

云计算实践指南丛书

DECIPHERING CLOUD COMPUTING

云计算解码

雷葆华 饶少阳 江峰 王峰 等著

云计算实践指南丛书

DECIPHERING CLOUD COMPUTING

云计算解码

技术架构和产业运营

雷葆华 饶少阳 江峰 王峰 张洁 蔡永顺 著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京•BEIJING

《云计算解码》编委会

发布

主 编：赵慧玲

编 委：冯 明 赵俊红 张成良

于玉海 杨永辉

点击进入

专家推荐 ○○○

云计算是新一代 IT 技术变革的核心，是中国的机遇——建立自己 IT 体系的战略机遇。

应用云计算技术，中国电信业可以从提供传统的语音、数据服务转变为提供计算与存储服务，使电信网成为“超级计算机”。

中国电信适时推出的这本书从技术、商业模式、运营能力等方面对云计算进行了解读，是一部对云计算进行深入、全面解码的力作。

田溯宁，宽带资本董事长

云计算挟着排山倒海的气势，铺天盖地而来！相信提供互联网基础设施的电信运营商将成功担当公共计算基础设施提供商的角色——这从中国电信的“综合信息服务云”已经可以看出端倪。

未来的云应用之多、终端之强、体验之新，将令人目不暇接。个中究竟，可以通过中国电信撰写的这本《云计算解码》中慢慢体味。

刘鹏，教授，中国电子学会云计算专家委员会委员
中国云计算（chinacloud.cn）创办人

本书对云计算的技术体系进行了较为全面的梳理。对于希望了解云计算基础知识、技术架构和实现方式的人们来说，这是一本很好的入门书籍。另外，书中深入的技术剖析和实践成果对于云计算研究和开发人员有很高的参考价值，一些新的观点对读者也有启迪作用。

最难能可贵的是，本书以云计算技术为引导，结合中国电信规模化的服务和运营，对实际的主要服务业务模式、关键技术和典型产品进行分析，理论联系实际，对未来的产业发展进行了深入的分析和思考——这些无疑对云计算的实践者有很好的指导意义。

杨扬，教授，中国电子学会云计算专家委员会委员
北京科技大学网络中心主任

本书对云计算的技术、产业及其背后的成功因素进行了系统的分析，内容翔实，笔法深入浅出，是一本不可多得的好书。本书既适合对云计算了解不多的初学者阅读，也适合业界资深人士参考。

姚宏宇，中国电子学会云计算专家委员会委员
北京友友天宇系统技术有限公司 CEO

推荐序 ○○○

赵慧玲 中国电信北京研究院副院长
教授级高工，博士生导师

云计算被认为是继 PC、互联网之后可能再一次改写 IT 面貌的“第三次 IT 革命”，是近 10 年来少见的能够同时引起互联网、IT 和电信行业共同关注的新领域。在我看来，其主要原因在于云计算是一个融合了互联网商业模式、革命性的 IT 技术和电信服务运营的新生事物，它不仅仅是技术革新驱动商业模式变革的产物，也是用户需求驱动 IT 运营变革的结果——对资源更多地依赖于互联网的大环境将实现“云”化；原来承担很多任务的用户端设备将逐渐获得“解放”，变得更加简单和便捷；用户使用资源和享受服务的成本越来越低，而方便性大大增强。国外特别是欧美的 IT、互联网和运营商巨头，如 Amazon、Google、IBM、AT&T 等，已经走在前面，纷纷转型，研发和运营不同的云计算产品和服务，形成了一定的品牌影响力。近两年，它们更是加大投入，抢占话语权。种种迹象表明，云计算确实离我们越来越近了。

云计算的成功运营实际上是服务提供商基于网络和 IT 基础设施利用新的技术（如虚拟化技术、分布式技术）对规模化用户的服务需求进行精心匹配的过程，以实现低成本、高效率和高灵活性。从运营商的视角看云计算，通过统一部署支持 IT、通信和信息服务的云能力平台及云客户端设备和系统，各类用户使用传统通信和 IT 服务及协同工作、学习、娱乐的门槛会显著降低，用户通过运营商提供的有线/无

线宽带接入服务，可以随时随地低成本地接入运营商提供的云平台，享受各种运营级的云服务，例如大规模计算、信息处理、应用开发、数据存储和备份、安全服务及各种细分市场的应用提供和服务交付等。在国内，云计算也已经从最初的“萌动”发展到“心动”。

为了帮助业界更好地掌握云计算技术，拓展对云服务和云应用的理解，《云计算解码》一书从操作系统的视角入手，以云计算体系架构为轴心，以云计算规模化服务运营为目标，围绕云计算的3种主要服务的业务模式、关键技术和典型产品进行了深入浅出的阐述，并对云计算的产业发展趋势和成功要素进行了分析，既有全盘的运营思考，也不失技术前瞻性和对总体趋势的把握，是学习和研究云计算的有益参考。

本书由中国电信北京研究院的一支从事云计算战略、技术和产品研发的朝气蓬勃的团队联合编写，作者中既有业务专家，也有技术骨干，既有对运营支撑颇有经验的工程师，也有对用户需求有深刻理解的产品创新中坚。这本书既是他们智慧的结晶，也是他们分享知识和经验的阵地。相信他们的研究和心得会给广大读者带来思考和启迪。



2011年1月，北京

作者序 ○○○

雷葆华 中国电信北京研究院

宽带及互联网创新中心云计算团队总监

笔者是从 2008 年开始接触“云计算”这个词的，当时的第一感觉是：这是否又是业界热炒的一个新的概念？2009 年初，笔者受命组建中国电信北京研究院互联网应用创新中心，云计算正是这个新部门的核心研究领域之一。而这时，云计算在互联网上的人气也达到了一个高峰，搜索“云计算”能得到几千万条结果。于是，笔者开始重新认真审视云计算，但心中仍充满疑惑——它到底是一个革命性的技术浪潮，还是又一个被炒作出来的 IT “神话”？

当笔者组织团队开始对云计算进行系统研究时，首先感到的是困惑。虽然网上关于云计算的文章、新闻、论文、产品、模式随手可摘，俯仰皆是，但始终没有人能够系统、全面、客观地对云计算进行阐述。各界对云计算莫衷一是：互联网服务提供商、IT 设备制造商、学术界、政府等各自从自身产品及市场等角度去解读云计算，同时也有很多人把云计算作为重新包装和炒作的对象，感觉就像盲人摸象，很多争论也好似鸡同鸭讲。

不过，真理不辨不明！进入 2010 年，笔者感觉，业界对云计算的认识渐渐清晰，各厂商也开始将云计算与自己的产品结合，明确自己在产业链中的地位和策略。关于云计算技术的图书也开始出现，并对一些关键的技术环节进行分析和介绍，但系统性地阐述和介绍云计算的图书还比较少。同时，在研究过程中，笔者也

深感我国在这方面与美国的明显差距。

回头看看我们这两年在云计算方面的研究和探索——我们一直试图建立一个云计算的技术体系，目前小有所得，因此愿将我们的一些心得与业界分享：一是希望能与大家更好地切磋、探讨，进一步提高对云计算的研究和认识；二是希望从实践的角度出发，帮助大家更好地认识和理解云计算，缩短学习和理解的过程，为我国的云计算技术发展和知识普及贡献一份力量。

由于目前业界对云计算仍没有一个标准的定义和统一的认识，因此我们也不强求给出标准的定义和答案。我们希望以自己的理解，给读者一个云计算的全貌。本书从目前业界普遍认可的 IaaS、PaaS、SaaS 入手，分析云计算的特点及实现技术，并给出一些建议，以帮助读者更好地理解云计算，把握云计算技术的基本概念，提高对相关厂商和产品的甄别能力，同时，也希望给从事云计算技术研究、产品开发、服务提供的业界人士以实际的帮助。

由于成稿仓促，以及笔者知识水平和认识的局限，书中难免有纰漏之处，请各位专家和读者不吝赐教。

雷葆华

2011 年 1 月

致谢 ○○○

20 世纪 70、80 年代出生的我们是非常幸运的一代人。我们不仅经历了 PC、互联网两次信息革命，体验了信息革命给我们的生活和工作带来的巨大影响与改变，如今又非常幸运地成为云计算时代的“弄潮儿”，有机会深度参与第三次 IT 革命，贡献我们的绵薄之力。当然，在前行的道路上，我们得到了领导、同事、朋友们的帮助和支持。

首先，要感谢中国电信北京研究院的领导作出成立互联网创新中心的决策及在各方面给予的大力支持，让我们有机会系统地研究和探索云计算。

其次，要感谢中国电信集团公司的相关领导对我们的研究工作的大力支持和指导，使我们的技术和业务研究成果能够在现实网络环境中得到检验和应用，让我们积累了非常宝贵的经验。

再次，也要感谢业界的领导、专家、学者及技术人员。他们无私地奉献了专业知识和经验。通过与他们的沟通、交流，我们学到了很多知识，加深了对云计算的理解。

同时，还要感谢电子工业出版社的领导、刘蛟编辑、潘昕编辑，以及为本书付出辛劳的出版社的朋友。

最后，要感谢我们的家人。本书的几位作者日常的科研工作和其他任务都很重，主要利用业余时间写作。如果没有家人的理解和支持，本书将很难顺利完成。

○○○ 前言

“云计算”自从 2007 年被提出后，逐渐引起了人们的关注和热捧，一时间风起云涌——不仅 Google、Amazon 等互联网公司大举开辟这一新的业务领域，推陈出新，抢占领先地位；IBM、Dell 等传统的 IT 厂商也被迫转型，不断调整公司组织和产品体系、开展大量的市场并购和技术研发工作、进行商业模式的创新，以图保持在 IT 市场的地位，抵御互联网公司的进攻；AT&T、Verizon 等电信运营商作为传统的 IDC 和电信服务提供商也看到了机遇，一方面积极应用新的技术改造成果、整合已有的 IT 基础设施并提升 IT 管理和运营能力，另一方面也在探索如何提供基于互联网的云计算新业务。

目前，云计算市场上已经基本形成互联网公司、IT 厂商和电信运营商 3 支主要力量，它们分别基于自身的优势，或主攻公有云市场，或抢占私有云市场，并且形成了不同的技术流派。例如，互联网公司由于自身业务需求构建了基于分布式技术的可支撑海量数据信息处理和存储的统一 IT 基础设施；IT 厂商考虑的则是如何保护企业已有的 IT 投资，主推虚拟化技术作为 IT 资源的整合手段，以帮助企业更平滑地过渡到云计算。不过，不论是分布式技术还是虚拟化技术，都只是云计算实现的基本技术手段，真正使云计算“落地”的核心技术还是如何实现虚拟化资源和分布式集群规模化及统一管理，以形成具备良好的弹性和可扩展性的资源池（计算和存储云），同时将应用基于互联网交付给用户（交付云）。这就像程控交换技术和软交换技术，它们都是实现电话业务的技术，在设备技术成熟

后,更重要的是要通过部署和组网形成一张规模较大的交换网,并实现全网统一管理和运营,才能真正提供优质的语音业务。因此,“云计算中没有新技术”的观点是有失偏颇的,只能说,在虚拟化、分布式技术基本成熟的环境下,云计算当前的关键技术已经聚焦到如何实现规模化运营上,这涉及对大量分布式资源的统一管理、调度、监控,以及运营所需的计费、网络管理、互连和业务开通等方面面的技术。

虽然云计算进入国内要晚一些,但这并不妨碍云计算成为近两年国内 IT 领域最热门的方向之一——从一开始大家都在质疑云计算的发展,甚至有人认为这是国外的“阴谋”,到如今每个公司都争先恐后地把“云计算”的标签贴到自己的品牌和产品上;各类云计算研讨会、展会、基地、中心、联盟如雨后春笋般在全国各地出现;同时,市面上也出现了很多介绍云计算的概念、关键技术、典型服务、产业转型趋势的书籍,可以说是一派繁荣。但令人遗憾的是,国内目前还是说得比做得多——真正能够理解云计算的技术本质并勇于投入资源研发相关产品和平台的国内公司凤毛麟角,真正能够理解云计算的业务和市场本质并积极开展业务运营的服务提供商更是屈指可数。可以说,大部分人仍然在观望。他们希望看透云计算的本质,对云计算有更全面的认识,通过对更多国外成功案例的模仿和学习了解开展云计算业务运营的一些关键要素,用更多的积累和储备迎接国内云计算黄金时代的到来。

鉴于目前国内正处于云计算破茧而出的前夜,人们对云计算的概念已经接受,并且在技术、产品等方面也都加深了理解,但对云计算的总体架构、业务和技术的关系及云计算运营中的若干关键技术和影响因素则可能了解得比较少,国内也鲜有这些方面的令人满意的资料可以参考,因此,我们编写了这本《云计算解码》,试图拨“云”见日,从操作系统的视角全面解读云计算,让读者认识到云计算不是简单的技术应用,而是新的 IT 软件架构技术,同时明确云计算真正的技术创新在于 IT 服务化和规模化服务运营。通过阅读这本书,我们期待读者既能从宏观的角度更全面地认识云计算,同时也能从微观的业务实现角度去接触云计算,更多地了解云计算的应用与运营方面的内涵。

本书的主要内容包括云计算的背景和基本知识、云计算操作系统（技术和业务体系架构）、三类主流服务类型及其关键实现技术、影响云计算成功运营的关键要素、对网络的要求和影响及产业展望等。

第1章通过探寻IT的发展轨迹引出“云计算是第三次IT革命”这一观念，并通过对云计算的主要特征、业务类型及云计算可能对信息产业产生的影响等方面的介绍，让读者对云计算有一个初步的认识。

第2章介绍云计算的架构，从操作系统的视角去剖析云计算，并结合对IaaS、PaaS和SaaS的业务架构分析，让读者对云计算的总体技术和业务架构有一个清晰的认识。

第3章~第5章则分别从IaaS、PaaS和SaaS这3种业务类型及其关键实现技术的角度深入浅出地介绍相关业务的实现、部署和运营技术，并结合对典型厂商的典型业务产品案例的介绍，揭开云计算技术的神秘面纱，让读者不仅能对云计算的具体业务有更明确的了解，同时也能对业务的相关技术实现有更深入的理解。

第6章阐述云计算对产业的影响，希望通过对云计算发展驱动因素的梳理，让读者了解云计算是技术发展、商业模式创新、运营组织调整等因素共同促进的结果，而这也决定了云计算将成为破坏性的创新，对IT、互联网和电信行业都会产生深刻的影响，也将随之出现不同的产业竞争力量、技术流派和主流市场。

第7章是对云计算发展的展望，主要探讨了云计算的技术和产业发展趋势（即随着云计算技术的发展，人们将可以像使用水和电一样通过互联网使用计算和存储，在这个过程中，计算和存储服务将实现标准化），并对如何推进产业的发展提出了建设性的建议。

第8章着重从电信运营商的视角解析云计算，基于规模经济性原理提出云计算规模化运营的必要性，并通过云计算产业链分析了云计算发展的现状，全面介绍了云计算给运营商带来的挑战、冲击与机遇，给出运营商在云计算产业链中的定位。

本书部分内容和案例来自于作者的实践经验和研究成果。同时，本书的写作得到了中国电信集团公司和中国电信北京研究院的支持，并参考了大量的业界研究成果和相关技术材料，在此一并表示感谢。

云计算作为一个新的技术和产业，涵盖的知识范围较广，同时仍在快速发展和演进的过程中。由于作者水平有限，书中难免存在谬误，欢迎读者批评、指正。

○○○ 目录

第 1 章	云计算的基本概念	1
1.1	云计算：第三次 IT 革命	2
1.2	云计算的特征	4
1.3	云计算服务	6
1.4	云计算的类型	8
1.5	云计算对信息产业的影响	9
第 2 章	云计算的整体架构	12
2.1	云计算的系统架构	13
2.1.1	传统的 PC 系统架构	13
2.1.2	云计算的系统架构	15
2.2	云计算的分层体系	18
2.2.1	IaaS 服务及其实现体系	19
2.2.2	PaaS 服务及其实现体系	22

2.2.3 SaaS 服务及其实现体系	24
2.2.4 云计算分层体系综述	26

第 3 章 基础设施即服务 (IaaS) 及其关键实现技术28

3.1 IaaS 概述	29
3.2 IaaS 关键实现技术之服务器虚拟化	30
3.2.1 服务器虚拟化概述	31
3.2.2 CPU 虚拟化	33
3.2.3 内存虚拟化	37
3.2.4 I/O 虚拟化	39
3.3 IaaS 关键实现技术之存储虚拟化	40
3.3.1 存储系统概述	40
3.3.2 存储设备层的存储虚拟化	42
3.3.3 块聚合层的存储虚拟化	43
3.3.4 文件/记录层的存储虚拟化	47
3.4 IaaS 关键实现技术之网络虚拟化	48
3.4.1 网络虚拟化概述	48
3.4.2 传统的网络虚拟化技术	50
3.4.3 主机网络虚拟化技术	51
3.4.4 网络设备虚拟化的实现	55
3.4.5 运营服务中的网络虚拟化关键技术	58
3.5 IaaS 关键实现技术之云计算管理平台	63
3.5.1 自动化部署技术	65
3.5.2 弹性能力提供技术	67
3.5.3 资源监控	68

3.5.4	资源调度	71
3.5.5	业务服务管理和计费度量管理	73
3.6	典型的 IaaS 提供商——Amazon	75
3.6.1	Amazon 云计算服务简介	75
3.6.2	弹性云计算	76
第 4	章 平台即服务 (PaaS) 及其关键实现技术	81
4.1	PaaS 概述	82
4.1.1	PaaS 系统架构	83
4.1.2	Google PaaS 系统概述	86
4.2	PaaS 应用运行托管平台	88
4.2.1	典型的 PaaS 应用运行托管平台——App Engine	89
4.2.2	PaaS 应用运行托管平台的关键技术	102
4.3	基于分布式计算的 PaaS 基础设施	111
4.3.1	分布式计算技术及实现原则	112
4.3.2	PaaS 关键技术之分布式文件系统	118
4.3.3	PaaS 关键技术之分布式数据库	126
4.3.4	PaaS 关键技术之 MapReduce 计算模型	132
4.3.5	PaaS 关键技术之分布式协同管理技术	135
4.3.6	PaaS 关键技术之集群和平台管理	139
4.4	主流 PaaS 平台及流派分析	147
4.4.1	IaaS 衍生型	149
4.4.2	传统生态延伸型	150
4.4.3	SaaS 拓展型	150
4.4.4	革新生态型	151