

基于虚拟化技术的

云计算架构的

技术与实践探究

◎ 韦鹏程 贺方成 黄思行 著



电子科技大学出版社

University of Electronic Science and Technology of China Press



前言

现在的社会是一个高速发展的社会，科技发达，信息流通，人们之间的交流越来越密切，生活也越来越方便，大数据就是这个高科技时代的产物。阿里巴巴创办人马云就提到，未来的时代将不是 IT 时代，而是 DT 的时代。DT 就是 Data Technology 数据科技，显示大数据对于阿里巴巴集团来说举足轻重。

随着网络带宽的不断增长，通过网络访问非本地的计算服务（包括数据处理、存储和信息服务等）的条件越来越成熟，于是就有了今天我们称作“云计算”的技术。之所以称作“云”，是因为计算设施不在本地而在网络中，用户不需要关心它们所处的具体位置，于是我们就像以前画网络图那样，用“一朵云”来代替了。其实，云计算模式的形成由来已久（Google 公司从诞生之初就采用了这种模式），但只有当宽带网普及到一定程度，且网格计算、虚拟化、SOA 和容错技术等成熟到一定程度并融为一体，又有业界主要大公司的全力推动和吸引人的成功应用案例时，它才如同一颗新星闪亮登场。

云计算是随着多核处理器、虚拟化、分布式存储、宽带互联网和自动化管理技术发展而产生的一种新的计算模式。本质上，云计算是终端用户通过远程连接，获取存储、计算、数据库等计算资源。网站或业务系统处理的数据呈现爆发式增长，用户的数量也在快速增长。随着移动终端的智能化、移动宽带的普及，越来越多的移动设备接入互联网，现有 Web 服务器的技术已经越来越不能满足海量数据的服务请求。于是，以 GFS、SAN 为代表的高性能存储技术出现了。服务器的整合需求推动虚拟化安全的发展和进化、多核技术的广泛应用、SaaS 的出现和普及等，所有这些最终导致云计算的产生。

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，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。云是网络、互联网的一种比喻说法。过去在图中往往用云来表示电信网，后来也用来表示互联网和底层基础设施的抽象。因此，云计算甚至可以让你体验每秒 10 万亿次的运算能

力，利用这么强大的计算能力可以模拟核爆炸、预测气候变化和市场发展趋势。用户通过电脑、笔记本、手机等方式接入数据中心，按自己的需求进行运算。

云计算的影响将是深远的，它将彻底改变 IT 产业的架构和运行方式。虚拟化实现了 IT 资源的逻辑抽象和统一表示，在大规模数据中心管理和解决方案交付方面发挥着巨大的作用，是支撑云计算伟大构想的最重要的技术基石。

本书对虚拟化技术与云计算进行分析，首先通过分析云计算的起源与发展，从而了解云计算再分析研究特征模型及云计算机制作为与云计算密切相关的虚拟化技术。通过对服务器虚拟化、储存虚拟化、网络虚拟化以及桌面虚拟化的理论与实践分析，结合虚拟化与云计算安全研究，从而对绿色云计算有一定的了解。结合 Google 云计算和虚拟化技术的实践，探索云计算的应用前景。

本专著由重庆第二师范学院韦鹏程教授，贺方成，黄思行等三位教师完成，并得到重庆市交互式教育电子工程技术研究中心、重庆市儿童大数据工程实验室和重庆第二师范学院计算机科学与技术重点学科支持，在此表示感谢

由于时间仓促，编者水平有限，本书难免存在不足之处，在此出版之际，我们真诚地希望读者对本书提出宝贵的意见和建议。



目 录

第一章 云计算的概述 / 001

第一节 云计算的起源与影响 / 001

第二节 角色与边界 / 006

第三节 目标与收益 / 008

第二章 云计算的特征模型与发展 / 011

第一节 云特性 / 011

第二节 云交付模型 / 013

第三节 云部署模型 / 015

第四节 云计算的挑战与发展 / 017

第三章 虚拟化技术 / 021

第一节 虚拟化技术简介 / 021

第二节 服务器虚拟化分析 / 022

第三节 存储虚拟化分析 / 029

第四节 网络虚拟化分析 / 031

第五节 桌面虚拟化分析 / 035

第四章 面向传感器的虚拟化技术应用研究 / 037

第一节 传感网虚拟化体系结构及解决方案 / 037

第二节 基于 SNMP 的传感网通信协议的改进 / 043

第三节 传感网虚拟化系统的设计与实现 / 050

第五章	基于云计算的传感器智能车辆导航系统研究 / 060
第一节	智能车导航定位系统的特征分析 / 060
第二节	基于机器视觉筛选 GPS 卫星信号的组合导航方案 / 072
第三节	基于云计算的智能车组合导航滤波算法 / 079
第四节	智能车与智能手机软件的结合 / 083
第六章	服务器虚拟化系统的可用性分析 / 089
第一节	可用性技术 / 089
第二节	系统结构 / 098
第三节	虚拟化模型分析 / 102
第七章	桌面模拟化架构系统研究 / 109
第一节	桌面虚拟化架构总体设计 / 109
第二节	桌面服务器端功能 / 110
第三节	Broker 中间件 / 114
第四节	云终端的功能 / 118
第八章	支持绿色云计算的资源调度技术 / 120
第一节	支持绿色云计算的资源调度框架及关键技术分析 / 120
第二节	支持绿色云计算的 QoS 增强的资源调度方法 / 130
第三节	支持绿色云计算的能耗与性能权衡的资源调度技术 / 137
第四节	支持绿色云计算的科学 workflows 应用分析与研究 / 145
第九章	虚拟化技术与云计算安全解析 / 152
第一节	安全基础分析 / 152
第二节	虚拟环境的威胁 / 156
第三节	设计安全的虚拟网络 / 161
第四节	保护虚拟机 / 175
第五节	云内灾难恢复机制 / 178

第十章 Google 云计算原理及应用分析 / 183

第一节 Google 文件系统 GFS / 183

第二节 分布式数据和处理 / 188

第三节 分布式锁服务 / 194

第四节 分布式结构化数据表 / 207

第五节 分布式存储系统 / 218

第六节 内存大数据分析系统 / 229

第十一章 云计算的未来展望 / 237

第一节 云计算对未来 IT 产业的影响 / 237

第二节 云计算带来的变革 / 243

第三节 展望未来的云数据中心 / 245

第四节 云计算对企业信息生命的影响 / 252

第五节 云开放的契机 / 255

参考文献 / 262

第一章 云计算的概述

第一节 云计算的起源与影响

一、简要历史

“云”中计算的想法可以追溯到效用计算的起源，这个概念是计算机科学家 John McCarthy 在 1961 年公开提出的：“如果我倡导的计算机能在未来得到使用，那么有一天，计算机也可能像电话一样成为公用设施。计算机应用（computer utility）将成为一种全新的、重要的产业基础。”

1969 年，ARPANET 项目的首席科学家 Leonard Kleinrock 表示：“现在，计算机网络还处于初期阶段，但是随着网络的进步和复杂化，我们将可能看到‘计算机应用’的扩展……”

从 20 世纪 90 年代中期开始，普通大众已经开始以各种形式使用基于 Internet 的计算机应用，比如：搜索引擎（Yahoo!、Google）、电子邮件（Hotmail、Gmail）、开放的发布平台（MySpace、Facebook、YouTube），以及其他类型的社交媒体（Twitter、LinkedIn）。虽然这些服务是以用户为中心的，但是它们普及并且验证了形成现代云计算基础的核心概念。

20 世纪 90 年代后期，Salesforce.com 率先在企业中引入远程提供服务的概念。2002 年，Amazon.com 启用 Amazon Web 服务平台，该平台是一套面向企业的服务，提供远程配置存储、计算资源以及业务功能。

20 世纪 90 年代早期，在整个网络行业出现了“网络云”或“云”这一术语，但其含义与现在的略有不同。它是指异构公共或半公共网络中数据传输方式派生



出的一个抽象层，显然蜂窝网络也使用“云”这个术语，但是这些网络主要使用分组交换。此时，组网方式支持数据从一个端点（本地网络）传输到“云”（广域网），然后继续传递到特定端点。由于网络行业仍然引用“云”这个术语，所以，这是相关的，并且被认为是较早采用的奠定效能计算基础的概念。

直到 2006 年，“云计算”这一术语才出现在商业领域。在这个时期，Amazon 推出其弹性计算云服务，使得企业通过“租赁”计算容量和处理能力来运行其企业应用程序。同年，Google Apps 也推出了基于浏览器的企业应用服务。三年后，Google 应用引擎成为另一个里程碑。

二、定义

Gartner 公司在其报告中将云计算放在战略技术领域的前沿，进一步重申了云计算是整个行业的发展趋势。在这份报告中，Gartner 公司将云计算正式定义为：“……一种计算方式，能通过 Internet 技术将可扩展的和弹性的 IT 能力作为服务交付给外部用户。”

这个定义对 Gartner 公司 2008 年的原始定义做了一点修订，将原来的“大规模可扩展性”修改为“可扩展的和弹性的”。这表明了可扩展性与垂直扩展能力相关的重要性，而不仅仅与规模庞大相关。

Forrester Research 公司将云计算定义为：“……一种标准化的 IT 性能（服务、软件或者基础设施），以按使用付费和自助服务方式，通过 Internet 技术进行交付。”

该定义被业界广泛接受，它是由美国国家标准与技术研究院（NIST）制定的。早在 2009 年，NIST 就公布了其对云计算的原始定义。随后在 2011 年 9 月，根据进一步评审和企业意见，发布了修订版定义：“云计算是一种模型，可以实现随时随地、便捷地、按需地从可配置计算资源共享池中获取所需的资源（例如，网络、服务器、存储、应用程序及服务），资源可以快速供给和释放，使管理的工作量和服务提供者的介入降低至最少。这种云模型由五个基本特征、三种服务模型和四种部署模型构成。”

三、商业驱动力

（一）容量规划

容量规划是确定和满足一个组织未来对 IT 资源、产品和服务需求的过程。这里的“容量”（capacity）是指在一段给定时间内，一个 IT 资源能够提供的最大工



作量。IT 资源容量与其需求之间的差异会导致系统效率低下（过度配置）或是无法满足用户需求（配置不足）。容量规划的重点就是将这个差异最小化，以便系统获得预期的效率和性能。

容量规划策略分为如下三种类型：

- 领先策略——根据预期增加 IT 资源的容量。
- 滞后策略——当 IT 资源达到其最大容量时增加资源容量。
- 匹配策略——当需求增加时，小幅增加 IT 资源容量。

由于需要估计“使用负载”的变化，因此，容量规划颇具挑战性。在不过度配置基础设施的同时，要不断平衡峰值使用需求。比如，若按照最大使用负载配置 IT 资源，就会出现不合理的资金投入。反之，有限的投资就会导致配置不足，导致由于使用限度降低而出现交易损失和使用受限。

（二）降低成本

IT 成本与业务性能之间的恰好平衡是很难保持的。IT 环境的扩展总是与对其最大使用需求的评估相对应，这可以让不断增加的投资自动支持新的、扩展的业务。大部分所需资金都注入基础设施的扩建中，这是因为，给定的自动化解决方案的使用潜力总是受限于底层基础设施的处理能力。

需要考虑的成本分为两种：获得新基础设施的成本和保有其所有权的成本。运营开销在 IT 预算中占了大部分，往往超过了前期投资成本。

常见的与基础设施相关的运营成本有如下几种形式：

- 为保证环境正常运行所需的技术人员。
- 引入额外测试和部署周期的更新和补丁。
- 电源和制冷所需的水电费和资金支出。
- 维护和加强基础设施资源保护的安全和访问控制措施。
- 为跟踪许可证和支持部署安排所需要的行政和财务人员。

持续的内部技术基础设施所有权带来的是沉重负担，这会对企业预算造成多重影响。因此，IT 部门可能成为一个主要的——有时甚至是绝对的——花钱部门，它能潜在地抑制企业的反应能力、盈利能力和总体发展。

（三）组织灵活性

企业需要有适应和进步的能力，以便成功应对由于各种因素而导致的变化。组织灵活性是组织对变化响应程度的衡量。

IT 企业常常需要应对行业变化，通常采取的措施是在原来预期或计划的 IT 资



源规模上进行扩展。比如，若预算不足，使得原来的容量规划打折，那么即使预见使用波动，不足的基础设施也可能妨碍组织对此做出响应。

在其他情况下，变化的业务需求和优先级也会要求 IT 资源具备更高的可用性和可靠性。比如，即使有足够的基础设施来应对预期的使用波动，也可能由于应用自身的特点降低托管服务器的性能，造成运行异常。由于在基础设施内缺乏可靠性控制，那么，对用户或用户需求的响应可能会导致业务的持续性受到威胁。

从更广泛的范围来说，采用新的扩展业务自动化解决方案，所需要的预付投资以及基础设施所有权成本可能会使企业望而却步。企业会勉强接受差强人意的 IT 基础设施质量，因而降低企业满足现实世界需求的能力。

更糟的是，企业在审查其基础设施预算后，可能决定完全不采用自动化解决方案，原因非常简单，那就是企业无法负担该预算。但是，这种无法应对的结果将使得企业无法紧跟市场需求、对抗竞争压力以及实现其战略目标。

四、技术创新

成熟技术通常是新技术创新的灵感来源，它是新技术创新衍生和建立的实际基础。这里简要介绍了对云计算产生主要影响的前期技术。

（一）集群化

集群是一组互联的独立 IT 资源，以整体形式工作。由于集群固有的冗余和容错特性，当其可用性和可靠性提高时，系统故障率就会降低。

硬件集群的一个必备条件是，它的组件系统由基本相同的硬件和操作系统构成。这样，当一个故障组件被其他组件替代后，集群仍能达到差不多的性能水平。构成集群的组件设备通过专用的高速通信链路来保持同步。

内置冗余和故障转移是云平台的核心概念。

（二）网格计算

计算网格（或“计算的网格”）为计算资源提供了一个平台，使其能组织成一个或多个逻辑池。这些逻辑池统一协调为一个高性能分布式网格，有时也称为“超级虚拟计算机”。网格计算与集群的区别在于，网格系统更加松耦合，更加分散。因此，网格计算系统可以包含异构的，且处于不同地理位置的计算资源，而集群计算系统一般不具备这种特性。

从 20 世纪 90 年代早期开始，网格计算作为计算科学的一部分，其研究工作一直持续着。



网格计算项目取得的技术成就影响了云计算平台和机制的方方面面，尤其是通用特性，比如网络接入、资源池、可扩展性和可恢复性。这些特性均以各自特有的形式呈现在网格计算和云计算中。

比如，网格计算以中间件层为基础，这个中间件层是在计算资源上部署的。这些 IT 资源构成一个网格池，实现一系列负载分配和协调功能。中间层可以包含负载均衡逻辑、故障转移控制和自动配置管理，这些都启发了类似的——有些甚至是更复杂的——云计算技术。因此，有些观点认为云计算是早期网格计算的衍生品。

（三）虚拟化

虚拟化是一个技术平台，用于创建 IT 资源的虚拟实例。虚拟化软件层允许物理 IT 资源提供自身的多个虚拟映像，这样多个用户就可以共享它们的底层处理能力。

虚拟化技术出现之前，软件只能被绑定在静态硬件环境中。而虚拟化则打断了这种软硬件之间的依赖性，因为在虚拟化环境中运行的仿真软件可以模拟对硬件的需求。

在一些云特性和云计算机制中能发现现有的虚拟化技术的影子，这些技术启发了云计算的某些核心特性。随着云计算的演化，出现了现代虚拟化技术，这些技术克服了传统虚拟化平台在性能、可靠性和可扩展性等方面的局限性。

作为当代云技术的基础，现代虚拟化技术提供了各种虚拟化类型和技术层次。

（四）技术创新与使能技术

还有其他几个技术也很重要，它们一直都影响着现代云平台技术。这就是云使能技术。

- 宽带网络和 Internet 架构
- 数据中心技术
- （现代）虚拟化技术
- Web 技术
- 多租户技术
- 服务技术

在云计算正式出现之前，每种云使能技术都以某种形式存在着。随着云计算的演进，有些技术更加精进了，而有些技术则被重新定义了。



第二节 角色与边界

依照它们与云以及承载云的 IT 资源之间的关系和如何与它们进行交互，组织机构与人可以担任不同类型的、事先定义好的角色。每个角色参与基于云的活动并履行与之相关的职责。

一、云提供者

提供基于云的 IT 资源的组织机构就是云提供者。如果角色是云提供者，则该组织机构要依据每个 SLA 保证，负责向云用户保证云服务可用。云提供者还有一个任务就是必要的管理和行政职责，保证整个云基础设施的持续运行。

云提供者通常拥有 IT 资源，这些 IT 资源可供云用户租用；不过，有些云提供者也会“转售”从其他云提供者那里租来的 IT 资源。

二、云用户

云用户是组织机构（或者人），他们与云提供者签订正式的合同或者约定来使用云提供者提供的可用的 IT 资源。具体来说，云用户使用云服务用户来访问云服务。如图 1-1 所示。

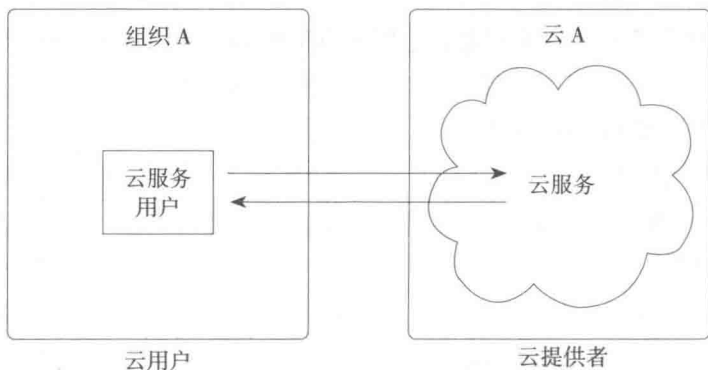


图 1-1 云用户（组织 A）与来自云提供者（拥有云 A）的云服务进行交互。在组织 A 内，使用云服务用户来访问云服务



三、云服务拥有者

在法律上拥有云服务的个人或者组织称为云服务拥有者。云服务拥有者可以是云用户，或者是拥有该云服务所在的云的云提供者。

例如，云 X 的云用户或是云 X 的云提供者可以拥有云服务 A。

拥有第三方云托管的云服务的云用户不一定是该云服务的使用者（或者用户）。为了向一般公众提供可用的云服务，一些云用户在其他方拥有的云中开发和部署云服务。

云服务拥有者之所以不叫云资源拥有者是因为云服务拥有者这一角色只适用于云服务。

四、云资源管理者

云资源管理者是负责管理基于云的 IT 资源（包括云服务）的人或者组织。云资源管理者可以是（或者属于）云服务所属的云的云用户或云提供者。还有一种可能性是，云资源管理者可以是（或者属于）签订了合约来管理基于云的 IT 资源的第三方组织。

例如，云服务拥有者可以签约一家云资源管理者来管理云服务。

之所以不把云资源管理者称为“云服务管理者”，是因为这个角色可能要管理不以云服务形式存在但又基于云的 IT 资源。例如，如果云资源管理者属于云提供者（或者与之签订有合同），那么不能通过远程访问的 IT 资源可以由这样的角色来管理（而这种类型的 IT 资源不归类为云服务）。

五、其他角色

NIST 云计算参考架构定义了下述补充角色：

云审计者——对云环境进行独立评估的第三方（通常是通过认证的），承担的是云审计者的角色。这个角色的典型责任包括安全控制评估、隐私影响以及性能评估。云审计者这一角色的主要目的是提供对云环境的公平评价（和可能的背书），帮助加强云用户和云提供者之间的信任关系。

云代理——这个角色要承担管理和协商云用户和云提供者之间云服务使用的责任。云代理提供的仲裁服务包括服务调解、聚合和仲裁。

云运营商——负责提供 ZJ 用户和 S 提供者之间的线路级连接。这个角色通常



由网络和电信提供商担任。

六、组织边界

组织边界是一个物理范围，包括由一家组织拥有和管理的 IT 资源的集合。组织边界不表示组织实际的边界，只是该组织的 IT 资产和 IT 资源。类似地，云也有组织边界。

七、信任边界

当一个组织的角色是云用户，要访问基于云的 IT 资源时，它需要将信任扩展到该组织的物理边界之外，把部分云环境包括进来。

信任边界（trustboundary）是一个逻辑范围，通常会跨越物理边界，表明 IT 资源受信任的程度。在分析云环境的时候，信任边界最常与作为云用户的组织发出的信任关联到一起。

第三节 目标与收益

一、降低的投资与成比例的开销

与批发商以更低价格购买商品一样，公有云提供者基于其商业模式大量采购 IT 资源，然后通过具有吸引力的租赁套餐提供给云用户。这使得有需要的组织不需自行购买就可以使用到强大的基础设施。

云 IT 资源投资中最常见的经济理念是减少或彻底消除前期 IT 投资，也就是软 / 硬件的采购和拥有的成本。云的可测使用特征是一个特性集合，它允许用可测的运营支出（直接关系到企业绩效）来代替预期资本投入。这也被称为成比例的成本。

消除或最小化前期经济投入的观念可以使企业从小规模开始，然后根据需求相应地增加 IT 资源配置。此外，减少前期资本投入还可以使资本重新用于核心业务投资。归根结底，降低成本的机会主要来自于云提供者部署和运营的大型数据中心。通常，这些数据中心所处的位置是能以较低价格获得足够房屋空间、IT 专业人员和网络带宽的地方，因此节省了资金和运营成本。



同样的理念也引入到操作系统、中间件或平台软件以及应用软件中。可用的 IT 资源池被多个云用户共享，这样会提高利用率，甚至能达到可能的最大利用率。通过行之有效的做法以及对云架构和管理的优化，可以进一步降低运营成本和减少低效率。

云用户能获得的常见可测收益包括：

- 可以短期按需访问按使用付费的计算资源（如按小时使用处理器），并在不需要的时候释放这些资源。
- 感觉上在需要时可以获得无限的计算资源，因此减少了资源供给的需求。
- 可以细粒度地增加或删除 IT 资源，比如，按照 IG 的幅度增减可用的存储磁盘空间。
- 基础设施抽象化，这样应用不会与设备或位置绑定，可以在需要时方便地迁移。

例如，公司有一批相当数量的以批处理为中心的任务，应用软件的可扩展性有多好，这批任务就能多快完成。100 台服务器使用 1 小时与 1 台服务器使用 100 个小时的耗费是相同的。IT 资源的这种“灵活性”使得企业无须为了建设大规模计算基础设施而产生过高的初始投资，这是极具吸引力的。

尽管了解云计算的经济优势比较容易，但实际的经济计算和评估却是复杂的。是否使用云计算远远不是将租赁和购买成本进行简单比较就可以决定的。比如，过度配置（利用率不足）和配置不足（过度使用）情况下的动态扩展和风险转移带来的经济收益也必须要考虑。

二、提高的可扩展性

通过提供 IT 资源池，以及设计用来使用这些资源池的工具和技术，云可以即时地、动态地向云用户按需或按用户的直接配置来分配 IT 资源。这使得云用户可以根据处理需求的波动和峰值来自动或手动地扩展云 IT 资源。同样，当处理需求减少时，也可以释放出自己的 IT 资源。

提供可灵活扩展的 IT 资源是云固有的、天生的特性，这个特性与前述成比例的成本收益有关。除了自动减少资源所带来的经济收益之外，IT 资源总是能满足和实现不可预知的用户要求，这个能力避免了使用它需要到达阈值时可能出现的损失。



三、提高的可用性和可靠性

IT资源的可用性和可靠性都与实际的企业利益直接相关。停机限制了IT资源为用户服务的时间，从而也限制了其用法和产生收益的潜力。而在使用高峰期，没有立即纠正的运行故障会造成更严重的影响。不仅IT资源无法响应用户请求，而且意外故障也会降低用户的总体信心。

典型云环境的一个标志性特点是它具备提供广泛支持的内在能力，这种能力可以增强云IT资源的可用性，最小化甚至消除停机时间，以及增强其可靠性，从而将运行故障影响降到最低。

具体含义为：

1. 可用性更高的IT资源具有更长的可访问时间（比如，一天24小时里可以访问22小时）。云提供者通常提供“可恢复的”IT资源，以便能够保证高水平的可用性。

2. 具有更强可靠性的IT资源能更好地避免意外情况，或是从中更快恢复。云环境的模块化架构为故障转移提供了广泛地支持，从而增强了可靠性。

在考虑租赁云服务和云IT资源时，云用户组织需要仔细审查云提供者给出的SLA。尽管许多云环境能够提供相当高的可用性和可靠性，但是通常SLA中的保证条款才代表它们实际的合同义务。

第二章 云计算的特征模型与发展

第一节 云特性

IT 环境要求有一组特定的特性，使得以有效方式远程提供可扩展和可测量的 IT 资源成为可能。这些特性要达到一定程度，IT 环境才能被认为是有效的云。

对大多数云环境来说，下面六个具体的特性比较常见：

- 按需使用
- 随处访问
- 多租户（和资源池）
- 弹性
- 可测量的使用
- 可恢复性

要衡量一个给定的云平台所提供的价值，云提供者和云用户可以分别评估每个特性，也可以综合起来评估。虽然对于每个特性，基于云的服务和 IT 资源能够继承和展现的程度不同，但是对特性支持和利用的程度越高，得到的价值也越高。

一、按需使用

云用户可以单边访问基于云的 IT 资源，给予云用户自助提供 IT 资源的自由。一旦配置好了，对自助提供的 IT 资源的访问可以自动化，不再需要云用户或是云提供者的介入。这就是按需使用的环境，也称为“按需自助服务使用”，主流中可以找到的基于服务的特性和使用驱动的特性是由按需使用的特性促成的。