

透明计算与云计算

程京德

日本国立埼玉大学

摘要：本文对由中国学术界提出的“透明计算”和由美国产业界提出的“云计算”从背景、动机、目的、特征等各个侧面给予比较之后，给出的主要结论为：先于“云计算”提出的“透明计算”具有原创的思想、明确的动机、清晰的概念、创新的结构，激起新的技术挑战，从学术上看可以称之为一种新的计算模式；而后于“透明计算”提出的“云计算”仅仅是一种新的商业模式，从学术上看没有原创的思想和明确的动机，其概念模糊、结构纷杂，在技术上为传统分布式计算（网格计算）的继承延伸，因而难以被称之为一种新的计算模式。本文也对有关“透明计算”和“云计算”的一些热点问题阐述了笔者的观点看法，对“透明计算”和“云计算”各自所面临的技术课题以及将来的互补发展给予展望。

一、简介

“透明计算”的概念首次由清华大学张尧学教授作为其研究小组自1998年以来的相关研究成果总结于2004年12月以学术论文的方式正式发表^[1]（相关英文版论文发表于2006年9月^[2]）。“云计算”这一名词（我们在这里只说是“名词”是因为对“云计算”至今也没有一个被广泛接受的清晰的概念定义）首次出现在Google公司首席执行官Eric Schmidt在2006年8月召开的搜索引擎大会上的讲演中^[3]，其首次在技术文献中出现于IBM公司在2007年10月的一份白皮书中^[4]。

近年来，学术界和产业界不少有识之士都发现“透明计算”和“云计算”两者之间有不少相似乃至共同之处。问世有先后，内容有重叠，如果仅从尊崇独创性的学术研究观点来看，那么两者之间的伯仲应该已经是很明显的事实了。

但是，对这相似的两者来说，为什么后发表的“云计算”反而比先发表的“透明计算”更加广为人知，热遍世界？到底“透明计算”和“云计算”之间有何异同？它们的未来发展将会如何？这些还都是值得考察清楚的问题。本文对“透明计算”和“云计算”从背景、动机、目的、特征等各个侧面给予比较，并且也对有关“透明计算”和“云计算”的一些热点问题阐述了笔者的观点看法，对“透明计算”和“云计算”各自所面临的技术课题以及将来的互补发展给予展望。

二、观点：透明计算与云计算之比较

（一）背景与动机

伴随着计算机硬件技术和通信网络技术的飞速发展以及现代信息社会需求的日益增加，现今的计算系统（信息处理系统），尤其是其中的软件系统，越来越庞大，越来越复杂，越来越昂贵，因此也越来越难于管理（包括对可靠性，安全性，实用性的管理），越来越耗费资源。近些年来，在信息技术领域，几乎所有新的研究工作和技术开发都是为了解决或者缓解上述问题。

“透明计算”概念的提出，是基于这样一种新的基本观点：现今计算系统的复杂性、难用性和难管理性，主要是由于在系统中计算过程本身和计算所需资源之存储的结合，计算机软件和计算机硬件的结合过于紧密而造成的。要解决现今计算系统的这些问题，应该尽可能地把计算和存储，把软件和硬件分离开来，变它们之间的密结合为疏结合^[1,2]。“透明计算”尤其重视减轻终端客户使用和维护计算机的负担，希望能够以上述疏结合的方式来为终端客户提供更加主动化、特性化的服务^[1,2,5,6]。此外，“透明计算”的提案者把它归类为普适计算，认为它是普适计算的一种新的模式^[1,2]。笔者认为，“算存分离，软硬分离”这个思想是原创性的、革新性的、有哲学意义的。“透明计算”是在基于对造成现今计算系统复杂性之原因的分析和判断，在“算存分离，软硬分离”这一基本思想指导下，以实现真正的普适计算为明确的动机而提出的。

“云计算”这一名词（笔者在这里用“名词”而不是“概念”，是因为“云计算”至今没有一个清晰的内涵的或外延的定义），并不是基于对现今计算系统复杂性的分析和判断而得出的某种清晰的新思想、新概念、新观点，而是对当时由 Amazon、Google、IBM 等公司已经提供或者正在计划提供的商业技术服务的简单概括而提出来的^[3,4,7,8]。正是因为如此，才使得“云计算”这一名词在概念的内涵和外延两个方面从来都不是清晰的^[9]。许多有关“云计算”的文献

都提到“云计算”是传统分布式计算，尤其是网格计算的天然延伸^[10-14]，而这一事实恰恰也显示了“云计算”并非源于对现今计算系统的复杂性之原因的分析判断，归纳出某种清晰的基本思想之后提出的。但是，作为一种新的商业模式，提出“云计算”的商业动机还是比较明确的，那就是“集中资源，按需服务，按量付费”，其商业思想（也是其能够作为商业模式成立的必要条件）是对计算资源的有效分配所带来的低成本和由大用量所带来的高收益使得“云计算”服务商能够获取高利润。

（二）目的

“透明计算”的提出，是为了解决现今计算系统的复杂性问题，为了减轻终端客户使用和维护计算机的负担，为了实现普适计算的理想。尽管有出自应用背景的考虑，但是更多是出于从学术上、技术上而不是从商业上的考虑。所以，迄今为止，还没有很成熟的、符合“透明计算”特点的商业模式出现。

“云计算”的提出，是为了降低服务成本，为了吸引更多客户（进而让更多客户不得不从此依赖于服务商），为了实现高额利润。尽管有出自技术背景的考虑，但是更多的是出自于从商业上而绝不是从学术上的考虑。所以，迄今为止，“云计算”的概念、基本原理、方法论仍然还是模糊的一团云雾，尽管有些专业书籍的题目中有“Principles”字样。

目的不同当然会导致效果不同。笔者认为，由于两者在目的上的本质不同，仅从学术研究的角度和仅从商业运营的角度来同时考察“透明计算”和“云计算”，会得出截然不同的评价，而按照它们各自的目的来分别考察它们可能达到的效果，更加有利于两者在将来的互补发展。

（三）特征

从技术角度来看，“透明计算”和“云计算”两者有着一些共同特征：分布式计算（包括存储）、集中计算资源、共享计算资源、提供主动化服务、提供个性化服务、减轻终端客户负担、虚拟（透明）化、通用性、易融合性、易扩展性、开放性（无边界性）、通信网络依赖性。

“透明计算”的其他特征还有：客户的应用计算需求完全在客户端被执行和完成、终端客户计算机甚至可以轻量化到仅仅是个裸机而无任何预置操作系统、需求驱动的数据流计算方式。

“云计算”的其他特征还有：客户的应用计算需求主要在服务端被执行和完成、多种定型服务方式（IaaS, PaaS, SaaS）。

笔者的考察没有发现在问世之初，“透明计算”和“云计算”两者之间有相互影响的痕迹。因此，一方面，我们可以说两者之间的共同技术特征反映了来自社会高度信息化发展对技术的现实需求；另一方面，我们也可以说两者之间的目的不同导致了它们不同的技术特征。

（四）几点看法

1. 均质和个性的哲学意义：水、电 vs 数据、信息

自从网格计算的概念被提出以来，计算资源就常常被比喻为水、电，而计算资源的提供就很自然地比喻为供水、供电。这种比喻到了所谓“云计算时代”更是在对大众宣传中被强调到了无以复加的地步。然而，笔者认为，这种比喻在概念上是不恰当，误人害己的。

从应用的观点出发来看，从历史到现在，所有的各种计算在本质上都是为了一个目的，亦即，把数据加工处理成为对特定的利用者有用的信息并且以方便于利用的表达形式传递给该利用者。同样的数据对于不同的利用者来说意义可以完全不同，因此，对某些利用者来说有用的信息对另外一些利用者来说可能是完全无用的甚至可能是多余的垃圾。在今天这个“数据爆炸”（并非什么“信息爆炸”！）的时代，除了传统的有效性、高效性、可靠性、安全性要求之外，巨大数据量的现实必然地导致了对计算的个性化要求。

水和电，在它们的生产、传输、消耗过程中，基本上始终是均质的；人们对水和电的需求也基本上是均质的。这是水利（水力、自来水）系统，电力系统的概念基础，全部水利（水力、自来水）工业，电力工业及其相应的商业模式都建立在这一概念基础之上。如果说到个性化要求的话，那么对水来说还有个水质的区别，而对于电来说，最多就是用量的区别了。然而，在计算世界里，事物的本质就完全不一样了。数据、信息和计算资源显然不是，也不可能永远是均质的。如果在计算世界中我们强迫自己寻找一种永远是均质的事物，那么只能是由0和1构成的比特字符串了。但是从应用的观点出发来看，比特字符串和水电在各自世界里的地位显然差距巨大，性质完全不同。尽管比特字符串是表达数据、信息、知识的最基本方式，但是却不是人们使用数据、信息、知识的表达方式。

笔者认为，水电之喻对网格计算的概念基础及其相应的商业模式所造成的认识混乱，是迄今网格计算没有收获当初所期待的巨大商业成功的原因之一。不幸的是，现在，“云计算”似乎又在步网格计算之后尘，甚至在商业模式的宣传中被强调的更甚。并且，在“透明计算”中，也有水电之喻的痕迹。笔者认

为，利弊相比，还是尽量少使用，甚至不使用水电之喻，对“网格计算”“云计算”“透明计算”的发展更为有利。

2. 计算模式：从组合式分类的观点看

近年来，各式各样的计算模式被提出，学术文献中、国际会议的名称中，“…… Computing”比比皆是。但是，到底满足了什么必要条件的可以说是一种计算模式？对各种计算模式究竟应该以怎样的准则来分类呢？

受“透明计算”的“算存分离，软硬分离”思想启发，笔者认为我们可以考虑这样一个从时空概念要素和功能结构要素的角度出发来对各种计算模式分类的准则：由不同的时空概念要素和功能结构要素以不同的方式组合而成的计算模式是不同类型的计算模式。显然，这个准则要求被分类的计算模式具有清晰的时空概念定义和功能结构定义。

在时空概念要素方面，我们可以考虑这样一些要素：时间阶段、顺序、并行、连续、离散、终结、持续、点、区域、集中、分布等。在功能结构要素方面，我们可以考虑这样一些要素：中央处理器、内部存储器、外部存储器、总线、输入输出设备、基本输入输出系统、网络接口、网络设备、输入数据、输出数据、中间数据、程序、脚本、解释器、编译器、操作系统、数据库系统等。从计算机科学的学术观点来说，对于各种计算模式中基本要素的分析和归纳，还需要严格而细致的研究工作。

“透明计算”具有清晰的时空概念定义和功能结构定义，从计算、存储、完成计算任务所需功能结构要素的分布和执行来看，有与传统计算模式完全不同的组合方式，因此从学术上看可以称之为一种新的计算模式。“云计算”没有清晰的时空概念定义和功能结构定义，因此从学术上看难以被称为一种新的计算模式。

3. 信息安全性：客户会更为相信谁？

在“透明计算”模式中，客户的应用计算本身是由终端客户机来完成的，服务器和网络仅仅起到存储计算所需资源和按需提供资源的作用。另一方面，在“云计算”模式中，在尽可能以多种方式（IaaS, PaaS, SaaS）为终端用户提供尽可能多的服务时，也担负着完成客户所期待的应用计算的任务。这两者间的不同，从信息安全性的角度来看，导致的效果是截然不同的。在“透明计算”模式中，因为数据和计算程序在存储和传输时都是可以由客户自身严格加密后进行的，服务器和网络无论是怎样的不安全，也不会对客户所要求的信息安全性（仅仅取决于客户自身加密的强度）造成实质上的威胁。但是，在“云计算”模式中，由于应用计算本身可以是由服务器来完成的，保障客户之信息

安全性的责任自然就必须由“云计算”服务提供方来负担。换言之，在“透明计算”模式中，客户可以由其自身来掌握和保障信息安全性，而在“云计算”模式中，客户只能把对信息安全性的保障之期待完全寄托在“云计算”服务提供方身上。

因此，从信息安全性的角度来看，“透明计算”模式中的信息安全性保障课题是能够仅凭使用技术手段来解决的，而“云计算”模式中的信息安全性保障课题是不可能仅仅使用技术手段来解决的。无论“云计算”把如今还非常不够的信息安全性保障手段在将来提高到怎样的水平，只要“云计算”服务提供方要为客户的信息安全性负责的这种模式结构还存在，那么这个问题最终只能是依靠有关损失赔偿的法律手段来解决。显然，当一个计算系统的信息安全性问题的重要性不是能够用经济指标来衡量的时候，法律手段也是无效的。故而，对信息安全性有极端要求的客户只有不选择通用的“云计算”服务。关于这一点，看看世界各国军方对“云计算”之热的冷眼旁观态度就明白了。

4. 系统可靠性：客户会更为依赖谁？

如果说从信息安全性保障的角度来看，“透明计算”和“云计算”之间还能分出个伯仲的话，那么，从系统可靠性的角度来看，两者就同样地面临着极大挑战了。为改善软件系统可靠性而在20世纪60年代后期应运而生的“软件工程”已经具有40多年的历史，但是，迄今仍然还没有能够系统地解决软件系统可靠性保障问题。因为一个可靠的完整计算过程应该是从输入数据给计算程序通过一系列计算步骤得到所期待的计算结果（包括像反应系统那样所期待的系列结果），因此，这个过程中的任何一个阶段出现了问题都将导致可靠性被破坏。无论对“透明计算”来说还是对“云计算”来说，由于为了减轻客户的负担而承担了比传统计算模式更多的“系统任务”，也就承担了对保障可靠性的责任。尤其是，无论在“透明计算”模式中还是在“云计算”模式中，一个共同的特征是它们都通过一个集中式服务设施来为客户提供服务。这个集中式服务设施恰恰就是整个模式结构的“短板”，一旦崩溃，其对可靠性保障的影响之广泛、之严重，都是与客户的广泛度和重要度成正比的。“云计算”的最初提倡者、实践者之一的美国某跨国公司的服务系统大规模停机和日本某服务供应商的存储系统完全崩溃所造成的影响之巨大，是在传统计算模式下从未见到过的。

伴随着计算过程从传统的“孤立行为”的模式转变为像“透明计算”和“云计算”这样的“提供者-客户相互依存服务行为”的模式，对系统可靠性保障责任的重要性、法理性也必然地凸显出来了。现在，从提供服务的角度来看，

无论对“透明计算”来说还是对“云计算”来说，系统可靠性都很难是一个孤立的技术课题了。在法律保证之下，一个技术保障上相对较弱而经济赔偿保证上却很周到的服务商和另外一个技术保障上相对较强但经济赔偿保证上却稍欠缺的服务商相比，谁更能吸引更多的客户来享受服务呢？答案是显然的，看看银行业的发展史就很清楚了。

5. 计算系统的整体复杂性：谁给出了更佳解？

尽管近些年来，众多研究工作和技术开发都是直接地或间接地为了解决计算系统的复杂性问题，但是对缓解计算系统整体复杂性的效果却并非很明显，有些努力甚至适得其反。

“透明计算”提出的动机就是为了主动地、强制性地减少终端客户机软件系统的复杂性和降低一般终端客户使用和维护终端计算机的成本。在“算存分离，软硬分离”这一基本思想指导下，“透明计算”的一个基本策略就是把除了计算本身之外只要是能够让服务器及网络做的事就不让终端客户机来做。这个策略理所当然地导致终端客户机的轻量化，亦即所谓的“瘦客户机”，同时也必然地降低一般终端用户对终端客户机的使用和维护成本。对于绝大多数个人用户，尤其是只被允许使用“瘦客户机”的个人用户来说，“透明计算”的这种强制性简化所带来的轻松快乐是实实在在的。但是，从计算系统整体来看，显然仅仅依靠终端客户机的轻量化并不能直接导致计算系统整体复杂性的减少。如果在传统计算方式中被“透明计算”方式轻量化掉的传统终端客户机的工作全部都被转移到了网络和服务器的上去，那么使得服务器和网络更为复杂也是必然的结果。“透明计算”的另一基本策略就是让服务器仅仅存储和管理计算所需之数据资源，无须来为终端用户做具体计算工作，亦即所谓的“瘦服务器”。于是，缓解计算系统整体复杂性的任务就自然落到了网络及“透明计算层”上。

另一方面，“云计算”对缓解计算系统整体复杂性的效果如何呢？如同本文在前面所述，从背景、动机、目的来看，“云计算”从未清晰地提出过要主动地、强制性地减少终端客户计算机软件系统的复杂性和降低一般终端客户使用和维护终端计算机的成本。“云计算”作为一种商业模式，其基本策略是尽可能以多种方式（IaaS, PaaS, SaaS）为终端客户提供尽可能多的服务，而不去关心终端客户计算机如何，这基本是一种“姜太公钓鱼，愿者上钩”的策略。由于不主动关心和不强制性地降低终端计算机的复杂性，而以云服务方式为终端客户提供各种服务必须要增加相应的调度管理设施，“云计算”系统的整体复杂性显然要大大地高于传统计算系统的整体复杂性。即便是仅仅从商业利益角度出发来看，系统整体复杂性所导致的初期投入和日常管理的成本，也将迫使“云

计算”服务商们认真考虑减少系统整体复杂性的问题。但是，除非到了“云计算”服务模式必须仅仅依靠对终端客户收费的增加和服务设施成本的降低（亦即，无法再依靠政府无偿投入的真正的市场商业模式）来维持盈利之时，减少系统整体复杂性的问题恐怕还不会引起“云计算”服务商们足够的重视。

笔者认为，减少计算系统整体复杂性的可行途径是应该让计算系统在整体结构及其各下层结构都尽可能地简单化和标准化，同时在简单化和标准化的结构下实现计算资源管理和计算任务执行的高度自动化，凡是会增加系统结构复杂性的任何自动化技术都是不可取的^[15-18]。从减少计算系统整体复杂性，简单化和标准化计算系统结构来看，基于“算存分离，软硬分离”思想的“透明计算”的方向性远比“云计算”要清晰、合理、可行。“云计算”在这个问题上还看不出什么清晰的方向性，处于一团“云雾”之中。

6. 命名的艺术和效果：“透明” vs “云”

为什么后发表的“云计算”反而比先发表的“透明计算”更加广为人知，热遍世界？笔者认为，两者的命名恐怕对上述现象多少有所影响（这种影响是否是最关键的在这里姑且不论）。

“透明”是一个不能孤立存在的概念，如果不明确地说明到底是什么事物对于什么对象的出于什么目的或动机的什么观察来说是“透明”的，一般人是难于（如果不是不可能的话）理解其内涵，也很难对其给予自己的某种解释的。所以，当人们看到、听到“透明计算”这个名词时，基本会出现两种态度，一是阅读相关文献深究其真正含义，二是无视。这就必然地导致只有希望了解并且能够懂得“透明计算”的专业内涵的人群才会去关注它、理解它，进而宣传它。

“云”是一个可以孤立存在，谁都可以对其有自己的理解，给予自己的解释的模糊概念。“云计算”与其说是一个命名，不如说是一个比喻更为恰当。在计算机科学和信息技术的发展史上，“云计算”是否为第一个以比喻方式命名的技术名词还需要去“考古”，但是，“云计算”肯定是到目前为止传播的最快、最广泛、最具影响力的一个以比喻方式命名的技术名词。如今在世界各国，上到基本不懂计算机科学和信息技术的科学家、教授、政府官员、公司高管，下到作为计算机最普通用户的大中小学生、公务员、商贩，各行各业似乎都有人在谈论着什么“云计算”等等，更有不少新闻记者以一副懂行的模样在宣传评价着“云计算”。这一效果，无疑是由于当任何人看到、听到“云计算”这个名词时都会对其按照自己的解释来理解它而造成的。这也正是“云计算”至今没有，以后恐怕也不会有一个清晰的内涵的或外延的概念定义的原因之所在。无论

“云计算”今后的商业成功究竟如何，其命名的宣传效果之巨大，是显而易见的。

7. 计算机科学家的社会责任

按照19世纪80年代达尔文给“科学”所下的定义，“科学就是整理事实，从中发现规律，作出结论”。针对“透明计算”和“云计算”来说，计算机科学家、学术研究工作者的社会责任应该在于观察现象、整理事实、澄清概念、归纳观点、发现规律、预测发展、阐述结论、指引方向。产业界人士为了应用（最终也是为了赢利），商业界人士为了赢利，不求甚解地人“云”亦“云”，追赶时髦，情有可原。但是如果一个计算机科学家、学术研究工作者也同样不求甚解地人“云”亦“云”，追赶新名词之时髦的话，是否有偏离其社会责任之嫌呢？

三、结论和展望

综上所述，尽管“透明计算”和“云计算”两者之间有不少相似乃至共同之处，先于“云计算”提出的“透明计算”具有原创的思想、明确的动机、清晰的概念、创新的结构，激起新的技术挑战，从学术上看可以称之为一种新的计算模式；而后于“透明计算”提出的“云计算”仅仅是一种新的商业模式，从学术上看没有原创的思想和明确的动机，其概念模糊、结构纷杂，在技术上为传统分布式计算（网格计算）的继承延伸，因而难以被称为一种新的计算模式。

“透明计算”的轻量化终端客户机方式在基于移动通信的、面向个人客户或者均质集团客户的各类应用中有着广泛的应用前景。将来，当一个具备高速计算、高速通信和高度自动化功能的轻量化终端客户机，其量产成本与其所执行任务的重要性或者价值相比是微不足道的时候，它甚至可以被制造成为一次性使用的消耗品。这种一次性使用的轻量化终端客户机在军事、救急救险、电子投票、远程教育（考试）、高级娱乐等应用方面有着无可替代的绝对优势。

“云计算”的三种典型服务方式（IaaS, PaaS, SaaS）在对可用性、可靠性、安全性的要求都不是很高、很严格的各种应用中有着广泛的应用前景，尤其是对于期待着通过廉价的（廉价！这是关键）云服务来降低自己的服务成本的小规模服务商来说还是很有吸引力的。将来，在社会高度福利化的时代，作为对信息获取权利和手段的社会公平性保证，“云计算”方式的云服务将会由各国政府来提供和管理，人们将以免费或者极其低廉的费用来享受最一般的计算服务；而具备高可用性、高可靠性、高安全性的“云计算”高端服务将由有技

术能力和法律保证的专业服务商来提供和管理。

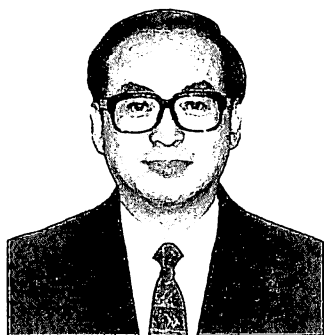
“透明计算”和“云计算”都在如何向广大客户提供可用性保障、可靠性保障、安全性保障等课题方面面临着许多技术性挑战。而计算机通信网络的质量，对两者都是致命相关的。没有高质量的计算机通信网络，无论是“透明计算”还是“云计算”，都绝无可能顺利地持续发展。而另一方面，一旦“透明计算”和“云计算”被整个社会所认可，成为世界范围的基础服务方式时，它们会极大地刺激计算机通信网络的基础建设和技术发展。因此，研发相应技术、显示有效应用固然重要，但是对于“透明计算”和“云计算”的顺利、稳定、长期的发展来说，概念、原理、方法论、商业模式的澄清和确立，还是至关重要的。

爱因斯坦说过：“Everything should be made as simple as possible, but not simpler”。“透明计算”的“算存分离，软硬分离”思想引发了笔者思考这样一些问题：在当前的计算系统一般结构当中，还有什么组合成分是可以加以分离而其效果能够导致系统从整体结构上来看更为简单的？一个计算系统及其设计、建造、使用、维护当中，哪些成分或者过程是最基本的，简单到不能更简单的，其他成分或过程都是能够通过这些基本成分或过程组合出来的呢？

四、参考文献

- [1] 张尧学. 透明计算：概念，结构和实例. 电子学报，2004，32（12A）：169-174.
- [2] Y. Zhang, Y. Zhou. Transparent Computing: A New Paradigm for Pervasive Computing. in: J. Ma, et al. (Eds.). Ubiquitous Intelligence and Computing, Third International Conference, UIC 2006, Wuhan, China, September 3-6, 2006, Proceedings. LNCS, 2006 (4159): 1-11.
- [3] E. Schmidt. Conversation with Eric Schmidt hosted by Danny Sullivan. Search Engine Strategies Conference, August 9, 2006.
- [4] G. Boss, P. Malladi, D. Quan, et al. Cloud Computing. IBM, October 8, 2007.
- [5] Yaoyue Zhang, Cunhao Fang. Active Services: Concepts, Architecture, and Implementation. Thomson Learning, 2005.
- [6] Yuezhi Zhou, Yaoyue Zhang. Transparent Computing: Concepts, Architecture, and Implementation. Cengage Learning Asia, 2010.
- [7] IBM. IBM Introduces Ready-to-Use Cloud Computing. November 15, 2007.
- [8] IBM. IBM Perspective on Cloud Computing: The “next big thing” or “another

- fad”？ October 2008.
- [9] J. Geelan. Twenty One Experts Define Cloud Computing. *Virtualization*, August 2008.
 - [10] I. Foster, et al. Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared, in: *Proc. Grid Computing Environments Workshop*, November 2008.
 - [11] M. Armbrust, et al. A View of Cloud Computing. *Communications of the ACM*, 2010, 53 (4).
 - [12] N. Antonopoulos, L. Gillam (Eds.). *Cloud Computing: Principles, Systems and Applications*. Springer, 2010.
 - [13] J. W. Rittinghouse, J. F. Ransome. *Cloud Computing: Implementation, Management, and Security*. CRC, 2010.
 - [14] R. Buyya, et al. (Eds.). *Cloud Computing: Principles and Paradigms*. Wiley, 2011.
 - [15] J. Cheng. Soft System Bus as a Future Software Technology, in: *Proc. 8th International Symposium on Future Software Technology*, Xi'an, China, SEA, October 2004.
 - [16] J. Cheng. Soft System Bus Technology for Ubiquitous Computing (Invited Paper). *JISA Bulletin*, 2005, 76 (1): 3 – 13.
 - [17] J. Cheng. Connecting Components with Soft System Buses: A New Methodology for Design, Development, and Maintenance of Reconfigurable, Ubiquitous, and Persistent Reactive Systems, in: *Proc. 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications: 1*. Taipei: IEEE Computer Society Press, 2005: 667 – 672.
 - [18] J. Cheng. Persistent Computing Systems Based on Soft System Buses as an Infrastructure of Ubiquitous Computing and Intelligence. *Journal of Ubiquitous Computing and Intelligence*, American Scientific Publishers, 2007, 1 (1): 35 – 41.



程京德，1982年7月毕业于清华大学计算机科学与技术系（清华大学1982届校级优秀毕业生），获工学学士学位；1986年3月和1989年3月分别毕业于日本国立九州大学研究生院工学研究科硕士课程和博士课程，获工学硕士学位和工学博士学位。1982年7月任清华大学计算机科学与技术系助教；1989年4月任日本国立九州大学工学部信息工程学科助教；1991年1月任日本国立九州大学工学部信息工程学科副教授；1996年5月任日本国立九州大学信息科学与电气电子工程研究科信息工程学科教授（全日本国立大学中第一位外国人教授）；1999年4月至今任日本国立埼玉大学理工学研究科信息系统工程学科教授。ACM高级会员，IEEE，IEEE-CS，IEEE-SMC，IPSJ会员。研究领域涵盖软件工程、知识工程、信息安全性工程、相关逻辑。多次获得国际会议最佳论文奖。