

公众计算通信网架构及关键技术

童晓渝¹, 张云勇¹, 戴元顺²

(1.中国联通研究院, 北京 100048; 2.电子科技大学 计算机科学与工程学院, 四川 成都 610054)

摘 要: 首先回顾了公众通信网和计算的发展过程, 之后提出了公众计算通信网 (PCCN, public computing communication network) 的概念, 阐述了公众通信网向公众计算通信网发展的必然趋势, 重点讨论了公众计算通信网的架构、实体以及关键技术。

关键词: 公众计算通信网; 面向业务的智能开放运营体系架构; 云计算; 服务

中图分类号: TG333.17

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2010)08-0134-07

Architecture and key technology of public computing communication network

TONG Xiao-yu¹, ZHANG Yun-yong¹, DAI Yuan-shun²

(1.China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China;

2. Department of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: The development processes of public communication network and computing were reviewed. Then a new concept of public computing communication network was proposed and analyzed in detail. The inevitable evolution of public communication network into PCCN was elaborated. The architecture, entities and key technologies of PCCN were discussed in detail.

Key words: public computing communication network; service oriented intelligent open operational architecture; cloud computing; service

1 引言

通信网及业务的发展就是一个从“模拟”到“数字化”、“计算”化的过程。从最初转接工作全部靠人工完成发展到至今的提供多样化、个性化增值业务的软交换、IMS 等技术, 由于大量计算技术的引入, 硬件、软件及协议等方面的差异逐渐被屏蔽, 终端用户利用通信网只需要关注自己需要什么样的资源以及如何通过网络得到相应的服务, 而通信网本身也更加容易实现动态的、可伸缩的扩展。从电话交换、数据交换、会议电视和业务平台的发展过程亦可以看出, 通信网越来越多地借助计算技术来满足公众业务需求, 为用户提供快捷、高质量和

丰富的业务服务。总之, 从数字通信技术开始, 计算技术一直在推动通信技术发展。今天, 从通信网本身到其上承载的业务, 云计算的特征都呈现得越来越明显。因此, 基于云计算技术并融合电信网和计算机网特征的公众计算通信网 (PCCN, public computing communication network) 应运而生。

2 公众计算通信网内涵和目标

通信网由通信端点、节点和传输链路相互有机地连接起来, 以实现在 2 个或更多的规定通信端点之间提供连接或非连接传输的通信体系^[1-7]。随着电信网络的全 IP 和宽带化发展, 电信网和计算机网在终端、接入、传输和业务应用等多个层面出现相互融合渗透

的发展趋势，云计算近期越来越得到电信产业的关注。以前，计算机 CPU 的运算速度一直在提升，但计算机 I/O 的速度是一个瓶颈；随着通信技术的发展，网络传输速度越来越快，并逐步趋向于通过网络实现计算机之间的通信，突破计算机 I/O 速度的瓶颈。另一方面，传统的通信技术是面向服务的，为公众提供语音、数据传输等服务；而计算技术目前也正在向面向服务发展，如效用计算（utility computing）、服务计算（service computing）等新的计算模式正在涌现。总之，通信技术与业务正在趋向计算技术与应用；计算技术与应用正在趋向网络与服务提供，CT、IT 正在真正走向融合。“云计算”正是这种融合的产物，通过公众通信网络整合 IT 资源，并向用户提供计算能力和应用，即云服务。借鉴互联网云计算的发展思路，将电信网络的资源以云计算的方式组织运用，成为电信发展的新趋势，这种融合模式本文称之为公众计算通信网。

公众计算通信网是基于虚拟化和云计算构架，以云计算技术为核心，融合电信网和计算机网之后的信息处理网络。利用云计算的虚拟化技术可以建立支撑网、业务网、统一基础设施资源池；以云计算的理念可以对基础设施资源池进行组织和运用。在原有公众通信网的接入、交换、路由、传输要素的基础上，公众计算通信网还实现了计算处理能力、虚拟分配、调度管理以及业务开发等主要技术。这样，公众计算通信网将基于互联网以服务的形式提供平台、软件及其应用，增强电信的业务能力，降低运营商的投资成本（CAPEX）和运营成本（OPEX），降低终端要求，同时也利于运营商拓展新的市场领域。

在网络服务日益趋向于从信息服务到信息管理服务背景下，今天的公众通信网将演进为公众计算通信网，建立与核心网层次相对应的分布式数据中心，向公众（包括行业）提供信息管理（包括基础设施、公共平台、应用）服务，即云计算。云计算会让人们使用电脑就如同今天的电话一样，一切需要的计算和存储能力就如同今天的通信接入、传输、交换和路由能力，将由公众基础服务商提供。

3 公众计算通信网的架构

为了满足上述业务需求，需要构建面向服务的智能开放运营体系架构（SO³IA, service open operational oriented intelligent architecture）。如同 NGN

的核心为软交换、IMS 一样，未来计算通信网的核心即为 SO³IA，下面分别从总体架构、系统架构和功能模块由粗及细 3 层架构给予说明。

L1 架构参照 ITU-T 给出的 NGN 架构，包括网络承载与接入、计算资源、协议栈、业务分析、开发环境、业务应用、运营支撑、智能终端和可信保障等要素，通过网络提供计算能力、开发能力和应用能力和业务交付与支撑能力。从功能角度来看，运营支撑系统从上至下可划分为业务层、承载层和传送层 3 个层次。从地域角度来看，公众计算通信网可划分为骨干网、城域网、接入网和驻地网。骨干网指通信网络中担任主要传递功能的实体集合，对于电信网，骨干网包括省际中心、县级中心间的通信链路构成的庞大网络体系^[8-10]。

L2 架构参照 NGN 中 IMS 子系统的系统架构。其中网络附着子系统 NASS 除接入层注册功能以及用户终端初始化功能外，增加资源虚拟化功能。资源接纳控制子系统 RACS，除具备与业务控制功能和 QoS 的传送功能相关的传送资源控制能力外，增加资源调度、资源虚拟化控制以及业务自适应匹配。

L3 架构中，公众计算通信网的相关实体组成如图 1 所示，其包括硬件及基础设施层、虚拟化及云管理层、应用云平台服务层、云业务服务层和终端 5 个层次，以及业务交付与支撑系统、安全与可信保障系统。

硬件及基础设施层位于实体的最底层，包括主机、网络及存储等物理设备。虚拟化及云管理层一方面将物理层的硬件全面虚拟化，建立结构化海量数据资源管理及分布式文件系统，用于海量数据的存储和访问；另一方面，虚拟化及管理可借助虚拟化技术以实现按需动态供应、配置资源，实现任务调度、负载均衡等功能，并进行安全和监控方面的保障管理，以实时侦测各种资源的工作状态及保证数据的安全性。

虚拟化及云管理层可以提供基础设施即服务（IaaS, infrastructure as a service），为客户提供处理能力、存储能力、网络和其他基本计算资源，客户可以使用这些资源部署或运行他们自己的软件，如操作系统或应用程序，可以控制操作系统、存储和部署的应用程序，或有限的网络组件控制权，但无法管理和控制底层云基础设施。

位于虚拟化及云管理层之上的即为应用云平台服务层和云业务服务层。应用云平台服务层将开

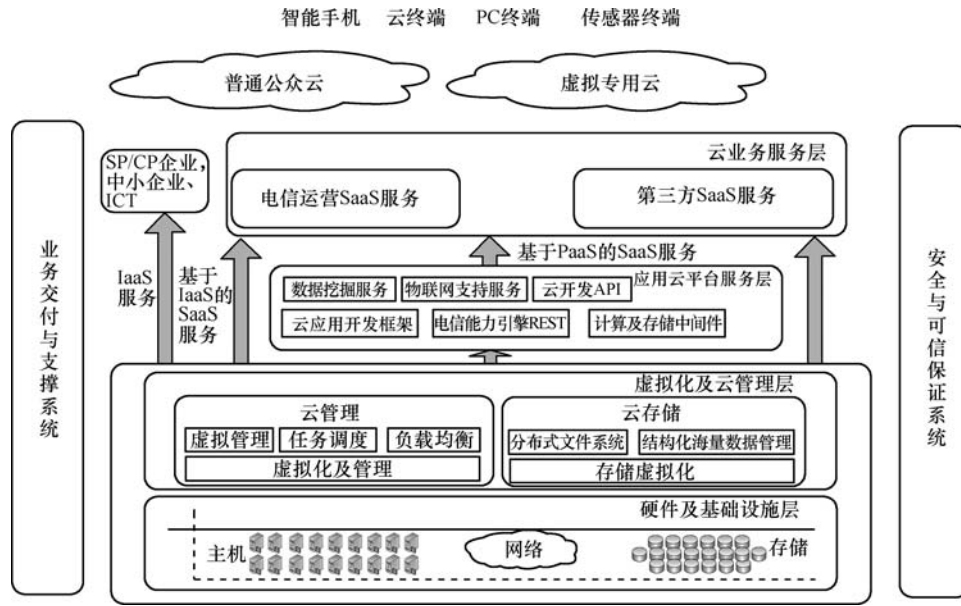


图 1 公众计算通信网计算功能实体

发平台即服务 (PaaS, platform as a service) 提供给客户, 客户可以将自己的或购买的应用程序部署到云基础设施, 直接由平台上提供智能、简化的开发、部署和 Web 应用管理。客户可以控制他部署的应用程序和应用配置环境, 但无法管理和控制底层云基础设施。云业务服务层则为基于云平台服务层上的服务层, 提供第三方的 SaaS 服务, 包括自有 SaaS 服务及企业支持系统。

业务交付与支撑系统接口, 提供系统、业务和服务的流程端到端透穿, 如业务受理、计费、结算和客户服务等。

安全与可信保证系统, 提供高质量、安全和可信的计算通信服务保障环境, 以及故障的自动检测等功能。

公众计算通信网通过普通公有云和虚拟专用云 (如同公众通信网中的 MPLS、IP 虚拟专用网、SDH、ATM 租线等) 向终端 (个人电脑、手机、云终端和物联网传感器等) 提供服务与控制。其中普通公有云面向公众用户提供现有通信网、互联网和 IT 支撑系统所提供的业务; 虚拟专用云为企业利用运营商的公共计算网资源, 构建的一个满足企业自生发展需要的虚拟私有云。

4 公众计算通信网关键技术

4.1 计算相关关键技术

4.1.1 分布式文件系统和存储技术

由于资源的数量规模巨大, 所以必须研发大型

文件系统才能实现对资源的分类和有效管理, 从而能够从根本上保障及时、准确地为客户提供相应服务的技术支持。服务器高速内存技术、固态硬盘 (SSD, solid-state drive) 技术的研究也同样重要, 是突破 IOPS (每秒进行 I/O 操作的次数) 瓶颈的关键。另外, 节能与云集装箱技术为云计算用户提供了一种可移动的数据中心, 可方便对计算资源和存储资源进行扩展, 使其比创建整个数据中心所能带来的处理速度更快、成本更低。

4.1.2 虚拟化及云管理层技术

虚拟化及云管理层是整个公众计算通信网的核心部分, 这一层所采用的技术种类比较多, 它们是整个公众计算通信网功能实现的关键。应用到的主要技术有异构资源虚拟化及管理、数据集中架构、资源匹配算法、资源调度算法、异构虚拟机热迁移技术以及虚拟化容错、灾备技术等。异构资源虚拟化在目前各种系统并存的情况下是必需的, 已经成为网格和数据中心环境下成功实现提供定制资源的强有力的技术。它为数据、计算能力、存储资源以及其他资源提供了一个逻辑视图, 而不是物理视图, 从而能屏蔽很多物理的、结构的细节。另外, 该层还担负着管理网络资源的重任, 即公众计算通信网需要针对复杂的实际应用进行资源匹配和资源调度以及并行/并发执行, 使资源得以最大化利用的同时也提高整个网络系统的执行能力和运行性能, 为用户提供更高质量的服务。因此, 对资源调度算法的深入研究是很有必要的。为了保证公

众计算通信网能提供有效、可靠的服务，容错机制也是必不可少的，异构环境下则显得更加重要。目前使用较多的主要有 4 种容错策略：简单重试；双机备份；被动备份；设检查点^[11~13]。

4.2 网络相关关键技术

公众计算通信网的实现中涉及到的网络相关技术主要有如下内容。

4.2.1 网络架构虚拟化

计算通信网时代网络应可编程、可虚拟化和资源共享。如同之前通信网中承载与传输融合、路由与交换融合出现新的形态一样，公众计算通信网可能在将计算与通信网资源进行整合的基础之上，出现新的网络设备形态，如：云交换机、综合通信网关。由于流量模型、业务颗粒和业务逻辑发生变化，因此底层交换、路由的内容、算法、协议和理论也需要修订或升级，甚至重新设计。同时，组网的层次、架构也需要探索和研究。比如在 IMS 方面，虚拟化 HSS，可以使更多的 IMS 业务管理用户的属性；虚拟化 CSCF 可以提高系统的负载均衡等。

另外后 IP 时代，网络是否要继续采用分组交换；端对端原理是否要改变；路由和包转发是否要分开；拥塞控制和资源管理问题；身份认证和路由问题，这些都要深入研究^[14~18]。

4.2.2 网络迁移自动配置技术

一般概念上的交换机提供的是一个物理端口之间的网络交换，而目前的数据中心，随着虚拟化的发展，实际上需要提供在虚拟机之间的交换。对于传统的数据中心网络交换设备，一个端口可能接着多个不同虚拟化的服务器，每个虚拟化的服务器有它专门的网络特性，包括网络地址，流量控制策略以及网络安全设置。而一般意义上的交换机，在一个网络端口只有一个固定的网络特性，也就是说，一个端口只能提供固定的地址、流量控制策略及安全配置。虚拟化交换机则能够在一个端口上提供不同的地址、流量控制策略和安全配置。从而保证当虚拟机迁移的时候，网络端口能够随之将匹配的地址、流量控制策略和安全配置也动态迁移至新的端口。这一点对于虚拟机应用至关重要，假设一个网络中有多个虚拟机应用，一些应用需要较高的服务水平和安全策略，另外一些应用则需要较低的服务水平和安全策略，当虚拟机发生迁移后，如果不能保证与之匹

配的服务水平和安全策略，则会产生不同程度的服务和安全隐患。

4.3 云安全与可信保障技术

计算通信网的安全重点关注以下问题：数据保护、身份管理、安全漏洞管理、物理和个人安全、应用程序安全、时间相应和隐私措施。主要的安全技术有：虚拟机隔离技术、敏感数据加密技术、数据访问的安全认证技术、审计技术、数据自动备份和恢复技术、入侵检测技术等。另外还需要研究安全管理制度、流程，从技术和管理 2 个维度保障安全与可信。

4.3.1 数据安全

云用户和云服务提供商应避免数据丢失和被窃，无论使用哪种云计算的服务模式（SaaS/PaaS/IaaS），数据安全都变得越来越重要，包括数据传输安全、数据隔离和数据残留。

4.3.2 应用安全

由于云环境的灵活性、开放性以及公众可用性等特性，给应用安全带来了许多挑战。提供商在云主机上部署的 Web 应用程序应当充分考虑来自互联网的威胁。具体包含终端用户安全、SaaS 应用安全、PaaS 应用安全和 IaaS 应用安全。

4.3.3 虚拟化安全

基于虚拟化技术的云计算引入的风险主要有 2 个方面：一个是虚拟化软件的安全，另一个是使用虚拟化技术的虚拟服务器的安全。

4.4 运营支撑

计算通信网的运营支撑主要关注业务流程端到端穿透，如业务受理、计费与结算、客户服务等。业务受理包括业务的开通、变更、移除等业务的受理；计费与结算技术主要包括用户计费、用户账务管理、用户信用控制、话单采集中间件、计算规则引擎和基于数据颗粒度的计费等技术；客户服务技术主要包括客户投诉的受理、客户投诉的反馈和跟踪、客户维系挽留和客户忠诚度管理等方面。另外也需要研究收费商业模式，如包月或者按照流量、按照时长以及数据高峰、低峰分时定价等。

4.5 应用云框架技术

云计算的发展极为迅速，Amazon、Google、IBM 和微软等是云计算的先行者，应用云还存在诸多的研究内容，应用云框架主要集中在 MapReduce (Hadoop)体系，表 1 列出目前主流的应用云框架。

表 1 应用云框架体系

框架体系	代表应用	目前状态	发展趋势
Hadoop/MapReduce	Hadoop;中国移动大云; GAE	Hadoop 是基于 shared-nothing 架构的海量数据存储和计算的分布式系统,它由若干个成员组成,主要包括:HDFS、MapReduce、Hive、HBase、Pig 和 ZooKeeper	Hadoop 是目前最强势的应用云框架技术,但 Hadoop 在性能和稳定性还需进一步提升, hadoop 在高效数据分析应用外,还有待进一步验证
Azure	Azure Platform	Windows Azure Platform 是 PaaS 产品,由云操作系统、数据存储网络和相关服务组成,目前已经运营	Azure 基于 .net 架构,对于关键核心业务还存在进一步改进空间
FALKON/SWIFT	FALKON; SWIFT	FALKON 是分布式轻量级任务调度框架,包括:多级调度技术、精简任务调度、数据缓存	FALKON 架构轻量级,在任务调度具有较好的效率,但产业支持面窄
Gearman	Gearman	Gearman 和 Memcached 构成 GLAMMP 框架体系, Gearman 侧重于并行数据分析, Memcached 侧重于数据存储及内存缓冲等技术	Gearman 架构在 Web2.0 应用较多,但支持面较窄
Spring	Spring	基于 J2EE 的框架结构,其基于 Bean 管理框架正吻合 IaaS 层和 SaaS 层的承载技术	Spring 在 J2EE 框架的应用较多,基于此架构对业务系统迁移具有一定优势,但此框架结合云计算还处于早期阶段

4.6 云终端技术

云计算的架构是“云”+终端,终端是云计算的重要一环。服务和计算都在“云”,“云”对用户来说是个黑盒,可以看作是通过网络虚拟出来的操作系统,而业务的使用和展现都在终端,用户只有通过终端才能使用“云”内的各种服务,因此终端变得格外的重要。同时,毋庸置疑,构建公众计算通信网的最终目的就是向终端用户提供安全快捷的服务。但目前很多用户面临的一大安全问题就是终端安全,而“云终端”可以帮助用户通过这种集中统一管理的方式更好地管理企业终端,从而化解终端安全问题。云终端是一种精巧别致、性价比极高的网络计算机,实际上是把物理主机虚拟成了若干台计算机,每一个云终端只是作为虚拟出的一个终端来使用,和传统意义的网络计算机相比具有价格上的巨大优势,与所谓瘦客户机相比具有节省昂贵的软件许可的优点。

4.6.1 网络启动协议

PXE (preboot execution environment) 是 Intel 推出的可用于无盘、有盘联网的网络协议。使用 PXE 功能,首先要求客户端网卡的支持,其次,在服务器端也要有支持此协议的网管软件。在远程启动过程中,客户端通过 PXE (存放于主板或者网卡上的 BIOS ROM 中) 向服务器发生请求,要求服务器分配一个 IP 地址,再用 TFTP (trivial file transfer protocol/小文件传输协议) 或 MTFTP (multicast trivial file transfer protocol) 协议下载一个启动软件包到本机内存中并执行,由这个启动软件包完成终端基本软件设置,从而引导预先安装在服务器中的终端操作系统。从启动过程可以看出, PXE 不需要

记录客户端的网卡型号和 MAC 地址等信息,因此只要设置好服务器端就可以应用于任一支持 PXE 协议的终端,减少了在 PRL 方式下对于不同网卡要做不同设置的重复劳动。PXE 可以引导多种终端操作系统,由于 PXE 协议将数据分割成极为细小的部分,所以数据的传输速度大大加快,相对于以前的 RPL 远程引导无盘启动技术, PXE 的运行速度提高 3 倍以上。并且,在 PXE4.0 以上的版本,加入了启动安全验证服务 BIS (boot integrity services), 更加强了网络的安全性。

4.6.2 远程桌面协议

远程桌面协议用来实现在服务器和远程计算机(如桌面和瘦客户端)设备上部署虚拟桌面的协议,目前主要有微软的 RDP、思杰的 ICA、惠普的 RGS、Vmware 的 PC-Over-IP 以及 Red Hat 的开源 SPICE 协议等。

4.7 云测试技术

云测试是基于云计算的一种新型测试技术,为用户使用提供了便捷,不过目前该技术仍尚未成型,需要进一步研究。在公众计算通信网的整个系统实现与维护中,云安全都是需要慎重考虑的,就像云计算所承诺的,系统可以作为用户最可靠、最安全的数据存储中心。

4.8 绿色 IT 技术

企业数据中心的正常运转需要电力、冷却、占地空间和环境(PCFE)等条件的有效支撑,发电导致温室气体排放;IT设备的冷却、不间断电源(UPS)的供电、备电系统、发电和输电消耗大量的能源;占地空间的需求、废旧设备的清理等都会影响到自然环境,IT企业需要从 PCFE 全方位制定优化策略

来满足企业的绿色环保要求。

4.8.1 智能电源管理技术

智能电源管理也称作自适应电源管理和自适应电压调节, 主要致力于电能消耗因使用能源类型不同而如何改变的问题, 节约较大型存储系统能耗的一种方法, 是在不使用硬盘时停止对其供电, 这一点和便携式计算机或者带节能模式的个人工作站的原理相类似。

4.8.2 分段冷却技术

分段冷却技术不同于传统的水冷散热方式, 解决了以往以水散热系统在管道连接器处冷却剂泄漏和电力设备暴露后的风险问题。它采用的低压制冷剂, 具有更加简单灵活的管道装置, 并可以使用较少的能源来更换冷却液。同时使用在对房间降温时转化为气态的冷却剂, 可以进一步减少泄漏的可能。

4.8.3 精确冷却技术

目前精确冷却技术日益成熟, 其中包括应用在使用水或其他液体冷却剂的开放式和封闭式系统中。精确冷却技术旨在将冷却系统尽可能地靠近热源, 为最需要冷却的地方供冷, 从而最大限度地提高冷却效率, 以相同或者更少的能源解决散热问题, 达到降低能耗, 节能环保的目的。

4.8.4 芯片级冷却技术

芯片级冷却技术正从外附的精确散热技术演进到对硅片内部产热的嵌入式冷却。除了对芯片内、外以及其他部件进行散热外, 对芯片本身也进行改造, 当芯片处于闲置状态时, 在保证当前功能正常运行的情况下, 芯片会将某些部分关闭, 以减少能耗。另外就是在芯片不需要全速运行的时候降低运行速度, 以此来降低能耗。磁盘驱动器和其他耗电设备也开始应用这种技术。

5 结束语

随着社会信息化和行业信息化的普及与提高, 信息正呈现出爆炸式增长趋势, 公众不仅需要高宽带、可移动的基础通信网络服务能力, 也迫切需要获取支撑综合信息服务的资源, 并正趋向于获得“信息管理服务”。全社会的信息资源应该被最大程度的整合, 并作为公共基础设施建设、运营才能发挥效率、节省资源, 最大程度地满足社会发展、经济增长的需要。因此, 公众通信网应该演进为公众计算通信网, 建立与核心网层次相对应的数据中心, 并向公众(包括行业)提供云计算服务。目前,

公众计算通信网的架构和关键技术处在研究与发展之中。因此, 必须抓紧开展以下几方面的工作:

① 使计算资源作为网络元素, 组成优化、优质的网络、平台、终端和服务的体系架构; ② 制定像通信网一样可信、互联网一样简单、手机一样丰富的计算资源兼容和互通技术标准; ③ 整合研究开发、产品制造、网络建设、应用开发和服务提供等各方面, 构建更加开放的生态体系和商业模式。

参考文献:

- [1] DAI Y S, XIE M, POH K L. A study of service reliability and availability for distributed systems[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2003, 79(1): 103-112.
- [2] YANG B, HU H, GUO S. Cost-oriented task allocation and hardware redundancy policies in heterogeneous distributed computing systems considering software reliability[J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 56(4): 1687-1696.
- [3] DAI Y S, PAN Y, RAJE R. Advanced Parallel and Distributed Computing: Evaluation, Improvement and Practices[M]. New York: Nova Science Publishers, 2007.
- [4] DAI Y S, PAN Y, ZOU X K. A hierarchical modeling and analysis for grid service reliability[J]. IEEE Transactions on Computers, 2007, 56(5): 681-691.
- [5] DAI Y S, LEVITIN G, TRIVEDI K S. Performance and reliability of tree-structured grid services considering data dependence and failure correlation[J]. IEEE Transactions on Computers, 2007, 56(7): 925-936.
- [6] Cloud computing[EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing.
- [7] 纪越峰. 现代通信技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004.
JI Y F. Modern Communications Technology[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2004.
- [8] GHEMAWAT S, GOBIOFF H, LEUNG S T. The Google file system[A]. Proc of the 19th ACM Symp on Operating Systems Principles[C]. New York: ACM Press, 2003. 29-43.
- [9] ITU-T Y. 2012 Recommendation ITU-T Y.2012 (2006), Functional Requirements and Architecture of the NGN[S].
- [10] 我国通信网的构成和接入网基本概念[EB/OL]. http://www.ctforum.com/train/cttech/base/base_011.htm.
China's communications networks constitution and access networks conception[EB/OL]. http://www.ctforum.com/train/cttech/base/base_011.htm.
- [11] ETSI ES 282 001 Telecommunications and Internet Converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Functional Architecture[S].
- [12] 汪海玲, 余名高, 刘翔. 基于存储虚拟化的存储资源管理模型的研究[J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(4): 70-72.

- WANG H L, SHE M G, LIU X. Research on storage resource management model based on storage virtualization[J]. *Computer & Digital Engineering*, 2009, 37(4): 70-72.
- [13] 马锋明, 李培峰, 朱巧明等. 网络环境下几种容错策略的比较[J]. *计算机应用与软件*, 2010, 27(1): 11-13.
- MA F M, LI P F, ZHU Q M, *et al.* Comparison of several fault tolerance policies on grid environment[J]. *Computer Applications and Software*, 2010, 27(1): 11-13.
- [14] 戴斌, 孙志刚, 卢泽新. 基于 DMA 引擎的高速网卡的性能分析[J]. *微电子学与计算机*, 2006, 23: 53-55.
- DAI B, SUN Z G, LU Z X. Analysis on the performance of high_speed NIC based on DMA engine[J]. *Microelectronics & Computer*, 2006, 23: 53-55.
- [15] SEIFERT R. *Gigabit Ethernet*[M]. Edinburgh: Addison-Wesley Professional, 1998.
- [16] IO 虚拟化: 虚拟设备队列 VMDq 技术解析[EB/OL]. <http://www.xuniji.com/xunihua/view.asp?id=351>. 2010.
- IO virtualization: virtual device queue VMDq technical analysis[EB/OL]. <http://www.xuniji.com/xunihua/view.asp?id=351>. 2010.
- [17] 朱宏峰, 刘天华, 刘杰等. TCP/IP 协议卸载技术性能与实现的研究[J]. *小型微型接收机系统*, 2007, 28(4): 659-614.
- ZHU H F, LIU T H, LIU J, *et al.* Research on performance and implementation about TCP/IP offload technology[J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2007, 28(4): 659-614.
- [18] 童晓渝, 吴钢, 张云勇等. *后电信时代*[M]. 北京:人民邮电出版社, 2010.

TONG X Y, WU G, ZHANG Y Y, *et al.* *Post Telecommunication Age*[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2010.

作者简介:



童晓渝 (1958-), 男, 四川成都人, 中国联通研究院副院长, 主要研究方向为大型分布式异构网络、智能信息处理。



张云勇 (1976-), 男, 江苏盐城人, 中国联通研究院研发部副经理, 主要研究方向为下一代网络、3G 核心网、无线互联网、公共运算。



戴元顺 (1977-), 男, 江苏盐城人, 电子科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为协同计算、网络安全。