

云计算概述

1.1 云计算简介

云计算（Cloud Computing）是基于互联网的相关服务的增加、使用和交付模式，云计算通过互联网提供动态易扩展且经常是虚拟化的资源。美国国家标准与技术研究院（NIST）这样定义了云计算：云计算是一种按使用量付费的模式，这种模式提供可用的、便捷的、按需的网络访问，进入可配置的计算资源共享池（资源包括网络、服务器、存储、应用软件、服务），这些资源能够被快速提供，而只需投入很少的管理工作，或服务供应商进行很少的交互。

计算机技术、计算模式和信息处理模式随着用户信息处理需求的增长而产生和发展。从计算机出现至今，计算模式和信息处理模式经历了大机时代的终端-主机模式（T-S 模式），PC 时代的客户机-服务器模式（C-S 模式），互联网时代的浏览器-服务器模式（B-S 模式）。目前，随着物联网和互联网应用需求的增大及移动宽带网络的普及，用户向互联网输入的数据量迅速增加。同时，软件多以服务的形式通过互联网发布和访问。这些日益增长的业务需要海量的存储和强大计算能力来支持。为了满足不断增长的业务需要，如果还沿用传统的数据中心架构，付出的软硬件成本会大大增加。云计算是一种动态、易扩展的计算方式和信息处理方式，存储能力和计算能力理论上可以无限增大，满足信息处理等业务需求的快速增长。而且云计算使用 x86 架构的服务器，性价比很高。这些优点使云计算逐渐发展和流行起来。云计算的原理是：使用特定的软件，按照指定的优先级和调度算法，将数据计算和数据存储分配到云计算集群中的各个节点计算机上，节点计算机并行运算，处理存储在本节点上的数据，结果回收后合并。云计算的产生并非来自学术界，而是产生于企业计算和互联网领域，它是分布式计算（Distributed Computing）、并行计算（Parallel Computing）、效用计算（Utility Computing）、网络存储（Network Storage Technologies）、虚拟化（Virtualization）、负载均衡（Load Balance）、热备份冗余（Hot Backup Redundancy）等传统计算机和网络技术发展融合的产物。云计算更关心如何扩展系统，如何方便 IT 管理，如何降低成本。

云计算通过互联网向用户提供服务，这些服务包括运算服务，例如，希望通过海量的销售记录计算某个大型商业网站某类商品最近几年的销售量，用户向云服务前端提交任务，由“云”返回计算结果；基础设施服务，例如，用户向云服务前端申请一台服务器，指明自己对硬件和软件的需求，包括 CPU 需求，使用多大内存和硬盘，操作系统是什么等，“云”将按照用户的要求虚拟一台服务器供使用，登录服务器（使用远程桌面或终端工具软件登录），会发现服务器的配置与用户的要求一致。当然还有许多其他的服务类型，比如云存储、云安全等。

对于用户来说，只需向“云”提出要求得到服务，不需要了解云内部的细节。这里的“云”实际上是一个大量硬件和软件的集合体，这些软硬件集合通过网络和“云软件”连接和组织在一起，向用户提供各种服务。前面提到的虚拟服务器，CPU 和内存来源于哪里，销售量运算究竟是哪几台机器做的，用户并不需要知道，而是由“云软件”组织调配“云”中的资源完成。“云软件”可以看作云资源集合的操作系统，有着操作系统的特征：管理软硬件资源和任务流程，提供人机界面。在需要时，可以向这个集合体内增加软硬件资源，不需要时可以把软硬件资源从这个集合体分离出去。

综上所述，云计算可以看成是一种 IT 资源的交付和使用模式，用户通过网络，以按需、易扩展的方式获得所需的资源（包括硬件、平台和软件）。“云”中的资源在使用者看来是可以无限扩展的，并且可以随时获取、按需使用、随时扩展、按需付费。这种特性被人们形象地称为像使用水电一样使用 IT 资源。计算能力也可以作为一种商品进行流通，就像水电一样，取用方便，通过互联网进行传输。之所以称为云计算，是因为在计算机网络拓扑图中互联网通常以云表示，在互联网之中的云资源集合也可以抽象为一朵云。用户对云资源的需求往往是根据业务的实际需求来衡量的，需要多少资源就使用多少，使用完成后再还给“云”，由“云”再提供给其他用户使用。

云计算未来主要有两个发展方向：一是构建与应用程序紧密结合的大规模底层基础设施，使得应用能够扩展到很大的规模；二是通过构建新型的云计算应用程序，在网上提供更加丰富的用户体验。云计算虽然是一种新型的计算模式，但是现实的需要恰恰为云计算提供了良好的发展机遇。虽然现在的云计算并不能完美地解决所有的问题，但是相信在不久的将来，一定会有更多的云计算系统投入使用，云计算系统也将不断地被完善，并推动其他科学技术的发展。

1.2 云计算的分类

1.2.1 IaaS、PaaS 和 SaaS

按照提供服务的层次和类别，云计算可分为 3 类：基础设施即服务（Infrastructure as a Service, IaaS）、平台即服务（Platform as a Service, PaaS）、软件即服务（Software as a Service, SaaS）。“基础设施”是一个应用系统的硬件平台，处于应用系统的下端；“平台”包括操作系统，中间件和函数库；“软件”就是整个应用系统。在不同的服务类型下，用户可以控制的内容和云服务控制的内容有所区别，如图 1.1 所示。

1. IaaS

IaaS 为用户提供了计算基础架构，通常指提供了物理机、虚拟机、网络资源及其他资源（如虚拟机映像库、块存储或者基于文件的存储、防火墙、负载均衡、IP 地址、虚拟局域网等）。以前，如果要在企业平台运行一些企业应用，需要购买服务器，以及其他价格高昂的硬件来支持。现在，用户可以使用 IaaS 方式将硬件外包，IaaS 公司将提供虚拟服务器、存储和网络硬件，用户可以租用来运行企业应用，有效地节省了维护成本和办公场地。用户可以在任何时候利用租用来的硬件运行其应用。国际上主要的 IaaS 提供商和产品包括：亚马逊的 AWS、

微软的 Azure、Rackspace 的 OpenStack、IBM 的 SoftLayer、VMware 的 vCloud 等。国内的有阿里云、青云(Qing Cloud)及中国移动的大云(Big Cloud)等。本书后续章节所讲述的 VMware vSphere 和 OpenStack 是两种有代表性的 IaaS 平台软件，它们都是采用虚拟技术，提供虚拟机 IaaS 服务。

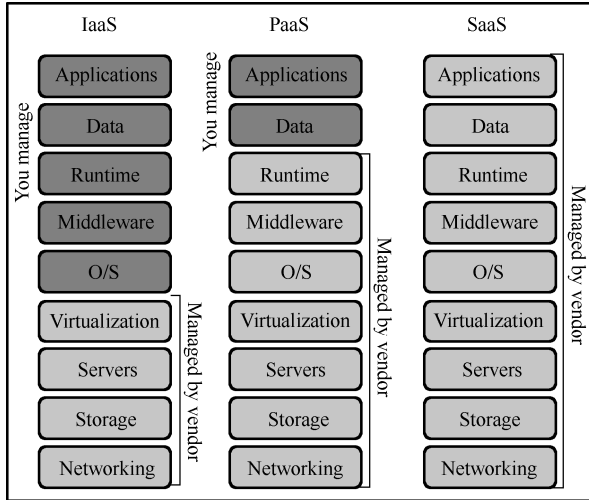


图 1.1 云计算的分类及可控内容

2. PaaS

PaaS 也称为中间件服务。为用户提供的服务平台通常包括操作系统、编程语言运行环境、数据库和大数据集处理、Web 服务器等。PaaS 把开发环境作为一种服务来提供，可以使用中间商的设备 and 软件开发自己的程序，通过互联网和服务器传送给用户。软件公司的软件开发和软件运行都可以在这一层进行，节省了时间和资源。PaaS 公司在网上提供各种开发和分发应用的解决方案，开发出的应用调用了 PaaS 平台的 API，运行时使用了 PaaS 平台软硬件，节省了硬件开销，也使得处在分散工作场地之间的合作变得更加容易。PaaS 服务提供网页应用管理、应用设计、应用虚拟主机、存储、安全及应用开发协作工具等。主要的服务平台包括亚马逊的 AWS Elastic Beanstalk、Heroku、Force.com、谷歌的 GAE (Google App Engine)、新浪的 SAE、百度云的开发引擎等。

大数据处理系统是一种 PaaS 平台。初期，Google 的创始者因为无法购买昂贵的商用服务器运行搜索引擎，于是采用了大量廉价的 x86 架构个人计算机组成集群来提供搜索服务，成功地把这种个人计算机集群的运算能力做到比商用服务器更强大，而成本却远远低于商用的硬件与软件，从而产生了大数据处理技术。2003—2006 年，Google 发表了 4 篇关于分布式文件系统、并行计算、数据管理和分布式资源管理的文章，奠定了大数据处理技术发展的基础。基于这些文章，开源软件 Hadoop 逐步复制了 Google 的云计算系统，从此 Hadoop 大数据处理系统平台开始流行。本书后续章节将介绍 Hadoop 平台的结构和使用。

3. SaaS

SaaS 为用户提供了按需支付费用 (On-Demand) 的应用软件。用户不必操心各种应用程序的安装、设置和运行维护，一切都由 SaaS 服务提供商来完成。用户只需要支付费用，通过可视

化的客户端来使用它，如谷歌的 Apps、微软的 Office 365、Citrix 的 CloudStack，以及目前流行的各种云存储（网盘）、云相册、云备份、云打印、云监控等针对个人使用的云服务产品。

云计算的部署方式有 4 类，包括：① 私有云，数据中心部署在企业内部，由企业自行管理；② 公共云，数据中心由第三方的云计算供应商提供，供应商帮助企业管理基础设施（如硬件、网络等），企业将自己的软件及服务部属在供应商提供的数据中心，并且支付一定的租金；③ 社区云，是指在一定的地域范围内，由云计算服务提供商统一提供计算资源、网络资源、软件和服务能力所形成的云计算形式，基于社区内的网络互连优势和技术易于整合等特点，通过对区域内各种计算能力进行统一服务形式的整合，结合社区内的用户需求共性，实现面向区域用户需求的云计算服务模式；④ 混合云，混合云融合了公有云和私有云，是近年来云计算的主要模式和发展方向。出于安全考虑，企业更愿意将数据存放在私有云中，但是同时又希望可以获得公有云的计算资源，在这种情况下，混合云被越来越多地采用。混合云将公有云和私有云进行混合和匹配，以获得最佳的效果，这种个性化的解决方案，达到了既省钱又安全的目的。

图 1.2 是云计算产业链中的不同角色和所提供的服务示意图。供应商包括基础设施制造商、基础设施运营商、云计算服务提供商。用户包括政府用户、企业用户和个人用户，行业又分政府、教育、医疗、通信和互联网企业。

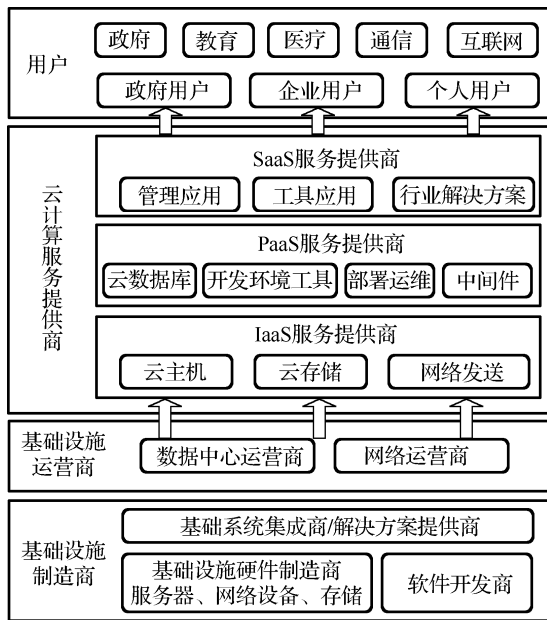


图 1.2 云计算产业链

1.2.2 IaaS 开发和 PaaS 开发

PaaS 是将一个开发和运行的平台作为服务提供给用户，PaaS 开发是在该平台上开发具体业务应用；IaaS 是将虚拟机或其他资源作为服务提供给用户，IaaS 开发是开发资源组织和发布平台，目前国内的大量云平台公司开发虚拟机管理平台、桌面云平台，几乎都是基于 KVM 技术，在 OpenStack 基础上开发的。以下从几个方面比较两者的区别。

1. 开发环境

PaaS 提供商都会给开发者提供一整套包括 IDE 在内的开发和测试环境。IaaS 开发人员主要沿用之前的开发环境（如 Eclipse），由于开发环境与云的整合比较欠缺，所以在使用时不是很方便。

2. 支持的应用

因为 IaaS 主要提供虚拟机，且普通的虚拟机支持多种操作系统，所以 IaaS 支持的应用范围非常广泛。但如果一个应用运行在某个 PaaS 平台上，则不是一件轻松的事，因为不仅需要确保这个应用是基于这个平台所支持的语言，而且也要确保这个应用只能调用此平台所支持的 API，如果应用调用了平台所不支持的 API，那么就需要对这个应用进行修改。

3. 开放标准

虽然很多 IaaS 平台都存在一定的私有功能，但是由于 OVF（虚拟机文件格式）等协议的存在，使得 IaaS 开发可以跨平台和供应商。PaaS 平台的情况不一样，无论是 Google 公司的 Google App Engine，还是 Salesforce 公司的 Force.com 都存在私有 API，应用不能跨平台。

4. 可伸缩性

PaaS 平台会自动调整资源来帮助运行于其上的应用更好地应对突发流量。IaaS 平台则需要开发人员手动对资源进行调整才能应对。

5. 整合率和经济性

PaaS 平台整合率非常高，如 PaaS 的代表 Google App Engine 能在一台服务器上承载成千上万的应用。而普通的 IaaS 平台的整合率最多不会超过 100 个，普遍在 10 个左右，使得 IaaS 的经济性不如 PaaS。

6. 计费 and 监管

PaaS 平台在计费和监管方面不仅达到了 IaaS 平台的操作系统层面（如 CPU 和内存的使用量），而且还能达到应用层面（如应用的反应时间或应用所消耗的事务多少等），这将提高计费和管理的精准性。

7. 学习难度

在 IaaS 上开发和管理应用的方式与常规方式比较接近，而在 PaaS 上开发则有可能需要学习一门新的语言或新的框架，所以 IaaS 学习难度相对低。

1.3 云计算的特点

1.3.1 基本特点

云计算运行在“云”上，“云”是一个由大量的硬件和软件组成的集合体，硬件通常指一个由高速网络连接在一起的计算机集群，云软件组织调配资源，提供图形化界面或 API 接口。

1. 超大规模

“云”具有超大的规模，Google 云计算拥有 100 多万台服务器，Amazon、IBM、微软、Yahoo 等的“云”也拥有几十万台服务器。一般大型企业的私有云也拥有数百台服务器。超大规模的计算机集群能赋予用户前所未有的计算能力。

2. 虚拟化

虚拟化包括资源虚拟化和应用虚拟化。资源虚拟化是指异构硬件在用户面前表现为统一资源；应用虚拟化是指应用部署的环境和物理平台无关，通过虚拟平台对应用进行扩展、迁移、备份，这些操作都是通过虚拟化层完成的，虚拟化技术支持用户在任意位置、使用各种终端获取应用服务，如大数据处理系统。使用虚拟化技术，用户所请求的资源来自“云”，应用在“云”中运行，用户无须了解，也不用担心应用运行的具体位置。只需要一台笔记本或一部手机，就可以通过网络服务实现用户需求，甚至包括超级计算这样的任务。

3. 动态可扩展

云计算能迅速、弹性地提供服务。服务使用的资源能快速扩展和快速释放。对用户来说，可在任何时间购买任何数量的资源。资源可以是计算资源、存储资源和网络资源等。与资源节点相对应的也有计算节点、存储节点和网络节点。如果所需资源无法达到用户需求，可通过动态扩展资源节点增加资源以满足需求。当资源冗余时，可以添加、删除、修改云计算环境的资源节点。冗余可以保证在任一资源节点异常宕机时，不会导致云环境中业务的中断，也不会导致用户数据的丢失。资源动态流转意味着在云计算平台下实现资源调度机制，资源可以流转到需要的地方。例如，在应用系统业务整体升高的情况下，可以启动闲置资源加入云计算平台中，提高整个云平台的承载能力以应付系统业务的升高。在整个应用系统业务负载低的情况下，可以将业务集中起来，将闲置下来的资源转入节能模式，提高部分资源利用率，以节省能源。

4. 按需部署

供应商的资源保持高可用和高就绪的状态，用户可以按需自助获得资源。按需分配是云计算平台支持资源动态流转的外部特征表现。云计算平台通过虚拟分拆技术，可以实现计算资源的同构化和可度量化，可以提供小到一台计算机，多到千台计算机的计算能力。按量计费源于效用计算，在云计算平台实现按需分配后，按量计费也成为云计算平台向外提供服务时的有效收费形式。

5. 高灵活性

现在大部分的软件和硬件都支持虚拟化，各种 IT 资源（如软件、硬件、操作系统、存储网络等）通过虚拟化放置在云计算虚拟资源池中进行统一管理。云计算能够兼容不同硬件厂商的产品，兼容低配置机器和外设，获得高性能计算。

6. 高可靠性

云计算平台把用户的应用和计算分布在不同的物理服务器上，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，即使单点服务器崩溃，仍然可以通过动态扩展功能部署新的服务器，增加各项资源容量，保证应用和计算的正常运转。

7. 高性价比

对物理资源的要求较低。可以使用廉价的 x86 结构 PC 组成计算机集群，采用虚拟资源池的方法管理所有资源，计算性能却可超过大型主机，性价比较高。

8. 支持海量信息处理

云计算在底层要面对各类众多的基础软、硬件资源，在上层需要同时支持各类众多的异构业务，具体到某一业务，往往也需要面对大量的用户。因此，云计算需要面对海量的信息交互，需要有高效、稳定的海量数据通信和存储系统的支撑。

9. 广泛的网络访问

可以通过各种网络渠道，以统一的机制获取服务。客户端的软件和硬件多种多样（如移动电话、笔记本电脑、PDA 等），只需连网即可。

10. 动态的资源池

供应商的计算资源可以被整合为一个动态资源池，以多租户模式服务所有用户，不同的物理和虚拟资源可根据用户需求动态分配。用户一般不需要知道资源的确切地理位置，但在需要的时候用户可以指定资源位置（如哪个国家，哪个数据中心等）。

11. 可计量的服务

服务的收费可以是基于计量的一次一付，或基于广告的收费模式。系统针对不同服务需求（如 CPU 时间、存储空间、带宽，甚至按用户的使用率高低）来计量资源的使用情况和定价，以提高资源的管控能力和促进优化利用。整个系统资源可以通过监控和报表的方式对服务提供者 and 使用者透明化。

云计算的发展极其迅速，但并非一直顺利。2015 年 1 月，Google Gmail 邮箱爆发全球性故障，服务中断时间长达 4 小时。据悉，此次故障是由于位于欧洲的数据中心例行性维护，导致欧洲另一个数据中心过载，连锁效应扩及其他数据中心，最终致使全球性的断线。3 月中旬，微软的云计算平台 Azure 停止运行约 22 小时。业内人士分析认为，Azure 平台的这次宕机与其中心处理和存储设备故障有关。除了 Google 和微软的云计算服务出现过状况外，亚马逊 S3 服务曾断网 6 小时。所以，需要进一步完善云计算技术，以满足用户的各方面需求，避免损失的发生。

1.3.2 云计算与其他集群计算

1. 云计算与网格计算

网格是在动态变化的分布式虚拟组织间共享资源、协同解决问题的系统。云计算是网格计算和虚拟化技术的融合，即利用网格分布式计算处理的能力，将 IT 资源构筑成一个资源池，使用成熟的服务器虚拟化、存储虚拟化技术，以使用户可以实时地监控和调配资源。云计算的概念涵盖了网格计算，还涉及企业级安全的因素。

云计算和网格计算的一个重要区别在于资源调度模式。云计算采用集群来存储和管理数据资源，运行的任务以数据为中心，调度计算任务到数据存储节点运行。网格计算以计算为中心，网格将数据和计算资源虚拟化，云计算进一步将硬件资源虚拟化，使用虚拟机技术对失败的任务重新执行，不必重启任务。

计算机集群（Computer Cluster）可以解决服务器单机性能不强的问题。网格计算则解决了集群计算不支持异构设备、资源无法动态伸缩的缺点。云计算能够有效解决网格计算无法同时支持异构多任务体系、无法实现资源动态流转的不足。可以说，云计算弥补了网格计算的不足，是网格计算的高级阶段。表 1.1 是云计算与网格计算的区别列表。

表 1.1 云计算和网格计算的主要区别

区别点	云计算	网格计算
发起者	工业界	学术界
标准化	否（开放云计算联盟 OCC）	是（有统一的国际标准 OGSA/WSRF）
开源	部分开源	是
互连网络	高速网络，低延时，高带宽	因特网，高延时，低带宽
关注点	数据密集型	计算密集型
节点	集群	分散的 PC 或服务器
获取的对象	提供的服务	共享的资源
安全保证	保证隔离性	公私钥技术，账户技术
节点操作系统虚拟化	多种操作系统上的虚拟机虚拟软硬件平台	相同的系统 UNIX 虚拟数据和计算资源
节点管理方式	集中式管理	分散式管理
易用性	用户友好	难以管理、使用
付费方式	按时付费	/
失败管理	虚拟机迁移到其他节点继续执行	失败的任务重启
对第三方插件的兼容性	易于兼容，通过提供不同的服务来兼容	难以兼容
自我管理方式	重新配置，自我修复	重新配置

2. 云计算与分布式计算

分布式计算是指在一个松散或严格约束条件下使用硬件和软件系统处理任务，系统包含多个处理器单元或存储单元、多个并发的过程、多个程序。一个程序被分成多个部分，同时在通过网络连接起来的计算机上运行。分布式计算类似于并行计算，但并行计算通常指一个程序的多个部分同时运行于某台计算机上的多个处理器上。所以，分布式计算通常需要处理异构环境、多样化的网络连接、不可预知的网络或计算机错误。云计算属于分布式计算的范畴，是以提供对外服务为导向的分布式计算形式。云计算把应用和系统建立在大规模的廉价 x86 服务器集群上，通过基础设施与上层应用程序的协同构建，以达到最大效率利用硬件资源的目的。云计算通过软件的方法容忍多个节点的错误，达到了分布式计算系统可扩展性和可靠性两个方面的目标。

3. 云计算与并行计算

并行计算就是在并行计算机上所做的计算，就是常说的高性能计算（High Performance Computing）、超级计算（Super Computing）。任何高性能计算和超级计算都离不开并行技术。并行计算仿真一个序列中含有众多同时发生的、复杂且相关事件的事务。近年来，随着硬件技术和新型应用的不断发展，并行计算也有了若干新的发展，如多核体系结构、云计算、个人高性能计算机等。云计算是并行计算的一种形式，也属于高性能计算、超级计算的形式之一。作为并行计算的最新发展计算模式，云计算对于服务器端的并行计算要求增强，因为数以万计用户的应用都是通过互联网在云端来实现的，其在带来用户工作方式和商业模式的根本性改变的同时，对大规模并行计算的技术提出了新的要求。

4. 云计算与效用计算

效用计算是一种基于计算资源使用量付费的商业模式，用户从计算资源供应商那里获取和使用计算资源并基于实际使用的资源付费。在效用计算中，计算资源视为一种计量服务，就像水、电、煤气等一样。传统企业数据中心的资源利用率普遍在 20%左右，这主要是因为超额部署，即购买比平均所需资源更多的硬件以便处理峰值负载。效用计算允许用户只为他们所需要用到并且已经用到的那部分资源付费。云计算以服务的形式提供计算、存储、应用资源的思想与效用计算非常类似。两者的区别不在于这些思想背后的目标，而在于组合到一起，使这些思想成为现实的技术。云计算是以虚拟化技术为基础的，提供最大限度的灵活性和可伸缩性。云计算服务提供商可以轻松地扩展虚拟环境，通过提供者的虚拟基础设施提供更大的带宽或计算资源。效用计算通常需要类似于云计算的基础设施的支持，但并不是一定需要。同样，在云计算之上可以提供效用计算，也可以不采用效用计算。

5. 云计算与虚拟化

虚拟化是云计算的技术基础，使用虚拟化技术可以将底层的硬件（包括服务器、存储与网络设备）全面虚拟化，建立一个按需而选的资源共享、分配、管控平台，再根据业务型态的不同需求，搭配出各种互相隔离的应用，形成一个以服务为导向的可伸缩的 IT 基础架构，为用户提供出租 IT 基础设施资源的云计算服务。

6. 云计算与 SaaS

SaaS 是指运营商通过搭建基于 Web 的软件平台，向企业提供软件线上租赁使用的模式，是云计算服务的一种用户端表现形式。而云计算还可以提供其他不同于 SaaS 形式的服务，如亚马逊的计算资源出租服务。云计算技术对 SaaS 提供商在解决硬件或带宽等资源不足方面是一种可选的技术路线，能够扩展 SaaS 提供商的服务范围，提升 SaaS 提供商对资源的利用率。

7. 云计算与 P2P

云计算和 P2P 都致力于资源共享，以达到资源利用率的最大化。在云计算架构中，计算机以集群的形式组织起来，由数据处理中心进行自动化的统一管理和资源分配。而 P2P 强调去中心化的理念，节点之间直接互连，弱化集中式的管理中心。P2P 是对等连网，强调互连双方的对等关系，直接交互共享资源，但资源整合利用的能力较低，纯 P2P 网络一般通过对等网络自身实现所设计的功能，本身很少对外提供可管控、可定制的服务。

1.4 云计算关键技术

云计算是分布式处理、并行处理和网格计算的发展，是一个集合了多种计算机技术的复杂而庞大的技术集合体。它的基本原理是：使用特定的软件按照指定的优先级和调度算法将计算或欲存储的数据分配到云环境中的各个节点，节点并行处理本地数据后控制节点回收合并结果。要实现云计算，必须研究和应用以下技术。

1. 云计算体系结构

云计算是运行在“云”上的，“云”将软件和硬件通过高速网络连接起来，再通过“云软件”管理并提供服务的。云计算体系结构表示“云”如何搭建的。“云”为了有效支持云计算，其关键特征应包括：系统必须是自治的，内嵌自动化技术，智能地响应应用的要求，可以减轻或消除人工部署和管理任务；云计算的架构必须是敏捷的，能够对需求信号或变化做出迅速的反应；内嵌的虚拟化技术和集群化技术，能应付增长或服务级要求的快速变化。

2. 弹性计算技术

按需部署是云计算的核心。要解决按需部署，必须解决资源的动态可重构、监控和自动化部署等。而这些又需要以虚拟化、高性能存储、处理器、高速互联网等技术为基础，所以云计算除了需要仔细研究其体系结构外，还要特别注意研究资源的动态可重构、自动化部署、资源监控、虚拟化、高性能存储、处理器等关键技术。

3. 存储管理运算技术

云计算是以数据为中心的一种数据密集型的超级计算。在数据存储、数据管理、编程模式、并发控制、系统管理等方面都具有其自身独特的技术要求。

4. 海量分布式存储技术

为保证高可用、高可靠和经济性，云计算采用分布式存储的方式来存储数据，其采用冗余存储的方式来保证数据的可靠性，为同一份数据存储多个副本，以高可靠架构和软件、数据的冗余来弥补硬件的不可靠，提供廉价可靠的系统。云计算系统需要同时满足大量用户的需求，并行地为大量用户提供服务。因此，云计算的数据存储技术必须具有高吞吐率和高传输率的特点。云计算的数据存储技术主要有谷歌的 GFS (Google File System) 和 Hadoop 开发团队开发的 HDFS (Hadoop Distributed File System, GFS 的开源实现)。大部分 IT 厂商 (如 Yahoo、Intel) 的云计划都是采用 HDFS 数据存储技术。

5. 并行编程模式

为了高效利用云计算的资源，使用户能更轻松享受云计算带来的服务，云计算的编程模型必须保证后台复杂的并行执行和任务调度，向用户和编程人员透明。云计算采用 MapReduce 编程模型，将任务自动分成多个子任务，通过 Map 和 Reduce 两步实现任务在大规模计算节点中的调度和分配。该模型是一种处理和产生大规模数据集的编程模型，其不仅仅是一种编程模型，同时也是一种高效的调度模型。这种编程模型并不仅适用于云计算，在多核和多处理器、Cell Processor 及异构机群上同样具有良好的性能。在 MapReduce 编程模型中，执行程序 5 个步骤包括：① 输入文件；② 将文件分配给多个计算节点并行地执行 Map；③ 写中间文件（本地写）；④ 多个 Reduce 节点计算机同时运行；⑤ 输出最终结果。

程序员在 Map 函数中指定对各分块数据的处理过程，在 Reduce 函数中指定如何对分块数据处理的中间结果进行归约，用户只需要指定 Map 和 Reduce 函数来编写分布式的并行程序即可。

在集群上运行 MapReduce 程序时，程序员不需要关心如何将输入的数据分块、分配和调度，这些工作都由系统软件完成，同时系统还将处理集群内节点失败及节点间通信的管理等。

本地写中间文件在减少了对网络带宽压力的同时也减少了写中间文件的时间耗费。执行

Reduce 时，根据主控节点计算机获得的中间文件的位置信息，Reduce 使用远程过程调用，从中间文件所在节点读取所需的数据。

MapReduce 模型具有很强的容错性，当计算节点出现错误时，只需要将该计算节点屏蔽在系统外等待修复，并将该计算节点上执行的程序迁移到其他计算节点上重新执行，同时将该迁移信息通过主控节点发送给需要该节点处理结果的节点。MapReduce 使用检查点的方式来处理主控节点出错失败的问题，当主控节点出现错误时，可以根据最近的一个检查点重新选择一个节点作为主控节点，并由此检查点位置继续运行。

MapReduce 通过“Map（映射）”和“Reduce（化简）”进行运算，用户只需要提供自己的 Map 函数及 Reduce 函数就可以在集群上进行大规模的分布式数据处理。MapReduce 不仅是一种编程模型，同时也是一种高效的任务调度模型，该编程模型仅适用于编写任务内部松耦合、能够高度并行化的程序。

6. 数据管理技术

为了能够对大型数据进行高效的分析处理和特定数据的快速搜索，云计算系统必须具备的数据管理技术如下：可存储海量数据，读取海量数据后进行大量的分析，数据的读操作频率要远大于数据的更新频率，列存储的数据管理模式，列存储的读优化数据管理。云计算的数据管理技术中最著名的是 Google 的 BigTable 数据管理技术。Hadoop 也拥有类似 BigTable 的开源数据管理模块 HBASE。由于采用列存储的方式管理数据，如何提高数据的更新速率，以及进一步提高随机读速率，将是未来数据管理技术必须解决的问题。

7. 分布式资源管理技术

在并发执行环境下，分布式资源管理系统是保证系统状态正确性的关键技术。系统状态需要在计算机集群中的节点之间同步，关键节点出现故障时需要使用迁移服务。分布式资源管理技术通过锁机制协调多任务对于资源的使用，从而保证数据操作的一致性。Google 的 Chubby 是著名的分布式资源管理系统。

8. 云计算平台管理技术

云计算资源规模庞大，一个系统的服务器数量可能会高达 10 万台，数据中心可能跨越几个不同物理地点，系统中同时运行成百上千种应用。如何有效地管理这些数据服务器，保证服务器组成的系统能够提供 7×24h 的不间断服务是一个巨大的挑战。云计算系统管理技术能够使大量的服务器协同工作，方便地进行业务部署和开通，快速发现和恢复系统故障。其通过自动化、智能化实现大规模系统的可运营、可管理。

1.5 云计算应用

1.5.1 云计算平台

目前，Google、Amazon、IBM、Microsoft、Sun 等公司提出的云计算基础设施或云计算平台对于研究云计算具有一定的参考价值。当然，针对目前商业云计算解决方案存在的种种问题，开源组织和学术界也纷纷提出了相应的云计算系统或平台解决方案。

1. Google 云计算平台

Google 是云计算最大的实践者，运营最接近云计算特征的商用平台——在线应用服务托管平台 Google 应用引擎（GAE）。软件开发者可以在此之上编写应用程序，企业用户可以使用其定制化的网络服务。例如，开发人员根据提供的服务可以编译基于 Python 的应用程序，并可免费使用 Google 的基础设施进行托管（最高存储空间达 500MB）。对于超过上限的存储空间，Google 按“每 CPU 内核每小时”10~12 美分及 1GB 空间 15~18 美分的标准进行收费。典型的应用方式有 Gmail、Google Picasa Web 及可收费的 Google 应用软件套件。

Google 的云计算基础设施最初是在为搜索应用提供服务的基础上逐步扩展的，针对内部网络数据规模大的特点，Google 提出了一整套基于分布式并行集群方式的基础架构。主要由分布式文件系统 Google File System（GFS）、大规模分布式数据库 Big Table、程序设计模式 MapReduce、分布式锁机制 Chubby 等几个相互独立又紧密结合的系统组成。GFS 是一个分布式文件系统，它能够处理大规模的分布式数据，每个 GFS 集群由一个主服务器和多个块服务器组成，被多个客户端访问。主服务器负责管理元数据、存储文件和块的命名空间、文件到块之间的映射关系及每一个块副本的存储位置；块服务器存储块数据，文件被分割成固定尺寸（64MB）的块，块服务器把块作为 Linux 文件保存在本地硬盘上。为了保证可靠性，每个块默认保存 3 个备份。主服务器通过客户端向块服务器发送数据请求，而块服务器则将取得的数据直接返回给客户端。

2. 开源云计算平台

Hadoop 是 Apache 基金会的开源云计算平台项目（分布式系统基础架构），是从 Nutch 项目发展而来的，专门负责分布式存储及分布式运算的项目。由于 Yahoo、Amazon 等公司的直接参与和支持，已成为目前应用最广、最成熟的云计算开源项目。Hadoop 由分布式文件系统 HDFS（Hadoop Distributed File System）、分布式计算模型 MapReduce、锁服务、结构化数据存储附属等组成，是 Google 文件系统与 MapReduce 分布式计算框架及相关基础服务的开源实现。此外，国内外很多开源云计算平台项目也都提出了较为完整的体系结构设计，比较成熟的包括 AbiCloud、Eucalyptus、MongoDB、ECP、Nimbus 等项目，这些均有助于对云计算平台的理解。

3. Amazon 的 AWS 云服务

Amazon 是以在线书店和电子零售业发展起来的，如今已在业界享有盛誉，它的云计算服务不涉及应用层面的计算，主要是基于虚拟化技术提供底层的可通过网络访问的存储、计算机处理、信息排队和数据库管理系统等租用式服务。Amazon 的云计算建立在其公司内部的大规模集群计算的平台之上，并提供托管式的计算资源出租服务，用户可以通过远端的操作界面选择和使用服务。

Amazon 是最早提供云计算服务的公司之一，该公司的弹性计算云（Elastic Compute Cloud, EC2）平台建立在公司内部的大规模计算机、服务器集群上，平台为用户提供网络界面操作在“云端”运行的虚拟机实例。用户只需为自己所使用的计算平台实例付费，运行结束后计费也将随之结束。弹性计算云用户使用客户端，通过 SOAP over HTTP 协议与 Amazon 弹性计算云内部的实例进行交互。弹性计算云平台为用户或开发人员提供了一个虚拟的集群环境，在用户具有充分灵活性的同时，也减轻了云计算平台拥有者（Amazon 公司）的管理负

担。弹性计算云中的每一个实例代表一个运行中的虚拟机。用户对自己的虚拟机具有完整的访问权限，包括针对此虚拟机操作系统的管理员权限。虚拟机的收费也是根据虚拟机的能力进行费用计算的。实际上，用户租用的是虚拟的计算能力，通过这种方式，用户不必自己去建立云计算平台。总之，Amazon 通过提供弹性计算云，满足了小规模软件开发人员对集群系统的需求，减小了维护负担。其收费方式相对简单明了，用户只需为这一部分使用的资源付费即可。图 1.3 是 Amazon 云服务平台提供的服务。

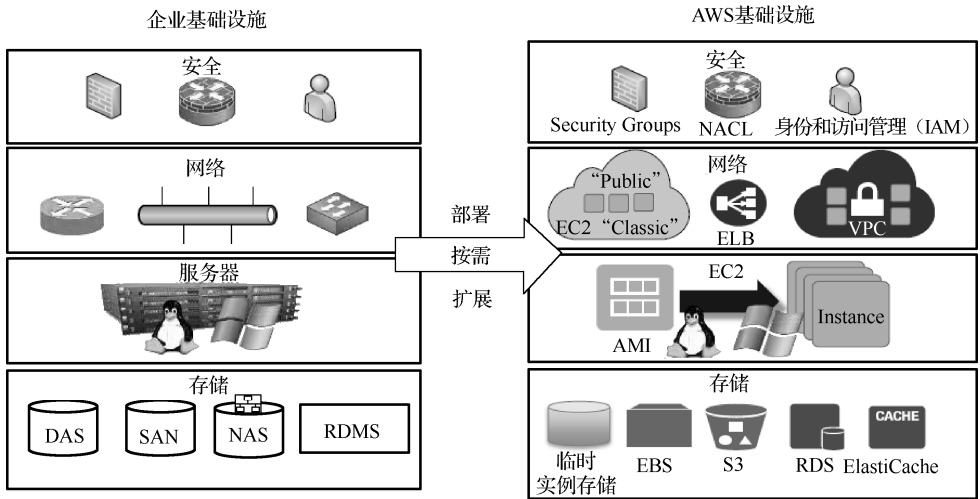


图 1.3 Amazon 云服务平台服务

4. IBM 的 SmartCloud 云计算平台

IBM 的 SmartCloud 云计算平台是一套软、硬件平台，将 Internet 上使用的技术扩展到企业平台上，使数据中心可使用类似于互联网的计算环境。它由一个数据中心、IBM Tivoli 监控软件 (Tivoli Monitoring)、IBM DB2 数据库、IBM Tivoli 部署管理软件 (Tivoli Provisioning Manager)、IBM WebSphere 应用服务器和开源虚拟化软件，以及一些开源信息处理软件共同组成。SmartCloud 采用了 Xen、PowerVM 虚拟技术和 Hadoop 技术，以期帮助用户构建云计算环境。SmartCloud 的特点主要体现在虚拟机及其所采用的大规模数据处理软件 Hadoop 上，侧重云计算平台的核心后端，未涉及用户界面。由于该架构是完全基于 IBM 公司的产品设计的，所以也可以理解为 SmartCloud 产品架构。2008 年 2 月，IBM 成功在无锡科教产业园设立中国第一个商业化运营的云计算中心。它提供了一个可运营的支撑体系，当一个公司入驻科教产业园后，其部分软、硬件可以通过云计算中心来获取和使用，大大降低了基础设施的建设成本。

5. 微软的 Azure “蓝天” 云平台

微软于 2008 年 10 月推出了 Windows Azure 操作系统，是继 Windows 取代 DOS 之后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。微软的 Azure 云平台包括 4 个层次：底层是微软全球基础服务 (Global Foundation Service, GFS) 系统，由遍布全球的第四代数据中心构成；云基础设施服务 (Cloud Infrastructure Service) 层以 Windows Azure 操作系统为核心，主要从事虚拟化计算资源管理和智能化任务

分配；Windows Azure 之上是一个应用服务平台，它发挥着构件的作用，为用户提供一系列的服务，如 Live 服务、NET 服务、SQL 服务等；再往上是微软提供给开发者的 API、数据结构和程序库，是微软为用户提供的服务（Finished Service），如 Windows Live、Office Live、Exchange Online 等。

6. Sun 云基础设施

Sun 提出的云基础设施体系结构包括服务、应用程序、中间件、操作系统、虚拟服务器和物理服务器，形象地体现了其提出的“云计算可描述在从硬件到应用程序的任何传统层级提供的服务”的观点。Sun 公司已被甲骨文公司合并。

1.5.2 云计算衍生产品

1. 云存储

云存储是在云计算概念上延伸和发展出来的一个新的概念，是指通过集群应用、网络技术或分布式文件系统等功能，将网络中大量不同类型的存储设备通过应用软件集合起来协同工作，共同对外提供数据存储和业务访问功能的一个系统。

当云计算系统运算和处理的核心是大量数据的存储和管理时，云计算系统就需要配置大量的存储设备，那么云计算系统就转变成为一个云存储系统，所以云存储是一个以数据存储和管理为核心的云计算系统。

2. 云安全

云安全是在互联网和云计算融合的时代，信息安全的最新发展，包括以下两方面内容。

（1）云安全技术（云计算技术在安全领域的应用）

云安全技术指的是信息安全产品和服务提供商利用云计算技术手段提供信息安全服务的模式，属于云计算 SaaS 模式的一种。瑞星、趋势科技、卡巴斯基、McAfee、Symantec、江民科技、熊猫安全、金山、360 安全卫士等都推出了云安全解决方案。云安全的核心是对海量未知恶意文件或网页的实时处理。

云安全是网络时代信息安全的最新体现，其融合了并行处理、网格计算、未知病毒行为判断等新兴技术和概念，通过网状的大量客户端对网络中软件行为的异常进行监测，获取互联网中木马、恶意程序的最新信息，推送到服务端进行自动分析和处理，再把病毒和木马的解决方案分发到每一个客户端。

简单理解就是通过互联网达到“反病毒厂商的计算机群”与“用户终端”之间的互动。云安全不是某款产品，也不是解决方案，它是基于云计算技术演变而来的一种互联网安全防护理念。

（2）云计算安全（安全技术云计算平台的应用）

云计算安全是利用安全技术，解决云计算环境的安全问题，提升云体系自身的安全性，保障云计算服务的可用性、数据机密性、完整性和隐私保护等，保证云计算健康可持续地发展，是对信息安全和云服务本身的安全提出的新要求的解决方案和技术，主要集中在安全体系结构、虚拟化、隐私、审计、法律等方面，包括数据加密、密钥管理、应用安全、网络安全、管理安全、传输安全、虚拟化安全等。

云计算安全的关键技术主要分为数据安全、应用安全、虚拟化安全。数据安全的研究主要有数据传输安全、数据隔离、数据残留等方面；应用安全包括终端用户安全、服务安全、基础设施安全等；虚拟化安全主要来源于虚拟化软件的安全和虚拟化技术的安全。

云计算安全研究目前还处于初步阶段，主要研究者和推动者包括：云安全联盟（Cloud Security Alliance, CSA），主要推广云安全实践，提供安全指引；云服务提供商（Amazon、Microsoft、IBM 等），主要通过身份认证、安全审查、数据加密、系统冗余等技术和手段提高业务平台的健壮性、服务连续性和数据安全性。

云安全的核心技术或研究方向包括：大规模分布式并行计算技术、海量数据存储技术、海量数据自动分析和挖掘技术、海量恶意网页自动检测、海量白名单采集及自动更新、高性能并发查询引擎、未知恶意软件的自动分析识别技术、未知恶意软件的行为监控和审计技术等。

3. 其他

在游戏、教育、通信和娱乐等领域，云计算同样应用广泛，基本思想与以上方式类似。

1.6 小结

Amazon 公司的 AWS 是 IaaS 的典型代表，该公司为了应对业务高峰期的需求，必须准备充足的软、硬件系统，业务不忙时资源将闲置。为了提高资源利用率，Amazon 推出了 EC2 和 S3 共享计算与存储资源。Google 的大数据处理系统 PaaS 平台是为了使用相对廉价的 x86 服务器进行高性能运算而设计的。可见云计算的产生和发展与企业对信息处理技术的需求息息相关。

云计算是分布式处理、并行处理和网格计算的发展，其主要包含如下特点：① 按需自助服务。供应商的资源保持高可用和高就绪的状态，用户可按需、自助获得资源。② 泛在的网络访问。可以通过各种网络渠道，以统一的标准获取服务。③ 动态资源池。供应商的计算资源可以被整合为一个动态资源池，以多租户模式服务所有用户，不同的物理和虚拟资源可根据用户需求动态分配。④ 快速、弹性。可以迅速、弹性地提供服务，快速扩展，也可以快速释放，实现快速缩小。⑤ 可计量的服务。服务的收费可以是基于计量的一次一付，或基于广告的收费模式，整个系统资源可以通过监控和报表的方式对服务提供者 and 使用者透明化。云计算的三个服务模式是 SaaS、PaaS 和 IaaS。SaaS 提供给用户的服务是运营商运行在云计算基础设施上的应用程序，用户可以在各种设备上访问；PaaS 提供给用户的服务是将用户的应用程序部署到供应商的云计算基础设施上。IaaS 提供给用户的服务是对所有设施的利用，包括处理、存储、网络和其他基本的计算资源。云计算系统的部署方式为私有云（Private Cloud）和公有云（Public Cloud）。

实现云计算的特点和服务，需要研究多种云计算技术，包括云计算体系结构、弹性计算技术、存储管理运算技术、海量分布式存储技术、并行编程模式、数据管理技术、分布式资源管理技术、云计算平台管理技术等。基于以上技术的研究成果，目前 Google、Amazon、IBM、Microsoft、Sun 等公司提出了云计算基础设施或云计算平台。随着云计算的发展，还出现了一些衍生产品，如云存储、云安全、云游戏等。

深入思考

1. 云计算的 5-3-2 原理是什么？
2. 云存储、云安全和云游戏分别都属于哪种服务模式？
3. 目前提供 PaaS 开发平台的云服务提供商有哪些？使用其平台可以开发什么样的程序？
4. 试述 Amazon 公有云服务都有哪些类型，分别提供什么服务。
5. 为什么要研究云计算安全？云计算有哪些缺陷？
6. 分布式计算、并行计算、网格计算和云计算都有什么异同？
7. 云安全的并行计算体现在哪些方面？