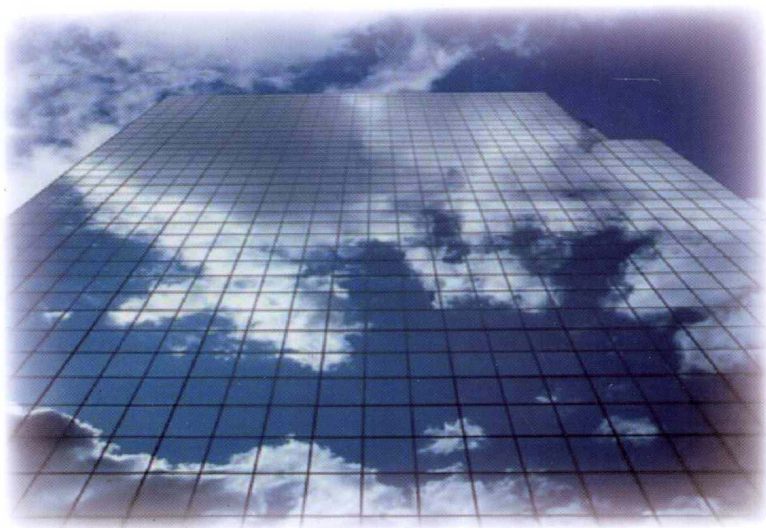


- 十二五国家重点图书出版规划项目 · 云计算实践指南丛书
- 国家信息技术紧缺人才培养工程（移动云计算方向）系列教材
- 工业和信息化部CSIP移动云计算教育培训中心官方教材

云计算

技术、应用、标准和商业模式



© 周洪波 著

C L O U D C O M P U T I N G : I C T ' S B a b e l T o w e r



電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

云计算

技术、应用、标准和商业模式

◎ 周洪波 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E - m a i l: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前言

云计算和物联网是当前 ICT 业界最受关注的两项技术和业务理念，在互联网上的“百度百科”词条中，“云计算”词条自 2007 年 12 月 17 日创建以来，浏览人次目前已超过 150 万，“物联网”词条自 2007 年 9 月 3 日创建以来，也有超过 130 万（主要发生在 2009 年以后）的浏览人次。根据 15 年周期律，云计算和物联网将是未来 15 年 ICT 产业发展的两条主线。

笔者在 2009 年底以一个超级计算和网格计算“老兵”的视角写过一篇“从牛计算到云计算”的文章，因为言词较“偏激”，几经“退稿”在《计算机世界》刊出以后，受到较广泛的关注，被“中国云计算”等网站作为“热门人物”的头条文章转载。因为云计算和物联网有着密不可分的关系，后来这篇文章被收录到笔者的《物联网：技术、应用、标准和商业模式》一书附录中。2010 年底，闲来又看了一遍书中的这篇文章，感觉言辞粗糙，不妥之处颇多，于是心怀不安……做技术出身的人往往爱“较真儿”，看到或听到业界一些人对云计算发表的观点，时常觉得“有话要说”，加上多年国外工作的经历，虽然一直保持了“求知若渴”的传统美德，但也可能渐渐失去了国人“谦虚若愚”的风范。恰逢此时，鉴于《物联网：技术、应用、标准和商业模式》一书的热销，电子工业出版社的编辑问我是否有意再写一本云计算的书，于是怀着“欠读者一个说法”的不安之情，花了“元旦”和“春节”期间近两个月的业余时间，写成此书，为的是向《物联网：技术、应用、标准和商业模式》一书的读者进一步澄清我对云计算的观点，算是了却一个心愿。本书是《物联网：技术、应用、标准和商业模式》一书的“姊妹篇”，因为两者在结构和论述方法上相似，而且所介绍的两项技术之间互有关联：**云计算是物联网运行和大规模运营模式的重要支撑和实现手段。**

云计算和物联网目前已经受到全社会关注，很多非 ICT 人士也希望了解，有的书为了增加可读性和趣味性，把物联网和云计算的概念与所谓美

学、儒家和道家思想、养生学、中医学、社会学、伦理学、经济学等相结合做“科普化”描述，有时甚至任意发挥自己的想象，把技术描绘成了无所不能的“玄学”——这不是一种实事求是的科学态度，或许是因为有的作者并没有真正从事过这两项技术的实际工作而没有领悟到它的真谛。例如，有的人不加研究就把 Apple Store 的成功归因于物联网和云计算，其实从技术上看，Apple Store 既不是云计算，也不是物联网。这样的书非但没有起到科普化的作用，反而误导了读者，然而，有一部分读者却很认同那样的书。不忘“谦虚若愚”，笔者在这里并不是要指责这种现象本身，而是想表达一个更深层次的担忧：ICT 技术是西方人发明的，基于精细的物理“分析”、一步一个脚印和版本不断升级的“开发”积累手段，而不是我们中国人习惯的中医学式的“综合”和想当然的模糊“类比”手法。如果我们这种思维模式不彻底改变，就很难领悟到技术的真谛，难以把技术真正“落地”并驾驭把握，难以创新，更难以引领技术潮流，这一点我们一定要向西方人学习。笔者深知，这是一个颇具争论的话题，方舟子说中医不是科学，立即受到了众多人的围攻。这里，笔者只是提出个人拙见，算是抛砖引玉。因此，在这两本书的论述方法上，笔者坚持言之有物，用数据和案例说话的方式，不做科普化的“跨学科”的类比，当然，这也是因为笔者知识面和水平所限。

云计算好比 ICT 业的“共产主义”理想，这个比喻有两层含义：一是指云计算可以实现跨国界的整个 ICT 资源的整合，进一步实现“各自付费，按需分配”的节约型 ICT 资源社会化分配模式；二是指这个理想的实现任重而道远，一个 ERP 系统的成功实施需要企业管理方方面面的改变来适应，是一个系统工程，云计算的“自来水”式服务模式的实现涉及国计民生乃至社会业务形态的变革，是一个更大的系统工程。

云计算可以说是融合了 ICT 业多年发展的大部分技术的集大成者。简单说来，云计算技术架构就是：单机虚拟化（VMWare, Xen 等 Hypervisors）是把一个机器变成多个机器来使用，多机虚拟化（支持 HPC/Grid 的 MPI/PVM 等技术）是把多个机器当成一个机器来使用（MapReduce 是 MPI

中相关 API, 如 Scatter/Reduce 的拓展)。云计算是单机和多机虚拟化+SOA (大 S)和 SaaS (小 S)的组合。虚拟化提供了计算资源的一个逻辑视图, 包括单机和多机虚拟化。

单机虚拟化基于 Hypervisor 技术, 把一个机器分成若干个机器来使用, 同时也可把异构系统变成便于管理的同构系统。多机虚拟化基于集群、机群和网格计算技术, 把一大堆机器当成一个机器来使用, 整合资源, 形成“取之不尽、用之不竭”的资源池。SOA/Web Services 和效用 (Utility) 计算等技术可实现像自来水一样使用单机和多机虚拟化技术的组合形成的计算资源。以 SaaS 模式和理念 (包括 IaaS 和 PaaS) 为基础的 Multi-Tenancy (或 Massive MT, 即 MMT 大规模多租户模式) 技术可实现更高效率的云计算设施利用和应用层面的服务。

有人说, 物联网是“雾”, 云计算是“云”, 因为站的角度不同, 各种观点都有道理。云计算和物联网其实都是现有 ICT 技术的提升, 并不是什么全新的东西, 要点是技术和理念的“提升”。

笔者也注意到目前市面上已经有足够多的关于云计算的书了, 如果不是觉得本书有其独特之处, 也不会来凑这个热闹再出一本“Me Too”的书。本书主要是作者早年在美国橡树岭 (Oak Ridge) 国家实验室 (机群和集群、超级计算及网格计算技术的主要发源地之一)、IBM (参与了当时 (1996 年) 世界上最快的超级计算机 ASCI-Blue Pacific 的研发) 和 DoubleTwist (用机群系统实现了“人类基因组”的全面注释 (2000 年, 世界首次) 和创建了首个生物计算多租户 SaaS 门户) 等企业, 以及博士学习期间多年从事并行和分布式 HPC 超级计算技术的实际工作经验的总结和观点的陈述。在云计算时代到来的近几年, 笔者主要从事物联网业务, 在一些物联网项目中也研究和采用了基于多租户模式的 SaaS 技术作为 M2M/物联网运营平台的支撑 (例如, 中国移动 e 物流和 M2M 支撑平台项目), 并于 2007 年实地考察了 Salesforce

的 APEX PaaS 技术，从而对新形势下的云计算技术有所了解。

本书写作过程中，作者力求在做到深入浅出的同时更希望体现专业性，（斗胆地说）区别于目前国内外市面上的相关书籍。本书基于作者的从业经历深入研究和分析了目前流行的一些云计算技术的来龙去脉，如 Hadoop/MapReduce/AWS 技术与 MPI/PVM/Condor 等技术的关联性等，希望能够使国内研发人员对这些技术的深入了解和创新有更深层次的洞察（Insight），而不仅仅是编辑和介绍这些技术的用途和使用方法。如果本书能够帮助读者在了解云计算技术的历史渊源和来龙去脉，技术和产业现状以及未来发展方向，在理解云计算技术的层次架构和业务模式，从而发掘出新的商业模式，把握云计算的机遇，对做大做强中国云计算产业做出更多的贡献等方面有所启迪，那就是一件非常令人欣慰的事情了。本书内容已得到了一些专家的认可和较高评价，不过笔者不想借助德高望重的专家推荐来吸引读者，而是把好坏的评判留给读者。

本书的部分插图是从网上下载的，我尽己所力对原始出处进行了查证并标明了出处，在此向插图的原作者表示感谢。本书力求准确无误地标明引用资料的出处，如有遗漏和差错，请原始作者与本人联系。

希望本书能够对关心云计算产业发展的各级领导和行业监管部门，高校相关专业师生，以及产业链相关各领域的从业人员、投融资人士等读者群都能有所裨益。由于笔者水平和时间所限，加上云计算产业发展迅速，技术日新月异，理念不断翻新，书中难免会有局限和诸多不足乃至错误之处，欢迎专家和读者不吝批评指正。

周洪波

honbozhou@gmail.com

2011 年 5 月 8 日

目 录

第 1 章

计算力的追求

1.1 概述	2
1.2 计算力就是生产力	7
1.3 计算力的两极化发展	9
1.4 云计算是 ICT 的“第三产业”	13
1.5 小结	15

第 2 章

走近云计算

2.1 初识云计算	18
2.2 走近云计算	20
2.2.1 相关技术发展历程	23
2.3 云计算：网络和 SaaS 的融合	28
2.3.1 HPC 和网格计算	29
2.3.2 SaaS 和 XaaS	32
2.4 云计算：ICT 的“通天塔”	35
2.5 小结	39

第 3 章

虚拟化与云计算

3.1 虚拟化技术与分类探讨	42
----------------------	----

3.2 单机虚拟化	45
3.2.1 Hypervisor 技术	50
3.2.2 Hypervisor 产品	55
3.2.3 VMWare 与 Xen	59
3.2.4 其他虚拟化技术	61
3.3 多机虚拟化：云计算的根基	64
3.4 小结	68

第 4 章

HPC 系统及其发展

4.1 分布式计算与并行计算	71
4.2 超级计算机的发展及其应用	73
4.2.1 “牛”计算改变格局	76
4.2.2 超级计算与 Grand Challenges	80
4.2.3 HPC 机群与 BOINC	83
4.3 HPC 系统体系架构	86
4.3.1 Flynn-Johnson 分类法	87
4.3.2 共享内存与 SMP	91
4.3.3 分布式内存与 MPP	93
4.3.4 HPS 高性能路由器	96
4.4 超级计算 TOP 500	97
4.4.1 Graph 500 和 GPU	100
4.5 小结	103

第 5 章

HPC 软件与中间件

5.1 并行和分布式算法	105
5.1.1 Amdahl 和 Gustafson 定律	108

5.2 并行处理编程模式	110
5.2.1 Implicit 与 Explicit 模式	112
5.3 HPC 中间件与多机虚拟化	115
5.3.1 PVM, MPI 与 MapReduce	116
5.4 作业调度与管理	119
5.4.1 Condor 与 Hadoop	123
5.4.2 断点、迁移和 VMotion	124
5.5 机群和集群	125
5.5.1 Beowulf、LVS 和 MOSIX	127
5.6 网格计算与网格中间件	130
5.6.1 Globus Toolkit	135
5.7 小结	138

第 6 章

商用分布式计算与云计算

6.1 EDOC 技术与企业级中间件	140
6.1.1 CORBA、.NET 和 Java EE	143
6.2 效用 (Utility) 计算	147
6.3 泛在计算与移动计算	149
6.4 P2P 网格计算与 JXTA	151
6.5 绿色 (Green) 计算与云计算	153
6.5.1 Google 数据中心技术	157
6.6 并发文件系统	159
6.6.1 GPFS、Lustre 和 HDFS	163
6.7 小结	166

第 7 章

SaaS、SOA 与云服务

7.1 SaaS: 软件即服务	169
-----------------------	-----

7.1.1	Salesforce: 软件终结者	176
7.1.2	Multi-Tenancy 技术与模式	178
7.2	SaaS 与套装软件	185
7.2.1	Google 大战微软	187
7.2.2	国内外 SaaS 发展现状	190
7.2.3	SaaS 与 SPI	194
7.3	SOA 是 SaaS 和云计算的基础	196
7.3.1	SOA 与 EAI	196
7.3.2	SOA 与 SaaS	199
7.3.3	SOA 与云计算	201
7.4	SaaS 3.0: 云服务	203
7.4.1	移动云服务	206
7.4.2	XaaS 与物联网	209
7.5	小结	213

第 8 章

云计算体系架构

8.1	NIST 的云计算定义	215
8.2	云计算体系架构	219
8.2.1	三层 SPI 架构	220
8.2.2	四种部署方式	224
8.2.3	五大关键功能	229
8.2.4	六大基本特性	230
8.3	统一 Fabric 和互联云	233
8.4	云安全与安全作为云服务	235
8.5	云存储技术与云存储服务	239
8.6	移动云计算 (MCC)	241
8.7	小结	247

第 9 章

云计算典型技术与系统

9.1 云中间件和云系统	250
9.1.1 IaaS 中间件	251
9.1.2 PaaS 中间件	253
9.1.3 云系统	257
9.2 典型 IaaS 技术和系统	260
9.2.1 Amazon Web Services (AWS)	263
9.2.2 Eucalyptus	268
9.2.3 开源 IaaS 与 Openstack	270
9.3 典型 PaaS 技术和系统	274
9.3.1 APEX 和 Force.com	279
9.3.2 AppEngine 和 AppScale	282
9.3.3 Apache Hadoop 和开源 PaaS	290
9.4 云计算系统全景图	299
9.5 小结	308

第 10 章

云计算和标准化

10.1 通天塔与标准化	310
10.2 SPI 标准化	312
10.2.1 可行性探讨	314
10.2.2 现有成果介绍	319
10.2.3 云计算宣言	324
10.3 网格和 SOA 的融合	325
10.3.1 作业描述语言标准化	329
10.3.2 网格内部标准化	331
10.4 云安全与云存储标准化	332

10.5 国内标准化情况	334
10.6 小结	335

第 11 章

云计算业务模式探讨

11.1 The Big Switch	337
11.1.1 云计算市场规模	338
11.2 SPI 业务模式推动商业模式	345
11.2.1 SaaS 和 PaaS: 收割长尾	347
11.2.2 IaaS: 碳脚印和硬件终结者	351
11.2.3 B&H 长尾与云商业模式	355
11.3 云计算现状和趋势	358
11.3.1 产业惯性定律的反作用	362
11.3.2 技术和业务十大趋势	363
11.3.3 15 年周期与 Gartner 周期	366
11.4 中国的现状和对策	371
11.4.1 云计算? 政府的作为	372
11.4.2 企业如何把握机遇和核心技术	378
11.5 小结	386
总结	387

参考文献	389
------------	-----

第1章。

计算力的追求

- 1.1 概述
- 1.2 计算力就是生产力
- 1.3 计算力的两极化发展
- 1.4 云计算是 ICT 的“第三产业”
- 1.5 小结

1.1 概述

人类最早的计算工具是手指，英语单词“Digit”既有“数字”也有“手指”的意思。英语中“Calculus”（计算）一词来源于拉丁语，既有“算法”的含义，也有肾脏里的“结石”的意思。手指和石头就是人类最早的“计算机”。不知从何时开始，各国的人们都不约而同想到用“筹码”来改进工具，中国商周时代问世的算筹，是一种竹制、木制或骨制的木棍。世界文明的四大发源地——黄河流域、印度河流域、尼罗河流域和幼发拉底河流域——先后都出现过不同形式的算盘，只有中国的珠算盘一直沿用至今，如图 1-1 所示。

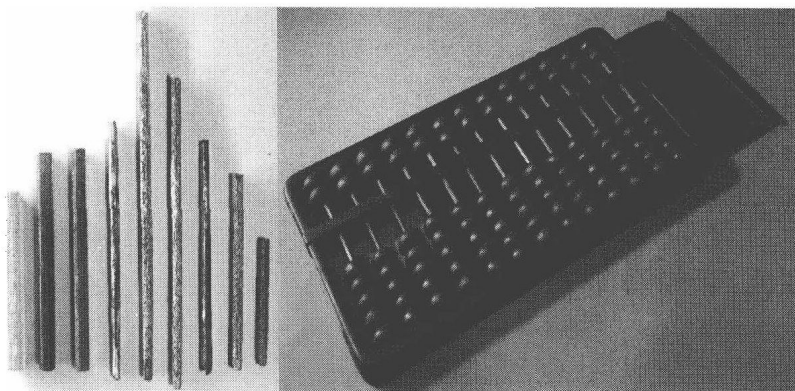


图 1-1

1622 年，英国数学家 William Oughtred 使用当时流行的对数刻度尺做乘法运算时萌生了一个念头：若采用两根相互滑动的对数刻度尺，不就省得用两脚规度量长度吗？他的这个设想导致了计算尺（Slide Rule）的诞生，如图 1-2 所示。算盘和计算尺使人类的计算能力从“手工”操作进化到使用“机械”化的工具，但是还没有“软件”，需要脑力的配合，“软件”仍然存储在人脑中。



图 1-2

法国人 Pascal 于 1642 年设计出了世界上第一台利用手转动齿轮来实现加法运算的计算机，向人类揭示了用机械装置可以代替人的大脑进行思考和记忆，如图 1-3 所示。1822 年，英国人 Babbage 在他研制的差分机中第一次体现了计算机程序设计的理念，这种思想为现代计算机发展开辟了道路。1847 年，英国数学家 Boole 发表著作《逻辑的数学分析》。

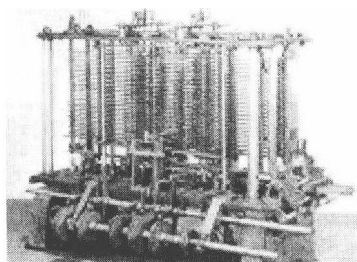


图 1-3

1895 年，英国青年工程师 Fleming 通过“爱迪生效应”发明了人类第一只电子管。1913 年，美国 MIT 教授 Bush 领导制造了模拟计算机“微分分析仪”。机器采用一系列电动机驱动，利用齿轮转动的角度来模拟计算结果。1935 年，IBM 制造了 IBM601 穿孔卡片式计算机，该计算机能够在一秒内做出乘法运算。1936 年，英国人图灵（Turing）发表论文《论可计算数及其在判定问题中的应用》，首次阐明了现代计算机原理，从理论上证明

了现代通用计算机存在的可能性，图灵把人在计算时所做的工作分解成简单的动作：（1）存储器，用于存储计算结果；（2）一种语言，表示运算和数字；（3）扫描；（4）计算意向，即在计算过程中下一步打算做什么；（5）执行下一步计算。凡可计算的函数都可用这样的机器来实现。这一概念是现代计算机科学的基础。

美国的 Shannon 在 1938 年证明布尔代数的逻辑运算可通过继电器电路来实现，明确了四则运算的电路设计方法，为以后的计算机逻辑功能奠定了基础。1941 年，德国人 Zuse 完成了 Z3 计算机的研制工作，这是第一台可编程的电子计算机。可处理 7 位指数、14 位小数，使用了大量的真空管，每秒能进行 3~4 次加法运算，一次乘法需要 3~5 秒。1942 年，时任美国依阿华州立大学数学物理教授的 Atanasoff 与研究生贝瑞（Berry）组装了著名的 ABC（Atanasoff-Berry Computer）计算机，这台计算机共使用了 300 多个电子管，这也是世界上第一台具有现代计算机雏形的计算机，如图 1-4 所示。特别值得一提的是，1943 年，绰号为“巨人”的用来破译德军密码的计算机在英国制造成功，为第二次世界大战的胜利立下了汗马功劳，充分展示了计算的力量。

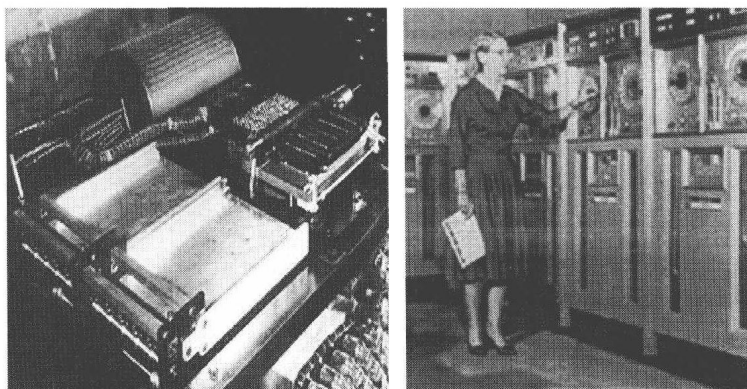


图 1-4