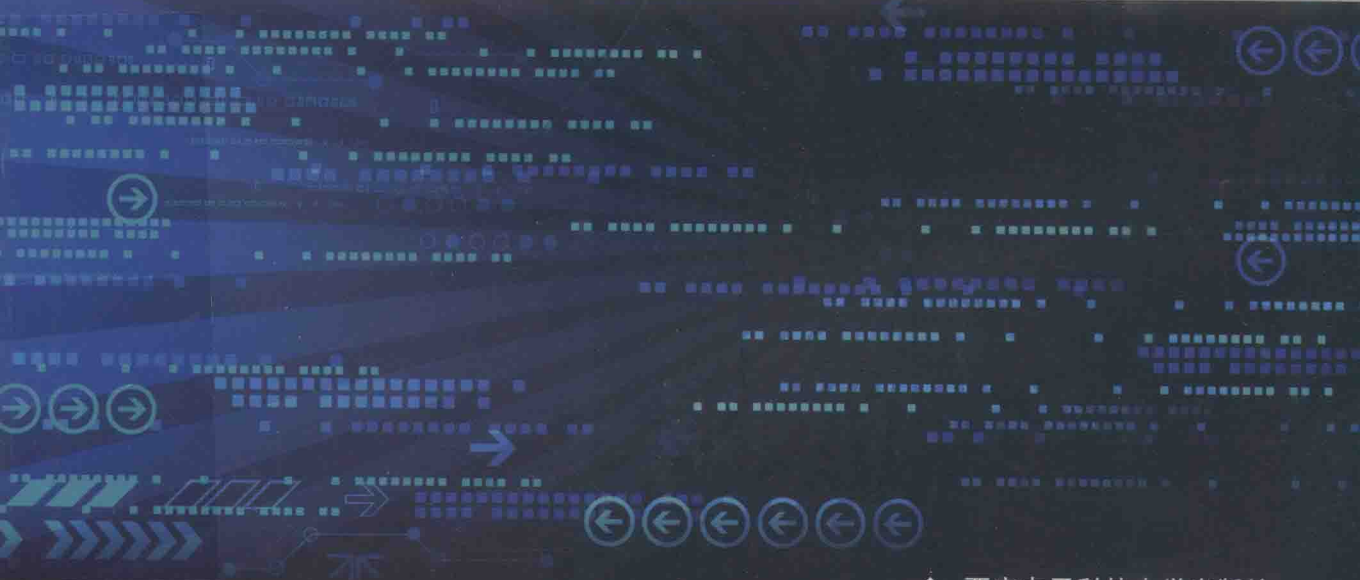




云应用系统开发技术

主 编 袁 波 赖军辉

副主编 陈国荣 郭辉平



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

云应用系统开发技术

主 编 袁 波 赖军辉

副主编 陈国荣 郭辉平

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书从云计算理论知识、历史发展过程与现阶段状态、国内外云厂商的特色等入手介绍云平台。在此基础上,站在企业的视角,介绍云应用程序在开发、测试、部署、运维等各个软件开发周期中涉及的主流技术。

全书共 9 章,通过一个 Java 语言编写的 Web 应用程序案例,按开发顺序由浅至深、循序渐进地讲述了云端 Web 应用涉及的基础开发技术,包括版本控制、自动化测试、容器(Docker)、持续集成/持续交付/持续部署、DevOps 以及云平台等内容。本书结构合理、条理清晰、内容丰富。在每一章后面都配有一定数量的习题,在附录中还提供了 VisualBox 的相关知识,便于读者参考。

本书既可以作为高等院校计算机及软件相关专业本科生的课程教材,也可以作为软件培训机构的培训教材,还可以作为软件工程师、广大软件爱好者的自学读物和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

云应用系统开发技术 / 袁波, 赖军辉主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2020.4

ISBN 978-7-5606-5619-9

I. ① 云… II. ① 袁… ② 赖… III. ① 云计算 ② JAVA 语言—程序设计
IV. ① TP393.027 ② TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 022651 号

策划编辑 戚文艳

责任编辑 张 玮

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 咸阳华盛印务有限责任公司

版 次 2020 年 2 月第 1 版 2020 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 12.75

字 数 301 千字

印 数 1~3000 册

定 价 32.00 元

ISBN 978-7-5606-5619-9 / TP

XDUP 5921001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

关于本书书名《云应用系统开发技术》的解释：

(1) 应用系统——针对某个明确的商业目的开发的应用软件系统，可能包含多个子软件或功能模块，与第三方软件模块(如数据库、网络存储、负载均衡、消息中间件、高速缓存等)共同集成以提供具体的商业服务，例如电子商务网站、企业客户关系管理系统等。

(2) 云——应用系统部署在云端，是应用系统的载体。云服务提供商有很多个，国外知名的如亚马逊、微软、谷歌等，国内知名的如阿里云、腾讯云等。云服务包括各厂商都能够提供的、标准化且同质化的服务，如虚拟服务器；也有厂商私有的、独特的服务，如微软 Office 365，谷歌的 AppEngine、Salesforce.com 等。

(3) 开发技术——不同于传统的自建机房的开发技术，基于公有云平台的流行而伴生的新的开发技术，它们形成了一套生态系统，包括开发、测试、部署、运维等各个软件开发生命周期涉及的技术。

从书名中可以看出，本书的侧重点是“开发技术”，而开发出的“应用系统”将最终部署在“云”平台上。

本书不会纵向深入探讨具体的开发技术细节，而是侧重于横向给读者建立一个高层次的、概要性的思维框架，即云应用系统包含哪些云平台，如何选择，有哪些相关的主流开发技术及未来的发展趋势，并通过一个云应用实例的实现串起这些开发技术。

因此，本书总体将分为以下几部分：

(1) 概要性地介绍云理论基础、历史发展过程与现阶段的状态，对比它与传统开发技术的不同之处与特点，以及未来的发展趋势。

(2) 列举和对比国内外云厂商各自的特色，并挑选亚马逊(国外)和阿里云(国内)两个云厂商做以简要介绍。

(3) 基于云的应用系统开发技术的生态系统，是本书内容的重心所在。本书讲解了在开发、测试、部署、运维等各个软件开发生命周期中涉及的主流技术，例如分布式版本控制系统 Git、自动化测试、持续集成/持续交付/持续部署、容器(Docker)、DevOps(运维)等。

(4) 站在企业的视角，模拟从一个业务需求开始，到具体实施上线的全过程，以此串起本课程的全部知识点。

本书的示例代码托管在 GitLab 上，是开放的，读者可以自行下载，地址：https://gitlab.com/bobyuan/20190224_cloudappdev_code。

限于作者的水平和学识，书中难免存在疏漏和不妥之处，诚望读者不吝赐教，以便修正，让更多读者受益。

最后，谨向关心和支持本书编写工作的各方面人士表示感谢！

编 者

2020 年 1 月 9 日

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 什么是云计算.....	1
1.2 云计算的优点.....	5
1.3 云计算对传统软件工程的影响.....	6
1.4 云计算的历史、现状与趋势.....	8
1.5 云计算核心技术.....	10
1.6 云应用系统开发技术综述.....	13
习题.....	13
第 2 章 VirtualBox 虚拟机.....	14
2.1 安装 Oracle VirtualBox.....	14
2.2 安装 Ubuntu Server 虚拟机.....	15
2.3 安装 OpenJDK.....	19
2.4 安装 Apache Maven.....	23
2.5 安装 Jenkins.....	25
2.6 安装 Apache Tomcat.....	29
习题.....	32
第 3 章 云应用示例.....	33
3.1 简单的 Web 应用程序.....	34
3.2 运行 Web 应用程序.....	52
习题.....	55
第 4 章 分布式版本控制系统 Git.....	56
4.1 Git 快速入门.....	56
4.2 安装 Git 客户端.....	82
4.3 Git 分支模型.....	84
习题.....	89
第 5 章 自动化测试.....	90
5.1 单元测试.....	94
5.2 集成测试.....	105
5.3 测试驱动开发.....	106
习题.....	107

第 6 章 容器(Docker).....	109
6.1 Docker 原理	110
6.2 安装 Docker	113
6.3 使用 Docker	116
6.4 运行 Docker	121
6.5 生成 Docker 镜像	124
习题	131
第 7 章 持续集成/持续交付/持续部署	132
7.1 持续集成	132
7.2 持续交付	133
7.3 持续部署	134
7.4 实现持续部署	134
习题	142
第 8 章 DevOps	143
8.1 DevOps 原理	144
8.2 DevOps 实践	145
8.3 DevOps 实践经验	147
习题	148
第 9 章 云平台	149
9.1 云平台的选择	150
9.2 亚马逊云	151
9.3 微软 Azure	175
9.4 阿里云	179
9.5 其他	182
习题	191
附录 VirtualBox	193



第1章 概述

1.1 什么是云计算

云计算(Cloud Computing)是一种基于虚拟化和互联网的计算方式。这种模式提供按需使用、可配置的计算资源共享池——包括网络、服务器、存储器、应用软件和服务等，只需投入很少的管理工作，就能够将这些资源快速按需配置，为外界提供服务。在互联网时代，利用云计算的优势，我们能够使用的计算资源将不再局限于自己所拥有的物理设备，通过租用云服务的方式可以获得满足我们计算需求的各种资源，而且在大多数情况下更具有成本优势。自建机房与云服务平台对比情况如图 1.1 所示。



图 1.1 自建机房与云服务平台对比

云计算的服务模型可分为三种，分别是 IaaS、PaaS 和 SaaS。

(1) IaaS(Infrastructure as a Service，基础设施即服务)指客户可以从完善的计算机基础设施提供商获得服务。有了 IaaS，我们可以将公司运营所需要的服务器、存储器和网络硬



件外包给别的公司，即 IaaS 云服务提供商，从而节省日常设备维护以及办公场地的成本。IaaS 云服务提供商会帮助我们日常维护硬件，还能满足一定的弹性需求。比如当公司需要进行业务扩张，需要更强计算能力的时候，可以轻松地获取更多的服务器；当网站访问人数较少时，可以随时减少部署的服务器以节约开支。

(2) PaaS(Platform as a Service, 平台即服务)提供了用户可以使用的应用程序开发平台。公司中所有的开发和部署环境都可以在这个层面上进行，从而达到节省时间和资源的目的。PaaS 的强大之处在于它能够涵盖软件开发的各个阶段，提供了从开发工具、中间件到数据库软件等开发所需的全部功能，原本分散的工作室之间的合作也变得更加容易。例如微软的 Azure 服务平台就包含了 Microsoft SQL 数据库服务、Microsoft .Net 服务，用于分享、存储和同步文件的 Live 服务以及针对商业的 Microsoft SharePoint 和 Microsoft Dynamics CRM 服务等，它使得各个开发小组之间的合作能够更加紧密。

(3) SaaS(Software as a Service, 软件即服务)提供了完整的可以直接使用的应用程序。这一层面上的应用大多数可以通过网页浏览器进行访问或接入。例如我们日常所使用的电子邮件服务、网盘、微软 Office 365 等，用户一般只需要注册一个账号或简单的集成就可以使用，方便快捷，省时省力。

在云计算的服务模型中，我们把基础设施即服务、平台即服务和软件即服务分为三层：基础设施即服务(IaaS)在最下端，平台即服务(PaaS)在中间，软件即服务(SaaS)在顶端。它们的复杂程度和抽象程度，由下往上递增，如图 1.2 所示。

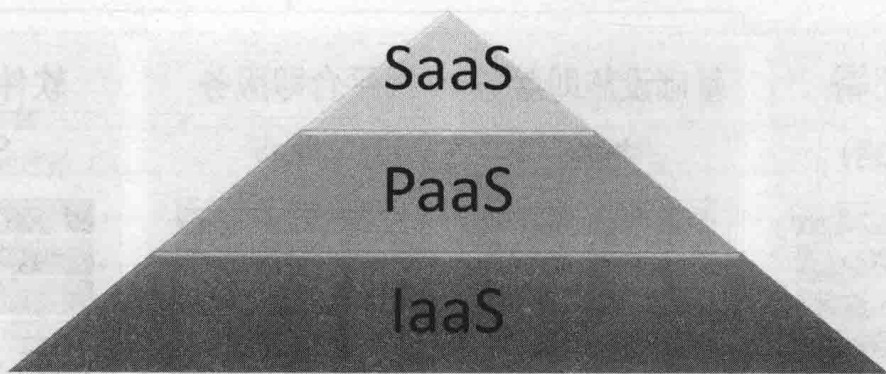


图 1.2 云服务平台的金字塔模型

为了更好地解释以上三者的含义，我们借用一个经典的例子“Pizza As a Service”来做一个类比。假设你想吃披萨，那么现在有几种方法：

方法 1 在家自己做披萨

这显然是自己需要动手最多的方式，而且需要准备全部的原料和厨具。想要吃上披萨，需要经历发面、做面团、切菜、调酱、撒料、进烤箱、准备苏打水和餐桌等众多步骤。具体步骤如图 1.3 所示。

这时候你开始犯嘀咕了，我就想吃个披萨，这也太麻烦了，什么都要自己做，耗时费力，更别说自己厨艺不佳，说不定把它烤焦了呢。于是，就想到了下面第二种方法。

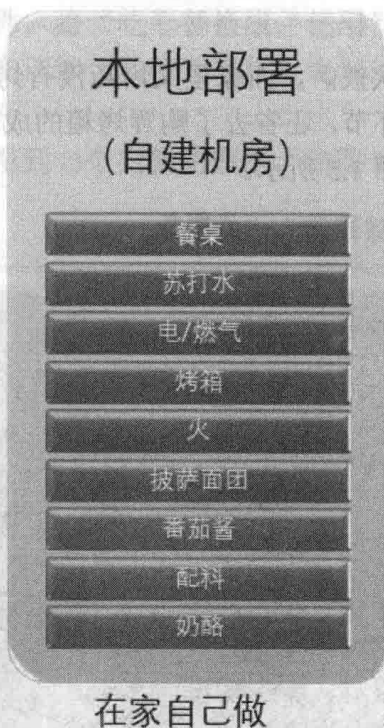


图 1.3 Pizza As a Service 之在家自己做

方法 2 买半成品披萨回家做

你根本就不会做披萨，但又不想花精力去学习如何才能做出好吃的披萨。于是你去超市买一个半成品披萨，只需要放入烤箱，过一会儿便可以享受美味的披萨了。但是这次，你需要一个供应商来为你提供这个披萨半成品，具体如图 1.4 所示。图中的浅色部分代表需要自己完成的，深色部分是披萨供应商提供的。



图 1.4 Pizza As a Service 之买半成品回家做



方法 3 叫外卖

你想到一年也许只吃一两次披萨，而家里又恰巧没有烤箱，怎么办？订外卖吧！这次供应商为你省去了所有的制作环节，还省去了购置烤箱的成本，但具体如何享用这份披萨，还是需要自己来决定。具体如图 1.5 所示。



图 1.5 Pizza As a Service 之叫外卖

方法 4 去披萨餐厅吃

最简便的方法，还是去披萨餐厅吃吧！你什么都不需要做，甚至用不着收拾桌子和洗盘子，餐厅会为你提供需要的一切。具体如图 1.6 所示。



图 1.6 Pizza As a Service 之去餐厅



如果我们把披萨替换成软件，将“吃”替换成“使用”，那么就不难理解这三种模式所代表的含义了。云计算的存在能够让我们忽略很多底层的实现细节，得到一个更加高效的使用环境。

将以上几种方法汇总对比得到一个完整的图例，如图 1.7 所示。



图 1.7 Pizza As a Service 之汇总对比

1.2 云计算的优点

介绍完上述例子，相信我们对云计算已经大体有了一些了解，接下来总结一下云计算的优点。

1. 规模大

云计算厂商为了能够向外界提供云服务，其自身必须拥有强大的计算资源。例如亚马逊的 Amazon Web Services (AWS)、微软的 Microsoft Azure 云服务背后都有着数十万台服务器的支持，谷歌(Google)的云计算更拥有多达百万级服务器的计算能力。这种规模的计算能力是一般企业单独依靠自身能力所不能想象的。

2. 虚拟化

云计算的执行过程在云端完成，并不需要确定在某个物理地点，用户可以在任意位置使用任一终端来获取这一服务，这就实现了计算资源的虚拟化。用户无需了解应用运行的具体位置就可以通过网络获取强大的计算能力。虚拟化的另一个好处是可以基于现有的方案随时更改远端的配置，有利于程序的快速部署。

3. 可靠性高

云端的数据通常采取多副本容错、计算节点同构可互换等措施来保障服务的高可靠性，



相对来说使用云计算比使用本地计算机更加可靠。例如本地采取的最常见的备份方式磁盘阵列(RAID), 除去价格高昂的问题, 如果两个硬盘(存储数据的和校验的)同时损坏, 数据依然会发生丢失。对比来看, 云端的 Hadoop 集群一般都将同一份数据部署在三个不同的机器上, 并周期性检测机器的“心跳信号”, 如果有机器出现问题, 则会自动增加一个备份, 使得数据丢失的可能性更小。

4. 通用性强

云计算并不针对特定的应用, 即用户可以使用强大的计算能力构建出千变万化的应用, 并使用同一片云来支撑不用的应用运行。例如, PaaS 只是提供给用户一个平台, 而在这个平台上如何进行开发, 怎样开发则完全取决于用户自身。

5. 节约成本

云计算的服务是具有弹性的, 用户可以按需动态调度虚拟的计算资源, 随用随弃, 不必为了短期的使用高峰去购买额外的服务器硬件。此外, 日常硬件维护、容错措施、电力成本等额外开销, 在云服务上也都不必考虑, 在一定程度上能够节约开支。

1.3 云计算对传统软件工程的影响

云计算的诸多优点必然会对现有的软件开发过程带来影响, 下面从六个方面来进行论述。

1. 软件架构的开放性

软件架构描述了一个软件系统从整体到局部的层次划分, 架构的优劣不仅影响软件开发过程的效率, 还会影响系统后续的可扩展性。在传统软件工程中, 系统架构一般由开发经验最丰富的程序员进行设计, 这样的人一般被称为“架构师”。那么, 当没有丰富的技术水平以及编程经验的时候, 该如何设计自己的软件呢? 云计算给了我们答案。在软件工程里, 提升复用率一直是提高软件开发效率的重要一环。由于云平台软件架构的开放性, 我们可以选择现在已经成熟的构建模块加以复用, 这样一来能够缩短程序的开发时间, 二来还能够减少软件开发中的不合理之处, 提升软件的可靠性。

2. 软件对象的多样性

面向对象已经成为了现在软件开发的重要方法, 在设计软件时, 首先将大的问题分解为若干个小问题, 分析不同软件对象之间的交互行为, 之后再从局部到整体, 从抽象到具体一步步完成。云计算给我们提供了大量的可复用的软件模块, 这使得在编写软件时可用的原材料更加多样。工欲善其事, 必先利其器, 更多的软件对象势必有利于我们施展拳脚, 但是跟传统软件开发一样, 我们依旧需要先分析清楚软件之间的交互关系, 然后再进行充分利用。在 PaaS 的平台中, 开发者有可能写很少的代码甚至不需要代码, 而只需按照业务流程对平台中提供的各类资源进行组织和配置即可。这种模式下, 需求与开发具有了同等的语境, 同时需求在软件工程中的地位也将显得更加重要。



3. 软件过程的动态性

软件过程是指软件的整个生命周期,从需求获取开始,经过需求分析、设计、编码实现、测试到发布上线和运营维护为一个周期。传统的软件开发使用反复迭代的方法来进行开发,开发的软硬件资源经常是固定的。但是借助于网络和虚拟化等技术,云计算实现了对软硬件资源的集中化、动态化管理,可以更加弹性地管理我们所拥有的资源。例如开发一个网站,设计上的缺陷可能会导致网站在大流量时访问缓慢。如果没有云计算平台,则只能另外购买其他更强大的服务器,但是云计算的存在可以随时扩大计算能力,满足我们的计算需求。这种软件过程的动态性更加方便了软件开发。

4. 开发组织的社会化

云计算依赖网络来获取强大的计算能力,在网络环境下,软件开发从封闭的计算机平台逐渐走向互联、互通、协作的网络平台环境。传统的软件企业正在逐渐走向开源。近年来软件技术的飞速发展,闭门造车有可能导致技术的落后。通过云计算,软件的开发过程可以由多个团队来协作完成,众多的开发团队形成了开发组织的社会化。通过多个团队之间的技术共享,不仅能够节省“造轮子”的时间,还能够确保我们的软件始终能够接触到新的技术。更有意义的是,这个社会中还可能包含全球不同时区的工作人员,这样就可以实现软件在一天24小时中都有人进行开发和维护,更加有利于提高软件开发效率和服务稳定性。

5. 资源部署的虚拟化

正如上面所说,云计算将计算能力部署在云端,并通过网络来进行访问。这样做不仅有利于我们随时进行资源的扩展,更有利于节省空间和相关的硬件维护费用。云端的服务器集群还有利于数据的安全,更多的备份可以保障数据不容易丢失,这是本地存储很难避免的。

6. 云计算面临的挑战

虽然云计算有着诸多的优点,但是它并不是万能的。在某些场景下,传统的软件开发仍然有着不可替代的地位。

1) 数据传输的瓶颈

在传统的软件开发中,我们的开发平台一般距离服务器很近,因此数据传输的速度也很快。但是云计算因为需要将数据上传到网络上进行计算,在面对大量数据传输时可能会出现数据传输瓶颈的问题,尤其是我国访问国外的部分网站较为困难,这给我们的软件开发和运行都造成了不可忽视的影响。

2) 数据的机密性

云端数据的安全性仅是保证数据不丢失,但是如果涉及特别私密的数据,还是应当采用传统的软件开发方法进行开发,并且将数据在本地进行存储。

3) 大型分布式系统的弊端

虽然大型分布式系统能够保证存储大量的数据,但是很难做到实时响应。因此像通信部门等需要实时响应的软件不宜部署在云端。

云计算的诸多优点已然给传统软件工程带来了诸多转变。在进行软件开发之前,需要



先分析我们的软件到底适不适合使用云平台进行开发或运行。在笔者看来,未来的一段时间之内,传统的软件开发和云计算的软件开发将会共存。现阶段随着网络的飞速发展,云计算将有更大的增长空间,并且会给我们带来更多的价值。

1.4 云计算的历史、现状与趋势

计算机自 20 世纪 40 年代发明以来,一直处于孤岛状态,网络一方面没有需求,另外一方面也处于探索阶段。《浪潮之巅》(2016 年由人民邮电出版社出版)的作者吴军很清晰地介绍了计算机历史的不同阶段出现的伟大公司的辉煌和沉沦,比如贝尔、微软和 IBM。

在 20 世纪 90 年代,网络大爆炸,一大批公司粉墨登场,随即网络进入泡沫时代。在离我们并不遥远的互联网泡沫破碎的时候,Web 2.0 兴起,网络踏上了新的征程。

在 Web 2.0 时代,很多细分化网站的访问量远超过传统门户网站。如何有效地为巨大的用户群体服务,让用户也能够享受方便、快捷的服务,成为这些网站不得不面对的一个问题。

与此同时,一些有影响力的大公司为了提高自身产品的服务能力和计算能力开发了大量新技术,如何有效利用已有技术并结合新技术,为更多的企业或个人提供强大的计算能力与多样化的服务,就成为许多拥有巨量服务器资源的企业必须考虑的问题。

正是因为网络用户的急剧增多并对计算能力的需求愈加旺盛,而计算机等 IT 设备公司、软件公司和计算服务提供商能够满足这样的需求。能否像用电一样,来使用计算机的资源呢?于是云计算便应运而生。

值得一提的是,2006 年 8 月 9 日,谷歌(Google)首席执行官埃里克·施密特(Eric Schmidt)在搜索引擎大会上首次提出“云计算”(Cloud Computing)的概念。但是其实云计算的概念早在 20 多年前就开始启蒙了,那是 1983 年 Sun Microsystems 提出“网络即计算机”的概念;2006 年 3 月,亚马逊(Amazon)推出弹性计算云(Elastic Compute Cloud, EC2)服务。

下面梳理一下云服务的发展、演化各个阶段的历史。

(1) 前期积累阶段。1983 年, Sun 公司提出“网络即计算机”的概念,在那个年代,并行计算、分布式处理和虚拟化技术逐渐成熟。

(2) 云服务初级阶段。此阶段以一批公司的成立为标志,最著名的是 1999 年 3 月 Salesforce 成立,提供云服务,即 SaaS; 1999 年 9 月 LoudCloud 成立,提供服务器出租,即 IaaS。

(3) 云服务形成阶段。此时历史的脚步已经踏进了 2006 年,云概念由 Google 提出, Amazon 推出了弹性计算云服务; 2007 年 8 月, Salesforce 发布 Force.com 成为最早的 PaaS。

(4) 云服务快速发展阶段。这个阶段,云服务规模高速成长。云服务功能日趋完善、种类日趋多样。各种云服务演化精彩纷呈,很多传统企业结合自身能力扩展、转型,纷纷投入云服务市场。

(5) 云服务成熟阶段。很多科技产品或热点,都在 2016 年始称元年。



云计算的发展过程主要经历了以下三个阶段：

- (1) 产品功能健全，市场格局相对稳定；
- (2) 专业领域划分细致，个性化需求也能得到灵活响应；
- (3) 主流平台和标准日渐形成，客户和设备规模巨大。

从功能角度来看，云平台的历史演化路线大致如图 1.8 所示。

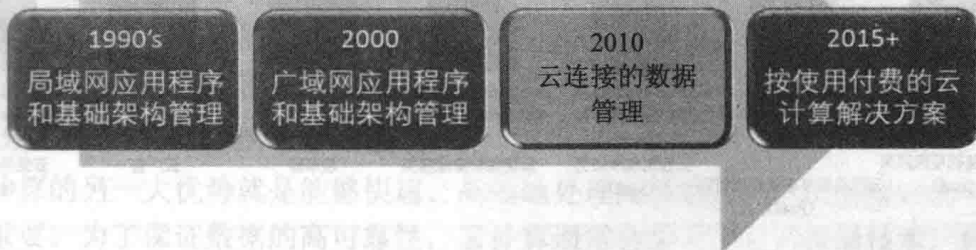


图 1.8 云平台的历史演化路线

从商务角度来看，公有云的全球市场需求增长趋势如图 1.9 所示。公有云的全球市场需求，据 Gartner 预测在 2020 年将达到 4114 亿美元。

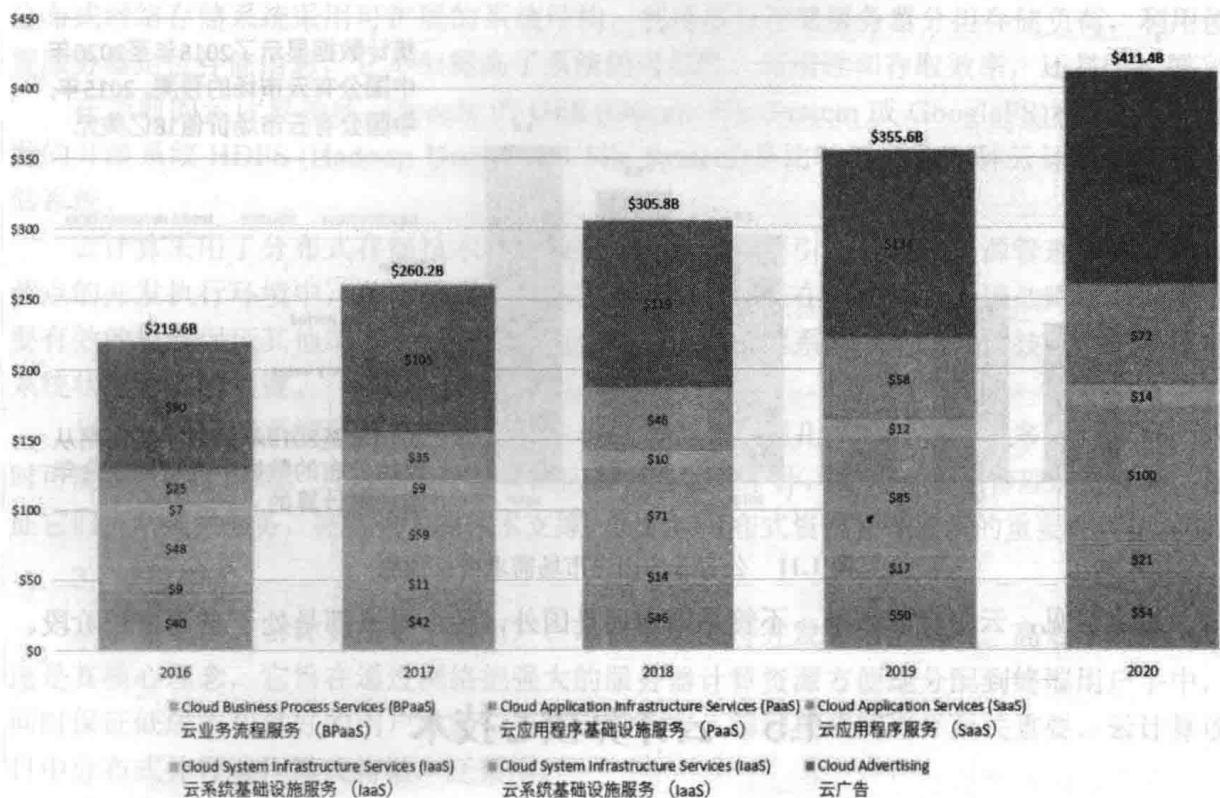


图 1.9 公有云的全球市场需求增长趋势

公有云的各个细分市场全球需求增长率预测如图 1.10 所示。

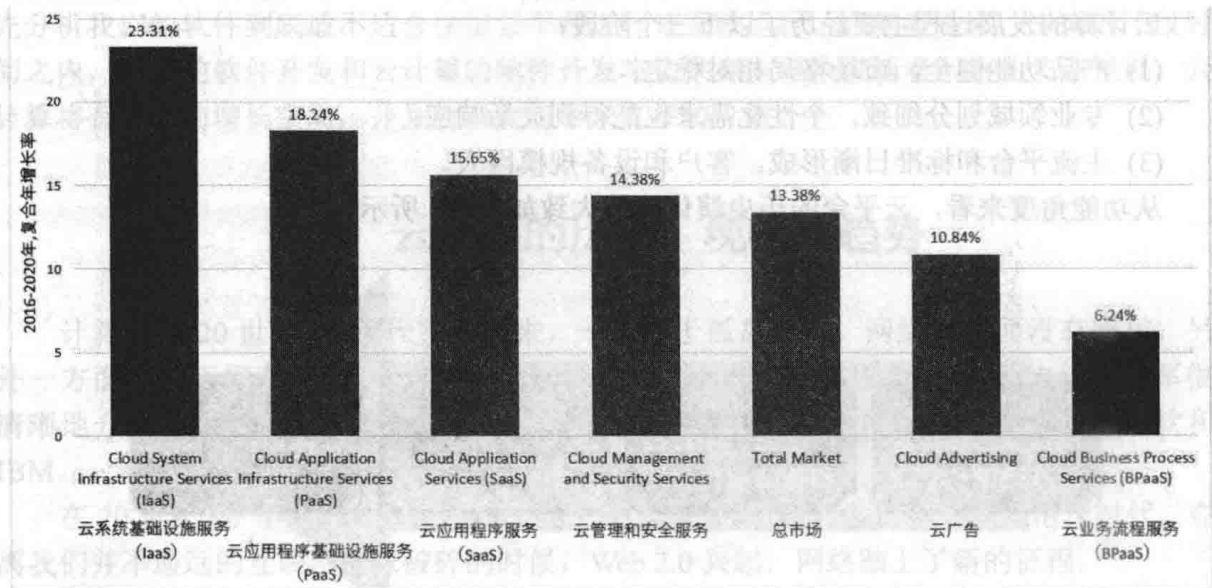
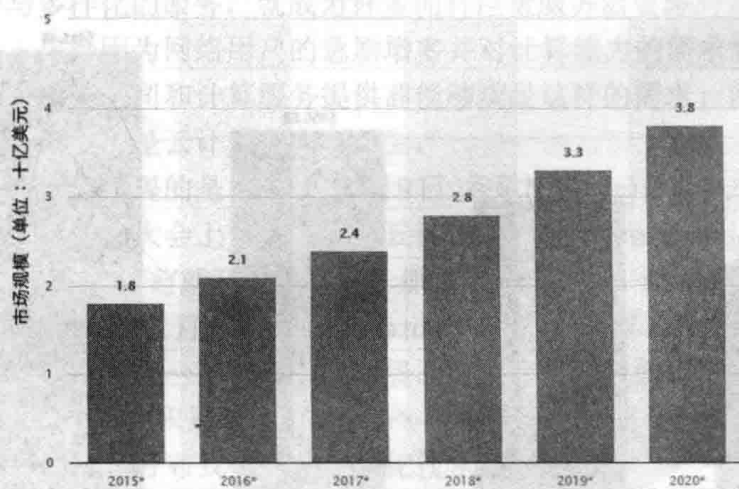


图 1.10 公有云的细分市场全球需求增长率预测

国内云服务市场由于起步晚、需求大，近年来一直保持着高速的增长。据 Statista.com 网站在 2015 年的数据预测，中国国内公有云市场的预估值在 2020 年达到 38 亿美元，具体如图 1.11 所示。



统计数据显示了2015年至2020年中国公有云市场的预测。2015年，中国公有云市场价值18亿美元

DESCRIPTION	SOURCE	MORE INFORMATION
Region	China	
Survey time period	2015	
Supplementary notes	* Forecast.	

2016年至2019年的数字是使用从原始公布的数据中提取的复合年增长率计算的

图 1.11 公有云的国内市场需求增长预测

综上所述，云平台的市场，不管是国内还是国外，现今看来都是处于高速增长阶段。

1.5 云计算核心技术

云计算是一种以数据和处理能力为中心的密集型计算模式，它融合了多项 ICT (Information Communications Technology) 技术，是传统技术“平滑演进”的产物。其中以虚拟化技术、分布式数据存储技术、资源管理、编程模式、大规模数据管理、信息安全、云计算平台管理、绿色节能技术最为关键。



1. 虚拟化技术

虚拟化是云计算最重要的核心技术之一，它为云计算服务提供基础架构层面的支撑。

从技术上讲，虚拟化是一种在软件中仿真计算机硬件，以虚拟资源为用户提供服务的计算形式，旨在合理调配计算机资源，使其更高效地提供服务。它打破了应用系统各硬件间的物理划分，从而实现架构的动态化，实现物理资源的集中管理和使用。虚拟化的最大好处是增强系统的弹性与灵活性、降低成本、改进服务，并提高资源利用效率。

从表现形式上看，虚拟化又分两种应用模式：一是将一台性能强大的服务器虚拟成多个独立的小服务器，服务不同的用户；二是将多个服务器虚拟成一个强大的服务器，完成特定的功能。这两种模式的核心都是统一管理、动态分配资源、提高资源利用率。在云计算中，这两种模式都有比较多的应用。

2. 分布式数据存储技术、资源管理

云计算的另一大优势就是能够快速、高效地处理海量数据。在数据爆炸的今天，这一点至关重要。为了保证数据的高可靠性，云计算通常会采用分布式存储技术，将数据存储在不同的物理设备中。这种模式不仅摆脱了硬件设备的限制，同时扩展性更好，能够快速响应用户需求的变化。

分布式存储与传统的网络存储并不完全一样，传统的网络存储系统采用集中的存储服务器存放所有数据，存储服务器成为系统性能的瓶颈，不能满足大规模存储应用的需要。分布式网络存储系统采用可扩展的系统结构，利用多台存储服务器分担存储负荷，利用位置服务器定位存储信息，它不但提高了系统的可靠性、可用性和存取效率，还易于扩展。

在当前的云计算领域，Google 的 GFS (Google File System 或 GoogleFS) 和 Hadoop 开发的开源系统 HDFS (Hadoop Distributed File System) 是比较流行的两种云计算分布式存储系统。

云计算采用了分布式存储技术存储数据，那么自然要引入分布式资源管理技术。在多节点的并发执行环境中，各个节点的状态需要同步，并且在单个节点出现故障时，系统需要有效的机制保证其他节点不受影响。而分布式资源管理系统恰是这样的技术，它是保证系统状态稳定的关键。

另外，云计算系统所处理的资源往往非常庞大，少则几百台服务器，多则上万台，同时可能跨越多个地域，且云平台中运行的应用也是数以千计，如何有效地管理这批资源，保证它们正常提供服务，需要强大的技术支撑。因此，分布式资源管理技术的重要性可想而知。

3. 编程模式

从本质上讲，云计算是一个多用户、多任务、支持并发处理的系统。高效、简捷、快速是其核心理念，它旨在通过网络把强大的服务器计算资源方便地分配到终端用户手中，同时保证低成本和良好的用户体验。在这个过程中，编程模式的选择至关重要。云计算项目中分布式并行编程模式将被广泛采用。

分布式并行编程模式创立的初衷是更高效地利用软、硬件资源，让用户更快速、更简单地使用应用或服务。在分布式并行编程模式中，后台复杂的任务处理和资源调度对于用户来说是透明的，这样用户体验能够大大提升。MapReduce 是当前云计算主流并行编程模式之一。MapReduce 模式将任务自动分成多个子任务，通过 Map 和 Reduce 两步实现任