

Survey of Current Progress of Cloud Computing and Its Interoperability

Ming Gao

Ideal Institute of Information and Technology, Northeast Normal University, Changchun
Email: 474896419@qq.com

Received: Oct. 15th, 2012; revised: Oct. 25th, 2012; accepted: Nov. 5th, 2012

Abstract: Since Cloud computing emerged, it not only becomes a major initiative of the IT sector, but also has an enormous impact on the production and living of the people. With the development of Cloud computing, it has become from the beginning of one Cloud platform to provide computing power to evolve into the cooperation from two or more Cloud platforms together. Cloud computing interoperability plays a significant role. In this paper, by a brief outlook of Cloud computing and its interoperable literature research on development, the author focused on Cloud computing interoperability status quo, presented the disadvantages of interoperability, and the future of Cloud computing in brief. Hope through a series of summary and study to promote Cloud computing interoperability research.

Keywords: Cloud Computing; Interoperability; Semantic Interoperability; Standardization; Framework

云计算互操作发展现状综述

高明

东北师范大学理想信息技术研究院, 长春
Email: 474896419@qq.com

收稿日期: 2012年10月15日; 修回日期: 2012年10月25日; 录用日期: 2012年11月5日

摘要: 自云计算问世以来, 不仅成为 IT 界一大创举, 而且对人们的生产生活产生巨大的影响。随着云计算的发展, 从伊始一个云平台提供运算能力, 逐渐演变到两个以上云平台互相配合, 云计算互操作功不可没。本文通过对云计算互操作文献资料的研究, 着重阐述云计算互操作的现状, 提出互操作的不足, 并对云计算互操作的未来发展做简要的展望。希望通过一系列的总结与研究, 对云计算互操作的研究起到积极的推动作用。

关键词: 云计算; 互操作; 语义互操作; 标准; 框架

1. 引言

随着互联网的发展, 越来越多的人习惯于“网上冲浪”, 对网友而言最痛苦的莫过于网站无法登陆时, 对电子商务业者而言更加心痛不已, 不仅会造成巨大的经济损失, 还会导致潜在的客户流失。台湾《自由时报》曾报道, 2010年圣诞节前提供电话实时通讯服务的 Skype 当机, 导致全球八百万用户无法与亲人联系。即时通讯 MSN 当机一小时, 影响全球 5% 的用户正常使用。

服务器当机只是网上“不幸遭遇”之一, 还有网络拥堵、延迟、资源闲置等问题。如何充分利用现有的科技与设备, 最大限度利用资源, 构建优质的运营架构, 资源优化配置, 是摆在网络科技人员的难题。

“云计算”的出现, 一切难题迎刃而解。

2. 云计算定义、特征及分类

2.1. 云计算定义

通过查阅资料了解到, 目前为止, 云计算尚处在

发展阶段，业界没有统一的定义，都是从不同的角度来定义。

美国 Argonne 国家实验室的资深科学家、Globus 项目的领导人 Ian Foster 将云计算定义为：“云计算是由规模经济拖动，为互联网上的外部用户提供一组抽象的、虚拟化的、动态可扩展的、可管理的计算资源。计算能力、存储能力、平台和服务的一种大规模分布式计算的聚合体”^[1]。

中国云计算、网络计算专家刘鹏认为，“云计算是一种商业计算模型，它将计算任务分布在大量计算机构成的资源池上，使用户能够按需获取计算能力、存储空间和信息服务”^[2]。

云计算定义存在狭义和广义之分，狭义云计算指 IT 基础设施的交付和使用模式，指通过网络以按需、易扩展的方式获得所需资源；广义云计算指服务的交付和使用模式，指通过网络以按需、易扩展的方式获得所需服务^[3]。

以上是从不同角度来定义云计算。从根本来看，可将云计算描述为以虚拟技术为核心，利用互联网将分散的资源集合起来，用户按需获取虚拟化、可伸缩的 IT 服务。

2.2. 云计算特征

1) 超大规模

“云”之所以有超强大的运算、存储和信息服务功能，是因为它有超大规模的服务器集群作为支撑。Google 拥有 100 多万台服务器支撑云计算，而微软、IBM、Yahoo 等也分别拥有几十万台。

2) 虚拟化

最直接的是给用户的体验为，不需要用户了解云计算的任何细节，只需要一台 PC 或者 PDA，只要能连接网络，便可以随时随地享受到强大的 IT 服务。而这些服务资源来自“云”，而非是具体的实体。

3) 通用性

云计算不是针对某一应用而建立，它可以支持成千上万的应用程序运行。

4) 可扩展性

“云”的规模可以根据用户和应用的规模变化而变化。

5) 可靠性

“云”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可靠性。

6) 按需付费

“云”像是庞大的资源库，按需获取服务付费，像自来水、煤气一样。

2.3. 云计算分类

现阶段云计算平台，按服务可分为 IaaS、PaaS、SaaS。按服务范围可分为私有云、公有云、混合云。

2.3.1. 按服务分类

IaaS(Infrastructure as a Service, 基础设施即服务), 是提供给消费者的服务是对所有设施的利用, 包括处理、存储、网络和其它基本的计算资源, 用户能够部署和运行任意软件, 包括操作系统和应用程序。具有代表性的, 如 Amazon EC2。

PaaS(Platform as a Service, 平台即服务), 是客户采用提供的开发语言和工具开发的或收购的应用程序部署到供应商的云计算基础设施上去。具有代表性的, 如 Google App Engine。

SaaS(Software as a Service, 软件即服务), 是通过 Internet 提供软件的模式, 厂商将应用软件统一部署在自己的服务器上, 客户可以根据自己实际需求, 通过互联网向厂商定购所需的应用软件服务, 按需付费, 并通过互联网获得厂商提供的服务。具有代表性的, 如 Salesforce。

2.3.2. 按服务范围分类

私有云是为一个客户单独使用而构建的, 提供对数据、安全性和服务质量的最有效控制, 可部署在企业数据中心的防火墙内, 也可以将它们部署在一个安全的主机托管场所。

公有云是企业通过自己的基础设施直接向外部用户提供服务。外部用户通过互联网访问服务, 并不拥有云计算资源。

混合云, 是目标架构中公有云、私有云和或者公众云的结合。由于安全和控制的原因, 并非所有的企业信息都能放置在公有云上, 这样大部分已经应用云计算的企业将会使用混合云模式。

3. 云计算互操作定义

目前阶段, 搭建云计算平台之后, 各自享受云平台的“小堡垒”, 独立性很强, 但互连互通很差。由

于架构、技术、API 等都不同,基本上很难做到平台间的互通,导致单个平台工作自如,一旦涉及多个平台协作,或动态迁移,或动态调度等,便失掉了风采。这里需要沟通多个平台的互操作技术。

笔者查阅了国内多个文献数据库,如知网、万方、维普等,多是对云计算的研究,而对云计算互操作的研究寥寥无几。因此,不得不将研究重点转向国外。相比较,国外的研究比较深入。

云计算互操作,云计算用例讨论小组认为,是指可以与多于一个云计算提供商共同完成某项任务的能力,而忽略云提供商之间的不同^[4]。至于语义互操作,欧盟委员会提出,在于对两个云系统表述和理解统一信息方式的不同^[5]。Cohen 指出,云的分类可以作为开发不同云系统的基础,提供普遍适用于描述云组件和它们之间关系的框架^[6]。

根据 Cerf 的报告^[7], Tim Berners-Lee 提出,语义的连接数据可能是互连计算云的缺失部分,以此来解决云互操作的问题。特别是,数据和动作的语义具有相关数据和词汇。其中的动作,体现出建立一种互连云计算语言的开端。此外,API 将起到云操作、管理、保障、支配的作用。

若开发的云计算模型遵照语义、关注语义互操作、模型化、无状态化和低耦合等特性, Sharma 和 Sahu 认为,便可使用数据分析、加工和交换建立的普遍信息空间^[8]。

回顾国外文献,我们可以看到,有想尝试通过标准数据模型和 API 解决语义互操作的难题;用云系统的语义互连来消除提供商锁定的问题,并利用应用和数据的可移植性,以提高云计算平台的工作效率和解决大规模运算等问题的灵活性。

4. 云计算互操作发展现状

私有云、公有云、混合云大行其道,如何整合云的力量,如何相互配合提高效率,成为业界关注的新焦点。笔者查阅文献,对云计算互操作发展现状总结出以下三方面。

4.1. 标准化倡议

众所周知,无规矩不成方圆。因此,在某领域中形成权威的标准,一定会大有裨益。但云计算至今没

有统一的标准,各界一直为之努力。一些非营利性的团体组织制定了相关的标准,旨在推进云计算及其互操作标准的统一与实施。

DMTF 即 the Distributed Management Task Force。该组织推出了《开放云标准孵化器》^[9]。最近,该标准被“云管理工作组”(CMWG)^[10]所替代,力求云交互标准化。此外,DMTF 发布了《开放虚拟化格式》(OVF)^[11],描述了一种便携式的、效率高的格式。该格式对于跨多台虚拟机软件包和分布式管理与应用很有意义。IEEE^[12]已经组成两个工作组,P2301 和 P2302。第一个工作组负责制定应用便携化的标准,第二个工作组致力于一个云的系统同另一个云的系统一起协作。CCIF^[13],即 the Cloud Computing Interoperability Forum,正在计划提出全球云计算生态系统,该标准将允许两个以上云平台一起无缝隙地工作。关键因素是云接口的标准和语义云数据模型的统一描述。OASIS^[14],即 the Organization for the Advancement of Structured Information Standards,将云计算作为 SOA 的扩展,计划开发基于现存支持云安全和云交互的云模型、配置文件和相关扩展。

开放组织云工作组^[15]目标是建立通用的标准,使买家和卖家之间消除锁死问题。OCC^[16],即 the Open Cloud Consortium,为不同云提供商的交互提供参考实现、基准和框架的支持。此外,IBM 的合伙人、开放数据中心联盟^[17],列举了未来硬件与软件的需求,而那些需求可使更加开放和更加交互的数据中心解决方案。CIF^[18],即 the Cloud Industry Forum,主张采纳并使用基于云的服务,由用户与云提供商构造一个中间件。中间件作为连接用户与云提供商之间、云与云之间信息交互的桥梁。中间件的广泛应用也是 TM 论坛的云服务倡议^[19]的主要目标。

综上所述,总结为三类:1) 标准化 API、接口和管理模型;2) 数据模型;3) 中间件。

4.2. 云互操作的框架

国外研究人员对云互操作框架进行了深入的研究,具有代表性的如下。

Hoff^[20]提出云社区在以下三方面反复循环来解决云互操作:服务中间件、语义和 API。Cohen^[17]也指出,若云提供商们共享一套通用的 API 和术语,它

们就能互操作。

Govindarajan 和 Lakshmanan^[21]提出除了 API 和中间件, 可通过控制、数据和其他方面来深入研究互操作, 如政策管理、安全管理和部署等方面。此外, 他们还提出建立相关抽象层, 以提高交互性和便携性。

Bozman 和 Chen^[22]提出三个关键因素来解决从一个云到另一个云的无缝隙移动: 标准的 API、抽象层和管理(即以统一的方式管理物理的、虚拟的服务器)。

Urquhart^[23]和 Sambyal^[24]都提出 PaaS 和 IaaS 服务需要统一的只需两个接口点: 管理接口和传送部件。管理接口使用一系列工具来监控和操作资源与服务, 传送部件包括主要的软件、支持的数据、配置和政策, 使得软件可以运行。Llorente^[25]指出两个互操作阶段: 管理互操作和服务互操作。

Jha、Merzky 和 Fox^[26]总结云计算核心能力, 并在两个层次上实现互操作: 基础设施层(核心能力)和云接口层。资源/服务的语义构成了核心能力, 以及管理这些能力(即配置、可用性、服务质量、安全)。这些服务借助接口来实现, 接口通过 API 来访问。

从文献中可以看出, API 对于云计算互操作而言是极其重要的。涉及到核心函数的标准化, 核心函数要迎合不同云提供商和不同 API 的基本需求。此外, 云互操作框架需要云栈, 包括对于描述云的语义和行为。最后, 服务中间件和抽象层也是用于解决云互操作的技术。

4.3. 云互操作的解决方案

国外文献关于解决云计算互操作的架构和解决方案不是很多, 具有代表性的如下。

IaaS^[27], 即 the Infrastructure-as-a-Service Aggregator。它作为统一接口为 IaaS 用户管理资源, 使不同的 IaaS 提供商提供资源。IaaS 模型, 是基于 DMTF 的统一信息模型(CIM^[28])构建的, 适合所有的 IaaS 提供商, 并提供满足用户需求的操作。

Maximilien 等^[29]提出, 云无关的中间件可以作为任何云客户端的经纪人, 而无须捆绑到云提供商上。有三种主要的需求亟待解决: 管理、质量问题和不可知的互操作(涉及到框架、语言和预算)。为了实现需求和架构, 创建了对于任一云平台都适用的元模型, 该模型是 API 和云功能的抽象表示。

Nguyen^[30]提出“蓝图”的概念, 是指为云产品提供统一的抽象描述。蓝图有六个元素: 基础属性、产品(包括功能性的和非功能性的)、实现的原型、资源需求、架构需求和不变量。用模板来设计蓝图, 云提供商可以无缝的互操作与合作。

虚拟机合约是被设计提供自动控制和管理统一虚拟机的平台, 借助于添加管理元数据到虚拟机存储与通信的包中^[31]。作者描述了 VMC 是如何从 OVF 的扩展演变而来。此外, VMC 标准化可以提供统一管理, 甚至具有跨异步元素环境的能力。

F. Gal'an 等^[32]提出关注服务提供商和设施提供商之间的交互。最普遍的问题是每个云都有为自身服务量身定制的机制。作者认为以开放云标准为参照, 基于服务定义, 使用 OVF 作为服务定义语言。然而, OVF 不能用于设计云, 因此不能满足 IaaS, 如自配置, 自定义的自动弹性和性能监控的问题。因此, 他们提出 OVF 格式的扩展, 以解决以上问题。

云 API^[33]是降低卖家锁死和改进便携式的方法。它给云栈的每层提供了编程接口的抽象, 并提供了通用接口。使得不同的提供商在不同的抽象层可以交流与合作。

欧盟资助的项目 RESERVOIR 的目的是推进新型的面向服务框架的发展, 它以可靠的服务传送并实现云提供商的动态互操作。为此, 将服务提供商和基础设施提供商分离开来。服务提供商同终端用户交互, 了解并满足用户需求。它们并不拥有计算资源, 相反, 可从基础设施提供商获得资源^[34]。此外, 服务提供商用人工服务来描述用户需求。

mOSAIC^[35]项目的目的是开发用于云提供商之间的开源平台。该平台有两个主要部件: 资源经纪人和应用执行者。资源经纪人是负责客户端接口和云代理的资源组合。首先描述应用的需要, 其次使用验证应用配置的本体, 并产生 SLA。应用执行者是基于 SLA 的应用执行。

综上可看出, 许多方案都提出统一的方式来描述不同云服务和基于通用数据模型的功能。有的提出云服务的抽象描述, 有的提出描述云服务的四种类型。除了数据外, 还有功能性、非功能性、管理或者系统方面的类型。OVF 是一个支持配置、包和分布式虚拟应用的开放标准。OVF 的扩展允许用户给出服务的完

全定义，所以，它可以自动的在任何地方部署、管理。另外，标准 API 是语义互操作的主要方案，用于解决互操作，可以无缝地管理不同的云。最后，元模型是语义互操作的另一个方案，用于提供异步元素如 API 的抽象层次等。

5. 云互操作的困境与对策

5.1. 云互操作的困境

1) 标准不统一

云计算的标准化一直是业界争论的焦点。标准化涉及两方面，一是标准化组织制定的标准。标准化组织如 DMTF、IEEE、CCIF 等，其中每个组织对云计算各个领域都有详尽的描述与规定。如 DMTF 发布了《互操作云》^[36]《云管理的架构》^[37]、《云审计数据联盟用例白皮书》^[38]等，涉及云领域的有几十篇规范。可以想象不同的标准化组织，制定的规范更多更千差万别。二是企业应用的标准。如亚马逊 EC2、谷歌 App Engine 与微软 Azure 区别很大，思想不同，根本没有彼此通信的可能，但是同一厂家的产品倒是可以利用自身的标准互通。

2) 中间件有待提高

目前，国内尚无云中间件研发与服务，国外有 SofCloudIT、Vordel、Strategic Blue 等提供中间件服务。其功能各异，有的提供 IaaS 之间的互连，有的提供 IaaS 与 PaaS 之间的互连等，很难提供多类型平台的互通。

3) 安全问题始终存在

安全问题一直是困扰云计算的难题，互操作也不例外。无外乎是互连时，权限如何界定；动态迁移时，数据如何保存与隔离；网络架构如何设定等。如何能保证数据的安全，是互操作乃至云计算发展的关键。

5.2. 解决对策

针对以上困境，笔者提出以下对策。

1) 针对标准不统一

业界在积极推动，但短时期内很难达成一致，需要市场的优胜劣汰来选择最优的标准，很有可能出现不同标准鼎力的状况。

2) 针对云互操作冲突

最主要的办法是统一的云模型。需要指出，统一

的标准目的是开发统一的云模型，其组件包括计算资源、服务、API 等都要统一，特别是标准化的 API 应该支持所有云提供商，以方便互操作。

3) 提高中间件性能

未来的中间件需要支持多平台的互通作业，而不是局限于某种平台之间，同时，可以增加中间件的功能，如数据包验证、网络安全验证、发送序列验证等，在数据迁移或者连通便会先行防火墙一步检验安全，不仅提供了基本的互通中间件的功能，而且提供了安全验证等附加功能。未来的云平台环境会更加复杂，中间件只有提高兼容性和完备性才能更好的推动互操作的发展。

4) 提高安全级别

需要从安全模型、标准、规范方面出发，详细界定安全方案的细则。国外已有进展，如 CSA(Cloud Security Alliance, 云安全联盟)建立安全模型，完成《云计算面临的严重威胁》、《云控制矩阵》、《关键领域的云计算安全指南》^[39]等研究报告，DMTF 等组织也有相关的标准。国内正在逐步推进相关制度与政策的制定。只有安全做到了前面，才能保证云平台的健康快速发展。

6. 总结与展望

笔者依据现有资源，大胆预测云计算的未来发展：

首先，形成统一的行业标准。百家争鸣只是一个阶段，当技术与应用都成熟时，会有依据业内优势者来制定行业标准，如 SaaS 的 Salesforce, IaaS 的 Amazon 之类等。但需要行业、学界、标准组织和政府的积极推动。在不远的将来，无论是搭建私有云，购买共有云或混合云都将标准化，云之间的互操作会更加容易、便捷。

其次，更强大更便捷更安全。随着科技的发展，经历优胜劣汰的云计算必将会不断提升品质，朝着更加强大，更加便捷，更加安全的方向发展。强大表现在计算运行能力，特别是互操作能力，适用于用户各种大运算量的需求；便捷表现在未来的集群会更加灵活的运行、部署、访问、管理、迁移等，提升用户体验；安全表现在数据、访问、管理等，让用户放心。

再次，监管分开与买卖分明。监控管理两者要分

开。民间非营利组织实时关注云计算的发展,提出改进的措施与方案;管理需要政府相关部门组织专家,结合民间组织的意见来积极引导与管理。买家卖家需要分开。买家指云计算的使用者,卖家指云计算的提供商。现状是两者模糊,有的买家既是云平台的拥有者又购买其他云提供商的云平台。笔者预测,将会同通信业发展类似,出现阶段性的行业大亨,如中国联通、移动等,通过市场调节与政府调控,最终形成行业的“民主与公平”。

最后,与其他领域广泛结合。笔者认为,现阶段的云计算仍是单一的运用其无比强大的计算能力,而与其他领域结合有待提高。中国政府真知灼见,以物联网来融合云计算与物体监控,是与其他领域结合的典范。高精尖领域,如航天科技、军事科技、生物科技等,会使云计算大展拳脚。在云计算的推动下,高精尖领域必将向更高更快的方向发展。

参考文献 (References)

- [1] I. Foster. Cloud computing and grid computing 360-degree compared, 2008.
http://www.cs.lit.edu/~iraicu/research/publications/2008_GCE08_Clouds_Grids.pdf
- [2] 刘鹏. 云计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 1.
- [3] 新华网网[URL], 2010.
http://news.xinhuanet.com/eworld/2010-07/17/c_12342957.htm
- [4] Cloud Computing Use Case Discussion Group. Cloud computing use cases V.4, 2010.
<http://www.scribd.com/doc/18172802/Cloud-Computing-Use-Cases-Whitepaper>
- [5] European Commission. European interoperability framework v2, 2008. <http://ec.europa.eu/idabc/servlets/Doc?id=31597>
- [6] R. Cohen. Semantic cloud abstraction, 2009.
<http://www.elasticvapor.com/2009/02/semantic-cloud-abstraction.html>
- [7] V. Cerf. Cloud computing and the internet, 2009.
<http://googleresearch.blogspot.com/2009/04/cloud-computing-and-internet.html>
- [8] V. Sharma, S. K. Sahu. Cloud computing in semantic technology. International Journal of Research and Reviews in Computer Science, 2011, 2: 30-32.
<http://www.dmtf.org/standards/Cloud>
- [9] <http://dmtf.org/sites/default/files/CloudManagementWGCharter.pdf>
- [10] <http://dmtf.org/sites/default/files/CloudManagementWGCharter.pdf>
- [11] <http://www.vmware.com/appliances/getting-started/learn/ovf.html>
- [12] <http://standards.ieee.org>
- [13] <http://www.Cloudforum.org>
- [14] <http://www.oasis-open.org>
- [15] <http://www.opengroup.org/Cloudcomputing>
- [16] <http://openCloudconsortium.org>
- [17] <http://www.opendatacenteralliance.org>
- [18] <http://www.Cloudindustryforum.org>
- [19] <http://www.tmfforum.org>
- [20] C. Hoff. Inter-cloud rock, paper, scissors: Service brokers, semantic web or APIs? Rational survivability, 2009.
<http://www.rationalsurvivability.com/blog/?p=1189>
- [21] R. Cohen. Examining cloud compatibility, portability and interoperability. Elastic vapor: Life in the cloud, 2009.
<http://www.elasticvapor.com/2009/02/examining-cloudcompatibility.html>
- [22] A. Govindarajan, G. Lakshmanan. Overview of cloud standards. Cloud computing. London: Springer, 2010: 77-89.
- [23] J. Bozman, G. Chen. Cloud computing: The need for portability and interoperability. IDC Analyze the Future, Sponsored by Red Hat, Inc., 2010.
- [24] J. Urquhart. Application packaging for cloud computing: A proposal, 2010.
http://news.cnet.com/8301-19413_3-10422517-240.html
- [25] A. S. Sambyal, D. Jamwal and G. S. Sambyal. Cloud computing: A growing edge. Proceedings of the International Conference on Upcoming Trends in IT (ICUTIT-2010), Punjab, 2010.
- [26] I. Llorente. Cloudscape II. Advances in European eInfrastructures, Position Papers & Profiles, 2010.
http://www.ogfeurope.eu/Repository/FileScaricati/Cloudscape_II_Position_Papers_and_Professional_Profiles.pdf
- [27] S. Jha, A. Merzky and G. Fox. Using clouds to provide grids higher-levels of abstraction and explicit support for usage modes. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2009, 21: 1087-1108.
- [28] B. S. Lee, S. Yan, D. Ma and G. Zhao. Aggregating IaaS service. Proceedings of 2011 Annual SRII Global Conference on Connecting Services to Science & Engineering, San Jose, 2011.
<http://www.dmtf.org/standards/cim>
- [29] <http://www.dmtf.org/standards/cim>
- [30] E. Maximilien, A. Ranabahu, R. Engehausen and L. Anderson. Toward cloud-agnostic middlewares. Proceeding of the 24th ACM SIGPLAN Conference Companion on Object Oriented Programming Systems Languages and Applications (OOPSLA 2009), Orlando, 2009: 619-626.
- [31] D. K. Nguyen. Foundations of blueprint for cloud-based service engineering. Center Working Paper Series, 2011.
<http://ssrn.com/abstract=1861152>
- [32] J. Matthews, T. Garfinkel, C. Hoff and J. Wheeler. Virtual machine contracts for datacenter and cloud computing environments. Proceedings of the 1st workshop on Automated Control for Datacenters and Clouds (ACDC'09), 2009.
- [33] F. Galan, A. Sampaio, L. Rodero-Merino, I. Loy, V. Gil and L. M. Vaquero. Service specification in cloud environments based on extensions to open standards. Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Communication System Software and Middleware (COMSWARE'09), New York, 2009: 1-12.
- [34] B. Costa, M. Matos and A. Sousa. Capi: Cloud computing api (shortpaper). In Forum, Simpósio de Informática, Lisboa, 2009: 499-502.
- [35] B. Rochwerger, D. Breitgand, E. Levy, A. Galis, K. Nagin, I. Llorente, R. Montero, Y. Wolfsthal, E. Elmroth, J. Caceres, M. Ben-Yehuda, W. Emmerich and F. Galan. The reservoir model and architecture for open federated cloud computing. IBM Systems Journal, 2008.
http://www.dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DS-P-IS0101_1.0.0.pdf
- [36] http://www.dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DS-P-IS0101_1.0.0.pdf
- [37] http://www.dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DS-P-IS0102_1.0.0.pdf
- [38] http://www.dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DS-P2028_1.0.0a.pdf
- [39] Cloud Security Alliance. <http://www.cloudsecurityalliance.org>