

云计算原理与技术

主 编 刘甫迎 杨明广



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

云计算原理与技术

主 编 刘甫迎 杨明广
副主编 刘 焱 党 锐
杜 毅

内 容 简 介

云计算按需提供基于互联网的基础设施、平台、软件即服务,已广范应用于当今数字技术时代。

本书有5篇10章和3个附录。云计算基础篇:云计算概述、云计算的实现机制及流派、与云计算技术;云平台操作、云管理及运营篇:OpenStack云平台;云计算原理及技术流派篇:谷歌、亚马逊、微软云计算及阿里云;开源云计算篇:Hadoop(HDFS、MapReduce、HBase);云计算发展的相关技术篇:容器、容器云、K8s容器编排管理,Spark;附录:教学大纲、实验指导书、试卷。立足云端应用开发和运营,重实践,教学资源丰富。

本书可作为应用型高等学校本科或高职高专、软件学院及培训机构的数据科学与大数据技术、计算机科学与技术、网络工程、物联网工程、软件工程、数字媒体、软件技术、计算机应用等计算机类专业及通信工程类专业的教材,也适合于从事软件开发与应用的人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

云计算原理与技术 / 刘甫迎, 杨明广主编. -- 北京:
北京理工大学出版社, 2021. 11

ISBN 978-7-5763-0733-7

I. ①云… II. ①刘… ②杨… III. ①云计算-高等学校-教材 IV. ①TP393.027

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第248254号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 396千字

版 次 / 2021年11月第1版 2021年11月第1次印刷

定 价 / 88.00元

责任编辑 / 江 立

文案编辑 / 李 硕

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

云计算技术按需提供基于互联网的软件即服务 (SaaS)、平台即服务 (PaaS) 和基础设施即服务 (IaaS), 在信息技术和数字技术领域最新的技术发展趋势中, 云计算技术名列前茅。

随着云计算的兴起, 各种相关书籍纷至沓来。与市面同类教材相比, 本书的主要特点如下。

(1) 以就业和适应产业发展需求为导向, 用云计算行业标准确立本课程的培养任务。本书集云计算原理、技术、开发、应用、云管理、云安全、云运营于大成, 全面介绍了云计算行业需求的关键技术, 突出云端应用开发编程和云管理运营能力的培养, 在系统性和实用性两方面寻求平衡, 为学生获取专业毕业证书和云计算开发工程师等职业资格证书 (即“1+X”证书) 服务。

(2) 理论与实践相结合、育训结合, 突出云计算实践教学。本书向读者推荐业界广泛运用的 OpenStack 开源云平台 (多数云计算教材只介绍云计算仿真器 CloudSim), 本教材附录 B 的云计算 IaaS 实验介绍了 OpenStack 的安装与部署、操作与运维。另外, 还有虚拟化技术实验、云计算 PaaS 和 SaaS 实验 (OpenStack 云主机应用程序的安装及运行使用)、开源云计算 Hadoop (HDFS、MapReduce、HBase) 技术实验, 以及云计算发展的相关技术实验 (Kubernetes 容器编排管理和应用) 等, 实训、实践性教学课时占总课时一半或以上, 培养学生的创新精神与实践能力, 特别适用于应用型本科和高职高专院校。

(3) 介绍了与 Amazon 争雄的, 中国自己的云计算平台阿里云, 相关的内容在其他同类出版物中鲜有涉及。

(4) 渐进式的教学内容模块安排顺序, 便于学习理解, 也便于学校教师和企业专家分模块教学。全书分为五篇, 从“云计算基础篇”了解云计算基本概念, 通过“云平台操作、云管理及运营篇” (第 2 章 OpenStack 开源云平台, 第 3 章云管理、云安全和云运营), 让学生对云平台有一个实操感受, 为培养学生云端管理、维护及运营能力, 培养云安全法规意识 (立德树人的职业素养) 和对后面章节的学习兴趣奠定基础。“云计算原理及技术流派篇” (第 4 章 Google 云计算原理与应用、第 5 章 Amazon 云计算及其弹性云技术、第 6 章微软云计算与软件加服务方式、第 7 章阿里云及其与 Cloud Foundry 的结合) 对云计算原理与技术进行了深入介绍。

(5) 强调教材内容应具有准确性和先进性, 体现新工科现代科学新技术。有的书讲述 Google 云计算时介绍的是 Hadoop, 其实并不准确: Hadoop 不是 Google 产品而是受 Google 云计算理论影响的 Apache 开源项目组 Nutch 的产品, Google 云计算主要应介绍云计算奠基原



理——Google 云计算原理及其 GAE 引擎、应用等。本书纠正了该说法，将 Hadoop 放在了“开源云计算篇”（第 8 章开源云计算——Hadoop）中，主要培养学生的云端应用开发能力。“云计算发展相关技术篇”的容器、容器云和 Kubernetes（K8s）技术以及 Spark 内存计算技术，让学生体会到在云计算、大数据及人工智能时代对新的科学技术学习没有止境。

（6）注重校际联盟，校企合作，企业深度参与协同育人。本书又属于 G12（12 所高校组成的全国部分理工类地方本科院校联盟）课程教材建设项目，充分发挥联盟各高校“双师型”教师（同时具备理论教学和实践教学能力的教师）的教学经验长处，并运用各自合作企业的真实案例进行课程教材建设。本书作者与中科院成都信息技术有限公司等合作，按照行业、企业的需求编著，特别是本书附录部分的“附录 A《云计算原理与技术》教学大纲”体现了企业深度参与、协同育人的成果。

（7）教材信息化建设。本书辅助教学资源丰富，有教学大纲、实验指导书、模拟考试，每章有习题，还有配套电子教案等，便于教学和学生学习。拟打造成立体化在线资源共享课程的教材，为提升为 MOOC 课程做准备。

本书由刘甫迎、杨明广担任主编，刘焱、党锐、杜毅担任副主编。刘甫迎编写第 1 章、附录 A；杨明广编写第 4 章和第 5 章；刘焱编写第 2 章、第 3 章和第 7 章；党锐编写第 8 章、第 9 章和附录 B（除附录 B.4.1 外）；杜毅编写第 6 章、第 10 章、附录 B.4.1 和附录 C；全书由刘甫迎和杨明广统稿。对在编写和出版本书过程中，北京理工大学出版社给予的帮助和付出的辛勤工作表示衷心感谢！

由于作者水平有限，错误难免，请斧正。

编者

云计算基础篇

第1章 绪论	(3)
1.1 云计算概述	(3)
1.1.1 云计算的产生与发展	(3)
1.1.2 云计算的特点	(9)
1.1.3 云计算的架构	(12)
1.1.4 云计算的类型	(19)
1.1.5 云计算的应用、意义及其在大数据时代的展望	(20)
1.2 云计算的实现机制及流派	(22)
1.2.1 分布式集中机制及系统工程理念	(22)
1.2.2 云计算的流派	(23)
1.3 与云计算有关的技术	(24)
1.3.1 分布式计算与并行计算	(25)
1.3.2 集群计算与网格计算	(26)
1.3.3 SOA 技术	(27)
1.3.4 虚拟化技术	(28)
1.3.5 租赁技术	(29)
习题	(30)

云平台操作、云管理及运营篇

第2章 OpenStack 开源云平台	(33)
2.1 OpenStack 概述	(33)

2.1.1	OpenStack 的特点	(33)
2.1.2	OpenStack 的演进	(35)
2.1.3	OpenStack 基金会	(36)
2.1.4	OpenStack 的企业级应用	(37)
2.2	OpenStack 的系统架构及核心组件	(40)
2.2.1	OpenStack 的系统架构	(40)
2.2.2	OpenStack 核心组件的使用	(43)
2.3	OpenStack 云平台实践	(47)
2.3.1	OpenStack 云平台的界面组成	(48)
2.3.2	OpenStack 云平台的运维	(55)
习题	.....	( 63)
第3章	云管理、云安全和云运营	(65)
3.1	云管理	(65)
3.1.1	云管理的功能	(66)
3.1.2	云服务的生命周期管理	(68)
3.1.3	云管理产品	(68)
3.1.4	云管理标准	(69)
3.2	集群及其云可靠性	(70)
3.2.1	集群的分类	(71)
3.2.2	集群的技术实现	(72)
3.3	云安全	(73)
3.3.1	云安全体系	(73)
3.3.2	SaaS 的安全问题	(78)
3.4	云运营	(79)
3.4.1	SaaS 客户管理	(82)
3.4.2	SaaS 运营的营销	(85)
3.4.3	SaaS 运营组织的构建	(87)
习题	.....	( 89)

云计算原理及技术流派篇

第4章	Google 云计算原理与应用	(93)
4.1	Google 文件系统 GFS	(93)
4.1.1	GFS 的系统架构	(93)
4.1.2	GFS 的容错机制	(96)
4.2	分布式处理技术 MapReduce	(96)
4.2.1	MapReduce 的产生背景	(97)



4.2.2	MapReduce 的运行模型及主要编程函数	(97)
4.2.3	MapReduce 的实现机制	(98)
4.3	分布式数据库表 BigTable	(99)
4.3.1	BigTable 概述	(99)
4.3.2	BigTable 的数据模型	(100)
4.3.3	BigTable 的系统架构	(102)
4.4	Google 应用程序概述	(106)
4.5	Google 应用组合	(107)
4.5.1	索引搜索	(107)
4.5.2	面向企业的应用	(108)
4.5.3	AdWords	(108)
4.5.4	Google Analytics	(109)
4.5.5	Google 翻译	(110)
4.6	Google 工具包 (Google API)	(110)
4.7	Google 应用引擎 (GAE)	(112)
4.7.1	GAE 概述	(112)
4.7.2	GAE 的组成	(113)
4.7.3	GAE 的操作	(116)
	习题	(121)
第 5 章	Amazon 云计算及其弹性云技术	(123)
5.1	AWS 概述	(123)
5.1.1	AWS 常用组件	(124)
5.1.2	AWS 常用服务	(126)
5.2	弹性计算云 EC2	(127)
5.2.1	Amazon 机器实例	(128)
5.2.2	收费模式	(129)
5.2.3	系统镜像和软件	(129)
5.2.4	在 EC2 上创建账号和实例	(130)
5.3	Amazon 存储系统	(135)
5.3.1	S3 概述	(135)
5.3.2	Amazon 弹性块存储系统 (EBS)	(136)
5.3.3	云峰	(137)
5.3.4	AWS EC2 及 S3 实战	(138)
5.4	Amazon 数据库服务	(142)
5.4.1	Amazon 简单 DB	(142)
5.4.2	Amazon 关系数据库服务 (RDS)	(143)
5.4.3	为 AWS 选择一个数据库	(143)
	习题	(144)



第 6 章 微软云计算与软件加服务方式	(145)
6.1 微软云计算概述	(145)
6.2 Microsoft Azure 平台	(146)
6.2.1 软件加服务的方式	(147)
6.2.2 Azure 平台	(147)
6.2.3 Azure AppFabric 服务总线	(150)
6.2.4 Microsoft Azure 内容传送网络	(152)
6.2.5 SQL Azure 数据库	(152)
6.2.6 Microsoft Azure 价格体系	(152)
6.3 Microsoft Azure 平台的使用	(153)
6.3.1 Microsoft Azure 运行环境	(153)
6.3.2 安装 Microsoft Azure SDK	(154)
6.3.3 DevelopmentFabric 和 Development Storage	(154)
6.3.4 Microsoft Azure AppFabric 实战——地理位置服务	(159)
6.4 Windows Live	(167)
6.4.1 Windows Live 基础套件	(168)
6.4.2 Windows Live 主页	(169)
6.4.3 移动 Windows Live	(169)
习题	(170)
第 7 章 阿里云及其与 Cloud Foundry 的结合	(171)
7.1 阿里云的生态环境及行业解决方案	(171)
7.1.1 阿里云的生态环境	(171)
7.1.2 阿里云的行业解决方案	(175)
7.2 Cloud Foundry 与阿里云结合技术的原理与实现	(175)
7.2.1 Cloud Foundry 开源 PaaS 云平台	(176)
7.2.2 Cloud Foundry 工作原理及其与阿里云结合技术	(177)
7.2.3 Cloud Foundry 环境部署及在阿里云安装 BOSH	(179)
7.3 阿里云的云运营策略	(181)
习题	(182)

开源云计算篇

第 8 章 开源云计算——Hadoop	(187)
8.1 Hadoop 概述	(187)
8.1.1 Hadoop 的生态环境	(188)
8.1.2 Hadoop 与 OpenStack 的区别	(189)



8.2	Hadoop 的安装与运行	(190)
8.2.1	Linux 下 Hadoop 的安装	(190)
8.2.2	运行 Hadoop	(194)
8.3	分布式文件系统 (HDFS)	(194)
8.3.1	基本操作	(194)
8.3.2	HDFS 的访问权限	(197)
8.3.3	通过 Web 浏览 HDFS 文件	(198)
8.3.4	HDFS 接口 (API) 的使用	(199)
8.4	Hadoop 的 MapReduce	(203)
8.4.1	Eclipse + Hadoop 编程环境	(203)
8.4.2	MapReduce 程序开发实例	(205)
8.5	HBase 分布式数据库系统	(211)
8.5.1	HBase 的架构及组件	(211)
8.5.2	数据模型、物理存储与查找	(213)
8.5.3	HBase 的读写流程	(217)
8.5.4	HBase 的编程实例	(219)
	习题	(222)

云计算发展相关技术篇

第 9 章	容器、容器云和 Kubernetes (K8s) 技术	(225)
9.1	容器云与 K8s 容器编排、管理技术	(225)
9.1.1	容器和容器云	(225)
9.1.2	容器编排和管理系统——K8s	(229)
9.2	容器网络、存储、健康检查和监控	(234)
9.2.1	容器网络	(234)
9.2.2	容器存储	(237)
9.2.3	容器健康检查和监控	(238)
	习题	(239)
第 10 章	Spark 内存计算技术	(241)
10.1	Spark 概述	(241)
10.1.1	Spark 的特点	(241)
10.1.2	Spark 生态系统	(242)
10.1.3	Spark 的原理	(242)
10.1.4	Spark 的计算方法	(242)
10.2	RDD	(243)
10.2.1	RDD 与 Spark	(243)

10.2.2	RDD 的基本操作	(244)
10.3	Spark 的运行模式	(245)
10.3.1	Spark 程序框架	(245)
10.3.2	集群硬件的配置	(246)
10.3.3	Spark 的运行模式	(246)
10.4	Spark 的应用程序	(249)
10.4.1	Scala 编程语言	(249)
10.4.2	Scala 的特性	(250)
10.4.3	平台和许可证	(251)
10.4.4	Spark 程序设计	(251)
10.4.5	使用 Scala 编写一个简单实例到 Spark 集群运行	(253)
习题	.....	(257)
附录 (二维码)	.....	(259)
附录 A	《云计算原理与技术》教学大纲	(259)
附录 B	实验指导书	(259)
附录 B.1	云计算基础: 虚拟化技术实验 (2 学时)	(259)
附录 B.2	云计算 IaaS (基础设施即服务) 实验 (4 学时)	(259)
附录 B.3	云计算 PaaS (平台即服务) 和 SaaS (软件即服务) 实验 (4 学时)	(259)
附录 B.4	开源云计算 Hadoop 技术实验	(259)
附录 B.4.1	Hadoop 完全分布式集群的安装、运行及 HDFS 使用 (4 学时)	(259)
附录 B.4.2	MapReduce 的编程及使用 (2 学时)	(259)
附录 B.4.3	HBase 的安装、编程及使用 (4 学时)	(259)
附录 B.5	云计算发展的相关技术实验 (4 学时)	(259)
附录 C	模拟考试	(259)
附录 C.1	模拟考试试卷一	(259)
附录 C.2	模拟考试试卷二	(259)
参考文献	.....	(260)

云计算基础篇

第1章

绪论

本章讲述云计算的基础知识，包括云计算的概念、原理、流派和主要技术等，为学习后面章节奠定基础。

1.1 云计算概述

云计算是基于互联网的相关服务的增加、使用和交付模式，涉及通过互联网来提供动态易扩展且常是虚拟化的资源，这些资源是被称作“云”的计算机群及其拥有的软件 and 资料。

当今互联网技术（Internet Technology, IT）的理念是使信息产品（软件和硬件）能够像电一样，按需使用和付费。企业无须购买硬件和软件，只需要一台能上网的计算机或手机，无须考虑存储或计算发生的位置，随时可以获得更新的信息和服务。其软件和硬件服务标准化，并有平台管理。云计算是 IT 的基石，在高德纳（Gartner，世界上首家信息技术研究和分析的公司）公布近年来十大技术趋势中，云计算名列前茅。

1.1.1 云计算的产生与发展

1. 云计算的产生

1) 新的商业模式——云计算服务的出现

2006年8月，在圣何塞举办的搜索引擎战略大会（Search Engine Strategies Conference, SESC）上，谷歌（Google）首席执行官施密特（Eric Schmidt）提出了“云计算”的概念。

云计算商业模式和技术已经发展了很长时间，并在实践的过程中逐步演进。人们对云计算的认知已经发生了质变，将其理论化、体系化势在必行。

Google 虽然为云计算命名, 但真正明确云计算商业模式的是亚马逊 (Amazon)。在施密特提出“云计算”概念后, Amazon 推出了动态计算云 (Elastic Compute Cloud, EC2) 服务, 将“云”这个名词包含在内。Amazon 公司以前主要销售图书、DVD、计算机、软件、电视游戏、电子产品、衣服、家具、计算资源等一切适合电子商务的“商品”。Amazon 创始人杰夫·贝佐斯认为, “PC + 软件”和从“云”里取得服务的方式, 既是技术的问题, 也是商业模式的问题。为了让网站支持大规模的业务, Amazon 在基础设施建设上花了很大功夫, 积累了很多经验。为了将平时闲置的计算资源作为商品出售, Amazon 公司先后推出了 3S (Simple、Storage、Service, 简单、存储、服务) 和 EC2 等存储、计算租用服务。

在 Amazon 之前, 很多具有云计算特征的服务, 仍然是互联网服务。Amazon 推出基础设施即服务 (Infrastructure as a Service, IaaS) 后, 云计算的商业模式独立出来, 成为云计算服务。

2) 云计算服务的底层支持——云计算平台

云计算服务是一种新的商业模式, 面向海量用户提供永远在线、随时访问的可用服务, 并支持多用户按需获取服务资源, 保证服务的可靠性, 要求底层 IT 系统支持这样的服务模式。伴随着云计算服务理念的发展, 云计算形成了一整套技术实现机制, 云计算平台是这套机制的具体体现。

云计算平台与操作系统类似, 管理着一个可扩展的网络超级计算机。这个操作系统将大量分布于各地的计算机通过网络连接起来, 使之在逻辑上以整体的形式呈现。在不同的应用需求出现时, 系统可以快速调动各种软、硬件资源协同工作, 完成计算、存储和沟通任务, 用户无须关注实现细节。网络超级计算机的可扩展性可以根据需要添加或者删减计算资源, 其展现出的性能会呈现近似线性的变化。

3) 云计算的定义

目前, 云计算还没有一个统一且被各方接受的定义, 如果想要完整地认知云计算, 需要从服务和平台两个方面理解, 涵盖云计算服务和云计算平台两个概念, 云计算既是商业模式, 也是技术。

云计算是一种新型的计算模式, 把 IT 资源、数据、应用作为服务通过互联网提供给用户。云计算也是一种基础架构管理的方法论, 大量的计算资源组成 IT 资源池, 用于动态地创建高度虚拟化的资源提供给用户。

云计算服务可以划分为 3 个层次, 即基础设施即服务、平台即服务 (Platform as a Service, PaaS) 和软件即服务 (Software as a Service, SaaS), 按需使用和付费。

4) 云计算平台与云计算服务

云计算平台和云计算服务的关系, 如同底层基础和上层建筑的关系。云计算平台可以将大量计算资源集中起来, 协同工作, 支撑上层服务的运行。云计算服务的丰富和扩展, 对底层平台不断提出发展的要求。

云计算服务以商业服务模式为主要的推动力, 可以运行在传统的底层架构上, 底层技术平台的选择可以起到辅助和提升的作用。云计算平台通过先进的技术手段构建全新的基础平台或改造旧有的底层架构, 为所有的应用和计算服务提供底层支撑而不局限于云计算服务, 如目前正在研究在云计算平台上实现大规模模拟计算的并行计算框架, 以及利用云计算平台解决企业面临的海量数据存储或系统管理问题。

云计算平台在设计上针对大用户、大数据和大系统的问题提出了解决办法,由云计算平台支撑的云计算服务,不仅可以提高服务的效率,还可以充分发挥平台的能力和优势。因此,云计算平台在目前更适合推广云计算服务,只有二者的完美结合,才能实现在大规模用户聚集的情形下以较低的服务成本,提供具有高可用性和高可靠性的服务,从而保持业务的持续发展和在商业竞争中的优势。

2. 云计算的发展

1) 云计算从初期的冷清到社区的活跃,以及标准化的推进

2006年,当 Amazon 推出第一个云计算服务的时候,在大多数人眼中这不过是一个高投入、低利润的产业,既没人看好也乏人问津。这样又默默耕耘了两年,直到《经济学人》杂志破天荒地用整期内容对云计算做了全方位深度报道之后,这项技术才算引起社会注意,逐渐在产业界火热起来,极大地吸引了中外学术研究领域的兴趣,推动了相关技术标准和商业模式的研究进展。

(1) 云计算的论坛与研讨会异常活跃。

云计算论坛在世界各地兴起,各种研究机构十分活跃。关于云计算的各种形式研讨会几乎每个月都有。投资者和提供者均看好云计算的发展,关于云计算的商业模式和业务创新的研究层出不穷。

(2) 云计算的标准化进程稳步推进。

制订云计算标准的开放云联盟 (Open Cloud Consortium, OC) 宣布成立,成员包括伊利诺伊大学、美国西北大学、约翰霍普金斯大学、芝加哥大学和加州传讯及信息科技研究院。思科是第一家公开加入该组织的 IT 厂商,接着有更多的厂商参加进来。

在云计算的国际标准化方面,信息技术领域的国际标准化官方组织 ISO/IEC JTC1 (国际标准化组织国际电工委员会、第一联合技术委员会) 已正式成立了两个相关的标准研究组,即 ISO/IEC JTC1/SC7 下设的云计算中 IT 治理研究组和 ISO/IEC JTC1/SC38 下设的云计算研究组。云计算标准化的内容包括开放云计算接口、云计算基准 (Benchmark)、云计算参考实现、计算试验平台等。

(3) 中国积极开展云计算的研究。

中国是发起成立 SC38 的主要国家,为我国组织研究制订云计算领域的国际标准奠定了坚实的基础,实现了我国在 ISO/IEC JTC1 工作中由“被动跟随”到“积极引导”的历史性突破。工业和信息化部与国家标准化委员会联合组织开展云计算标准化工作,由中国电子技术标准化研究所具体牵头,充分发挥信息技术标准工作组的作用,组建云计算标准化产业联盟,并与国际标准化工作衔接。中国电子学会专门成立了“云计算专家委员会”,正在跟踪国内外云计算科技研究和产业发展趋势、重视领域人才培养、积极参与各个层面的决策咨询、参与制订云计算技术产业规范、加强与企业界的联系(为企业提高水平、实用性强的技术培训,如 CMM 项目经理培训、系统分析员培训)等方面积极开展相关工作。



2) 云计算发展已形成的五大趋势

在十多年之后的 2017 年，Amazon 云科技的首席云计算顾问费良宏发表了其云计算已有五大趋势看法：全球化基础设施的扩张加速；大型企业拥抱云计算；混合架构提供了新的机遇；Serverless 架构的普及；物联网（The Internet of Things, IoT）爆发。

(1) 全球化基础设施的扩张加速。

云计算的用户对于数据的位置通常有自己的偏好，网络的低延迟也是不容回避的需求。此外，合规性也是云计算服务提供者必须满足的优先项。所有这些都导致在接下来的一段时间内云计算基础设施继续保持扩张的趋势。以 Amazon 云科技为例，除了常规的自有数据中心之外，为了实现最佳客户体验，Amazon 云科技还定制化和自行研发了集成电路、网络路由器芯片、路由器、服务器、存储设备等大量硬件设备。在最新的夏威夷跨太平洋光纤线缆网络工程中，Amazon 云科技建成长达 14 000 千米的海底光缆，以连接新西兰、澳大利亚、夏威夷和俄勒冈等地，最深处为海平面以下 6 000 米，其中很多工程挑战已经超出了一般科技公司的工作范畴。

这种变化除了已知的优点之外，还包括一些新的挑战出现，即利用全球化基础设施时需要解决的成本管理、灾害控制和高可用性的架构设计以及可移植性等方面的问题。

(2) 大型企业拥抱云计算。

如果说过去的几年人们提起云计算的受益者，通常都会列举诸如 Airbnb、Netflix Supercell 这类明显带有互联网特质的公司。而过去的几年，新增了一些“不同寻常”的名字，如全球最大的快餐连锁企业麦当劳。在充分利用了云计算优势以后，系统的性能提升了 66%。麦当劳的 POS 系统有超过 300 000 台 POS 设备，系统每秒钟实现的交易达到了 8 600 笔。还有高盛、花旗银行及 Capital One 等。

最为传统和保守的银行业也启动了云计算的应用，还有美国金融业监管局（The Financial Industry Regulatory Authority, FINRA）。根据 FINRA 的 CIO Steve Randich 的介绍，FINRA 已将其 75% 的业务操作迁移至 Amazon 云科技云计算平台之上。利用云计算获取、分析、存储了每天产生的高达 750 亿条之多的记录。按照其描述，这个改变在成本上的直接的变化就是每年会节省 2 000 万美元。

对于企业而言，云计算已经不再是一个可选项，而是企业发展的必然选择。借用 Gartner 的说法就是 Cloud is not a strategy, it is a tactic（云计算已经不再是一个战略问题，它是个战术问题）。

(3) 混合架构提供了新的机遇。

2016 年 11 月份，福布斯披露了其针对全球 302 位企业高管所做的一项关于云计算的调查。调查的结果显示在企业市场，混合架构（有人称其为混合云）的场景将会越来越普遍。企业的工作负载将会根据需要在云以及本地 IT 之间频繁地迁移。对于这些企业而言，成本已经不再是考量的唯一要素。云计算的其他优点，如敏捷性、弹性支持的能力会越来越被看重。

从企业来看，安全性依然是最被看重的方面。而云计算带来的性能和效率的提升得到最多的认同。超过 1/3 的管理者表示大规模的交易系统最适合应用在云计算之上。随着混合架