计算(Pervasive Computing)和透明计算(Transparent Computing)。各计算模式的定义、系统模型及其特点见表1-1。

基于这些计算的应用系统多采用开放架构,普遍具有以下特点:(1)动态性,参与的节点可以动态地加入和离开计算组织,组织在不同的计算环境中的指向不同,如网络中指的是虚拟组织;(2)异构性,参与的节点多是异构资源,有着不同的计算能力、体系结构和数据表达,如移动计算中的智能手机和笔记本计算机就是异构资源,相应的软件可从不同的供应商获得;(3)可移植性和可剪裁性,异构协作的环境需要应用软件具备可移植性,同时,个性化追求也需要应用软件具备给不同的用户、不同的环境提供恰当服务的功能;(4)互操作性,分布式环境内在的分布特性决定多节点系统的互操作是