

文章编号:1001-9081(2009)09-2562-06

云计算及其关键技术

陈 全, 邓倩妮

(上海交通大学 计算机科学与工程系, 上海 200240)

(squir3@gmail.com)

摘 要:云计算是一种新兴的计算模型,它是在网格计算的基础上发展而来的。介绍了云计算的发展历史和应用场景,比较了现有的云计算的定义并给出了新的定义,以谷歌的云计算技术为例,总结了云计算的关键技术:数据存储技术(Google File System)、数据管理技术(BigTable)、编程模型和任务调度模型(Map-Reduce)等,分析了云计算和网格计算以及传统超级计算的区别,并指出了云计算的广阔发展前景。

关键词:云计算;数据存储;数据管理;编程模型

中图分类号: TP338.8 **文献标志码:** A

Cloud computing and its key techniques

CHEN Quan, DENG Qian-ni

(Department of Computer Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Cloud computing is a new computing model; it is developed based on grid computing. The authors introduced the development history of cloud computing and its application situation; compared existing definitions of cloud computing and gave a new definition; took google's cloud computing techniques as an example, summed up key techniques, such as data storage technology (Google File System), data management technology (BigTable), as well as programming model and task scheduling model (Map-Reduce), used in cloud computing; and analyzed the differences among cloud computing, grid computing and traditional super-computing, and fingered out the broad development prospects of cloud computing.

Key words: cloud computing; data storage; data management; programming model

0 引言

云计算(Cloud Computing)是一种新近提出的计算模式。是分布式计算(Distributed Computing)、并行计算(Parallel Computing)和网格计算(Grid Computing)的发展。

目前,亚马逊、微软、谷歌、IBM、英特尔等公司纷纷提出了“云计算”。例如亚马逊的AWS(Amazon Web Services)^[1]、IBM和谷歌联合进行的“蓝云”计划等。这对云计算的商业价值给予了巨大的肯定。同时学术界也纷纷对云计算进行深层次的研究。例如谷歌同华盛顿大学以及清华大学合作,启动云计算学术合作计划(Academic Cloud Computing Initiative),推动云计算的普及,加紧对云计算的研究。卡内基梅隆大学等对数据密集型的超级计算(Data Intensive Super Computing, DISC)^[2]进行研究,本质上也是对云计算相关技术开展研究。

IDC的调查显示,未来五年云计算服务将急速增长,预期2012年市场规模可达420亿美元。目前企业导入云计算已逐渐普及,并且有逐年成长趋势。估计在2012年,企业投入在云计算服务的支出将占整体IT成本的25%,甚至在2013年提高至IT总支出的三分之一。

由此可见,在各大公司以及学术界的共同推动下,云计算技术将会持续发展。

云计算有着广泛的应用前景。如表1所示。云计算在天文学^[3]、医学等各个领域有着广泛的应用前景。

趋势科技和瑞星等安全厂商纷纷提出了“安全云”计划。

如今,每天有2万多种新的病毒和木马产生,传统的通过更新用户病毒库的防毒模式,受到了严峻的挑战,该模式使用户端的病毒库过于庞大。趋势科技和瑞星的“安全云”将病毒资料库放在“云”端,与客户端通过网络相连,当“云”在网络上发现不安全链接时,可以直接形成判断,阻止其进入用户机器,从根本上保护机器的安全。

表1 云计算的应用领域

领域	应用场景
科研	地震监测
	海洋信息监控
	天文信息计算处理
医学	DNA 信息分析
	海量病例存储分析
	医疗影像处理
网络安全	病毒库存储
	垃圾邮件屏蔽
图形和图像处理	动画素材存储分析
	高仿真动画制作
	海量图片检索
互联网	E-mail 服务
	在线实时翻译
	网络检索服务

据趋势科技大中华区执行总裁张伟钦介绍,趋势科技已投入了大量资金,在全球数个地方建设了新型数据中心。同时,趋势科技还花费了1000多万美元,租借了34000多台服务器,构建了一个服务遍及全球的“安全云”。目前趋势科技

收稿日期:2009-03-14;修回日期:2009-05-09。

作者简介:陈全(1986-),男,安徽滁州人,硕士研究生,主要研究方向:云计算、数据密集型可扩展计算; 邓倩妮(1973-),女,广西柳州人,副教授,博士,主要研究方向:对等计算、网格计算、复杂网络拓扑。

已将公司中低端的部分产品线放到“云安全”计划中,而高端的大部分产品线,仍在准备过程中。

谷歌提供的 Gmail、Google Earth、Google Analytics 等服务都基于其云计算服务器运行^[4]。谷歌基于云计算提供的翻译服务具有现今最好的性能^[5]。对互联网和美国人生活的一项研究显示,大约 70% 的在线用户使用以上“云计算”服务。

1 云计算的定义

目前,云计算没有统一的定义,当前云计算的定义主要包括如下几种。

1) 维基百科给云计算下的定义。云计算将 IT 相关的能以服务的方式提供给用户,允许用户在不了解提供服务的技术、没有相关知识以及设备操作能力的情况下,通过 Internet 获取需要的服务^[6]。

2) 中国云计算网将云计算定义为:云计算是分布式计算(Distributed Computing)、并行计算(Parallel Computing)和网格计算(Grid Computing)的发展,或者说是这些科学概念的商业实现^[7]。

3) 文献[8]在综合多个云计算的定义之后,给“云”下了如下定义。云是一个包含大量可用虚拟资源(例如硬件、开发平台以及 I/O 服务)的资源池。这些虚拟资源可以根据不同的负载动态地重新配置,以达到更优化的资源利用率。这种资源池通常由基础设施提供商按照服务协议(Service Level Agreement, SLA)采用按时付费(Pay-Per-Use, PPU)的模式开发管理。

对比上述定义,可以发现,文献[6]和文献[8]中给出的定义的相似之处在于它们都提到了云计算提供服务。文献[6]中的定义主要从云计算用户的角度给出定义,即用户在不了解具体实现的情况下通过 Internet 获取服务。文献[7]从云计算的发展脉络的角度给出定义,主要说明了云计算的历史。文献[8]给出的定义则是从云计算提供者的角度来给出定义,定义了云计算的后台实现方式,以及管理模式。但是,这些定义都仅从一个方面定义云,并不完善。结合上述定义,可以总结出云计算的一些本质特征,即分布式的计算和存储特性,高扩展性,用户友好性,良好的管理性,按时付费等。云计算技术具有以下特点。

1) 云计算系统提供的是服务。服务的实现机制对用户透明,用户无需了解云计算的具体机制,就可以获得需要的服务。

2) 用冗余方式提供可靠性。云计算系统由大量商用计算机组成集群向用户提供数据处理服务。随着计算机数量的增加,系统出现错误的概率大大增加。在没有专用的硬件可靠性部件的支持下,采用软件的方式,即数据冗余和分布式存储来保证数据的可靠性。

3) 高可用性。通过集成海量存储和高性能的计算能力,云能提供较高的服务质量。云计算系统可以自动检测失效节点,并将失效节点排除,不影响系统的正常运行。

4) 高层次的编程模型。云计算系统提供高层次的编程模型。用户通过简单学习,就可以编写自己的云计算程序,在“云”系统上执行,满足自己的需求。现在云计算系统主要采用 Map-Reduce 模型。

5) 经济性。组建一个采用大量的商业机组成的集群相

对于同样性能的超级计算机花费的资金要少很多。

6) 服务多样性。用户可以支付不同的费用,以获得不同级别的服务等。

为了更好地定义云计算,必须从云计算的服务使用者,服务提供者,组织方式,内部实现机制等方面同时定义。

根据现有定义的不足,本文定义云计算为:“云计算是由网格计算发展而来的,前台采用按时付费的方式通过 Internet 向用户提供服务。云系统后台由大量的集群使用虚拟机的方式,通过高速互联网络互连,组成大型的虚拟资源池。这些虚拟资源可自主管理和配置。用数据冗余的方式保证虚拟资源的高可用性。并具有分布式存储和计算、高扩展性、高可用性、用户友好性等特征。”

2 云计算的关键技术

云计算是一种新型的超级计算方式,以数据为中心,是一种数据密集型的超级计算。在数据存储、数据管理、编程模式等多方面具有自身独特的技术。同时涉及了众多其他技术,如表 2 所示。本章主要介绍云计算特有的技术,包括数据存储技术,数据管理技术,编程模式等。其他相关技术请阅读给出的参考文献。

表 2 云计算涉及的关键技术

技术类型	具体技术	参考文献
设备架设	数据中心节能	文献[4, 9]
	节点互联技术	文献[10]
改善服务技术	可用性技术	文献[11-12]
	容错性技术	文献[12-13]
资源管理技术	数据存储技术	文献[14-16]
	数据管理技术	文献[11]
任务管理技术	数据切分技术	文献[17]
	任务调度技术	文献[12, 17]
	编程模型	文献[12, 15-17]
其他相关技术	负载均衡技术	文献[18]
	并行计算技术	文献[19-20]
	虚拟机技术	文献[13, 21-22]
	系统监控技术	文献[23]

2.1 数据存储技术

为保证高可用、高可靠和经济性,云计算采用分布式存储的方式来存储数据,采用冗余存储的方式来保证存储数据的可靠性,即为同一份数据存储多个副本。

另外,云计算系统需要同时满足大量用户的需求,并行地为大量用户提供服务。因此,云计算的数据存储技术必须具有高吞吐率和高传输率的特点。

云计算的数据存储技术主要有谷歌的非开源的 GFS (Google File System)^[14]和 Hadoop 开发团队开发的 GFS 的开源实现 HDFS (Hadoop Distributed File System)^[15-16]。大部分 IT 厂商,包括雅虎、英特尔的“云”计划采用的都是 HDFS 的数据存储技术。

云计算的数据存储技术未来的发展将集中在超大规模的数据存储、数据加密和安全性保证以及继续提高 I/O 速率等方面。

以 GFS 为例。GFS 是一个管理大型分布式数据密集型计算的可扩展的分布式文件系统。它使用廉价的商用硬件搭建系统并向大量用户提供容错的高性能的服务。

GFS 和普通的分布式文件系统有以下区别,如表 3 所示。

表 3 GFS 与传统分布式文件系统的区别

文件系统	组件失败管理	文件大小	数据写方式	数据流和控制流
GFS	不作为异常处理	少量大文件	在文件末尾附加数据	数据流和控制流分开
传统分布式文件系统	作为异常处理	大量小文件	修改现存数据	数据流和控制流结合

GFS 系统由一个 Master 和大量块服务器构成。Master 存放文件系统的所有元数据,包括名字空间、存取控制、文件分块信息、文件块的位置信息等。GFS 中的文件切分为 64 MB 的块进行存储。

在 GFS 文件系统中,采用冗余存储的方式来保证数据的可靠性。每份数据在系统中保存 3 个以上的备份。为了保证数据的一致性,对于数据的所有修改需要在所有的备份上进行,并用版本号的方式来确保所有备份处于一致的状态。

客户端不通过 Master 读取数据,避免了大量读操作使 Master 成为系统瓶颈。客户端从 Master 获取目标数据块的位置信息后,直接和块服务器交互进行读操作。

GFS 的写操作将写操作控制信号和数据流分开,如图 1^[17]所示。

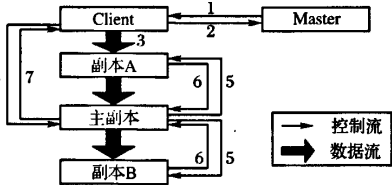


图 1 写控制信号和写数据流

即客户端在获取 Master 的写授权后,将数据传输给所有的数据副本,在所有的数据副本都收到修改的数据后,客户端才发出写请求控制信号。在所有的数据副本更新完数据后,由主副本向客户端发出写操作完成控制信号。具体请见文献[17]。

当然,云计算的数据存储技术并不仅仅只是 GFS,其他 IT 厂商,包括微软、Hadoop 开发团队也在开发相应的数据管理工具。本质上是一种分布式的数据存储技术,以及与之相关的虚拟化技术,对上层屏蔽具体的物理存储器的位置、信息等。快速的数据定位、数据安全性、数据可靠性以及底层设备内存存储数据量的均衡等方面都需要继续研究完善。

2.2 数据管理技术

云计算系统对大数据集进行处理、分析向用户提供高效的服务。因此,数据管理技术必须能够高效地管理大数据集。其次,如何在规模巨大的数据中找到特定的数据,也是云计算数据管理技术所必须解决的问题。

云计算的特点是对海量的数据存储、读取后进行大量的分析,数据的读操作频率远大于数据的更新频率,云中的数据管理是一种读优化的数据管理。因此,云系统的数据管理往往采用数据库领域中列存储的数据管理模式。将表按列划分后存储。

云计算的数据管理技术中最著名的是谷歌在文献[11]提出的 BigTable 数据管理技术。

由于采用列存储的方式管理数据,如何提高数据的更新速率以及进一步提高随机读速率是未来的数据管理技术必须解决的问题。

以 BigTable 为例。BigTable 数据管理方式设计者——Google 给出了如下定义^[11]:“BigTable 是一种为了管理结构化数据而设计的分布式存储系统,这些数据可以扩展到非常大的规模,例如在数千台商用服务器上的达到 PB (Petabytes) 规模的数据。”

BigTable 对数据读操作进行优化,采用列存储的方式,提高数据读取效率。BigTable 管理的数据的存储结构为: < row: string, column: string, time: int64 > -> string。BigTable 的基本元素是:行,列,记录板和时间戳。其中,记录板是一段行的集合体。如图 2 所示。

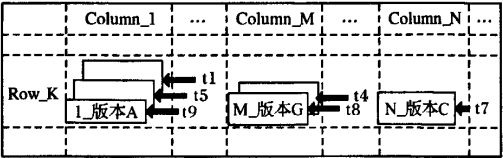


图 2 BigTable 的逻辑结构

BigTable 中的数据项按照行关键字的字典序排列,每行动态地划分到记录板中。每个节点管理大约 100 个记录板。时间戳是一个 64 位的整数,表示数据的不同版本。列族是若干列的集合, BigTable 中的存取权限控制在列族的粒度进行。

BigTable 在执行时需要三个主要的组件:链接到每个客户端的库,一个主服务器,多个记录板服务器。主服务器用于分配记录板到记录板服务器以及负载均衡,垃圾回收等。记录板服务器用于直接管理一组记录板,处理读写请求等。

为保证数据结构的高可扩展性, BigTable 采用三级的层次化的方式来存储位置信息,如图 3 所示^[11]。

其中第一级的 Chubby file 中包含 Root Tablet 的位置, Root Tablet 有且仅有一个,包含所有 METADATA tablets 的位置信息,每个 METADATA tablets 包含许多 User Table 的位置信息。

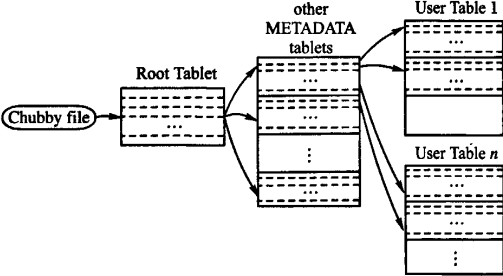


图 3 BigTable 中存储记录板位置信息的结构

当客户端读取数据时,首先从 Chubby file 中获取 Root Tablet 的位置,并从中读取相应 METADATA tablet 的位置信息。接着从该 METADATA tablet 中读取包含目标数据位置信息的 User Table 的位置,然后从该 User Table 中读取目标数据的位置信息项。据此信息到服务器中特定位置读取数据。具体见文献[11]。

这种数据管理技术虽然已经投入使用,但是仍然具有部分缺点。例如,对类似数据库中的 Join 操作效率太低,表内数据如何切分存储,数据类型限定为 string 类型过于简单等。而微软的 DryadLINQ 系统^[20]则将操作的对象封装为 .NET 类,这样有利于对数据进行各种操作,同时对 Join 进行了优化,得到了比 BigTable + MapReduce 更快的 Join 速率和更易用的数据操作方式。

2.3 编程模型

为了使用户能更轻松地享受云计算带来的服务,让用户能利用该编程模型编写简单的程序来实现特定的目的,云计算上的编程模型必须十分简单。必须保证后台复杂的并行执行和任务调度向用户和编程人员透明。

云计算大部分采用 Map-Reduce^[12] 的编程模式。现在大部分 IT 厂商提出的“云”计划中采用的编程模型,都是基于 Map-Reduce 的思想开发的编程工具。

Map-Reduce 不仅仅是一种编程模型,同时也是一种高效的调度模型。Map-Reduce 这种编程模型并不仅适用于云计算,在多核和多处理器、cell processor 以及异构机群上同样有良好的性能^[24-27]。

该编程模式仅适用于编写任务内部松耦合、能够高度并行化的程序。如何改进该编程模式,使程序员能够轻松地编写紧耦合的程序,运行时能高效地调度和执行任务,是 Map-Reduce 编程模型未来的发展方向。

Map-Reduce 是一种处理和产生大规模数据集的编程模型,程序员在 Map 函数中指定对各分块数据的处理过程,在 Reduce 函数中指定如何对分块数据处理的中间结果进行归约。用户只需要指定 map 和 reduce 函数来编写分布式的并行程序。当在集群上运行 Map-Reduce 程序时,程序员不需要关心如何将输入的数据分块、分配和调度,同时系统还将处理集群内节点失败以及节点间通信的管理等。图 4^[15] 给出了一个 Map-Reduce 程序的具体执行过程。

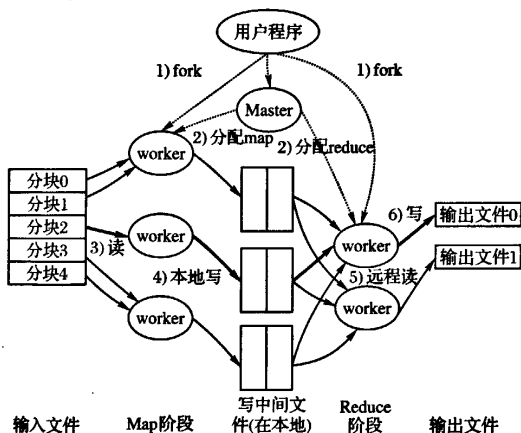


图4 Map-Reduce 程序的具体执行过程

从图4可以看出,执行一个 Map-Reduce 程序需要五个步骤:输入文件、将文件分配给多个 worker 并行地执行、写中间文件(本地写)、多个 Reduce workers 同时运行、输出最终结果。本地写中间文件在减少了对网络带宽的压力同时减少了写中间文件的时间耗费。执行 Reduce 时,根据从 Master 获得的中间文件位置信息,Reduce 使用远程过程调用,从中间文件所在节点读取所需的数据。

Map-Reduce 模型具有很强的容错性,当 worker 节点出现错误时,只需要将该 worker 节点屏蔽在系统外等待修复,并将该 worker 上执行的程序迁移到其他 worker 上重新执行,同时将该迁移信息通过 Master 发送给需要该节点处理结果的节点。Map-Reduce 使用检查点的方式来处理 Master 出错失败的问题,当 Master 出现错误时,可以根据最近的一个检查点重新选择一个节点作为 Master 并由此检查点位置继续运行。具体请见文献[12]。

Map-Reduce 仅为编程模式的一种,微软提出的 DryadLINQ^[17] 是另外一种并行编程模式。但它局限于.NET 的 LINQ 系统同时并不开源,限制了它的发展前景。

Map-Reduce 作为一种较为流行的云计算编程模型,在云计算系统中应用广阔。但是基于它的开发工具 Hadoop 并不完善。特别是其调度算法过于简单,判断需要进行推测执行的任务的算法造成过多任务需要推测执行,降低了整个系统的性能。改进 Map-Reduce 的开发工具,包括任务调度器、底层数据存储系统、输入数据切分、监控“云”系统等方面是将来一段时间的主要发展方向。另外,将 Map-Reduce 的思想运用在云计算以外的其他方面也是一个流行的研究方向。

3 云计算和其他超级计算的区别

3.1 云计算与网格计算的区别

Ian Foster 将网格定义为:支持在动态变化的分布式虚拟组织(Virtual Organizations)间共享资源,协同解决问题的系统^[28]。所谓虚拟组织就是一些个人、组织或资源的动态组合。

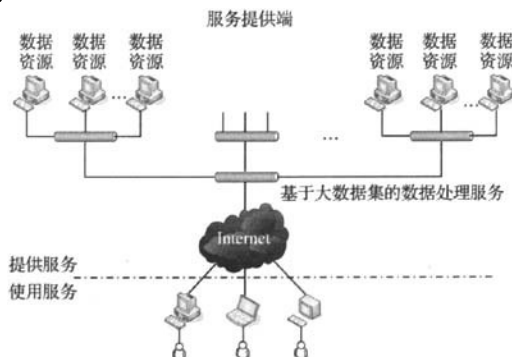


图5 “云”系统的结构

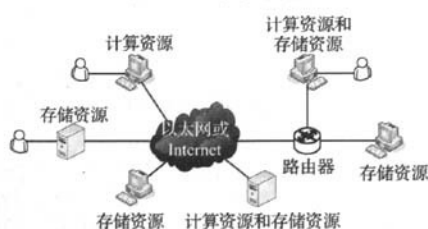


图6 网格的结构

图5和图6分别为云及网格的结构示意图。图5显示,云计算是一种生产者—消费者模型,云计算系统采用以太网等快速网络将若干集群连接在一起,用户通过因特网获取云计算系统提供的各种数据处理服务。图6显示,网格系统是一种资源共享模型,资源提供者亦可以成为资源消费者,网格侧重研究的是如何将分散的资源组合成动态虚拟组织。主要区别如表4所示。

云计算和网格计算^[29]的一个重要区别在于资源调度模式。云计算采用集群来存储和管理数据资源,运行的任务以数据为中心。即调度计算任务到数据存储节点运行。而网格计算,则以计算为中心。计算资源和存储资源分布在因特网的各个角落,不强调任务所需的计算和存储资源同处一地。由于网络带宽的限制,网格计算中的数据传输时间占总运行时间的很大一部分。

网格将数据和计算资源虚拟化,而云计算则进一步将硬

件资源虚拟化,活用虚拟机技术,对失败任务重新执行,而不必重启任务。同时,网格内各节点采用统一的操作系统(大部分为 UNIX),而云计算放宽了条件,在各种操作系统的虚拟机上提供各种服务。和网络的复杂管理方式不同,云计算提供一种简单易用的管理环境。另外,网格和云在付费方式上有着显著的不同。网格按照固定的资费标准收费或者若干组织之间共享空闲资源。而云则采用用时付费以及服务等级协议的模式收费。其他区别不再赘述。

表4 网格计算和云计算的主要区别

区别点	网格计算	云计算
发起者	学术界	工业界
标准化	是(OGSA)	否
开源	是	部分开源
互联网络	因特网,高延时低带宽	高速网络,低延时高带宽
关注点	计算密集型	数据密集型
节点	分散的PC或服务器	集群
获取的对象	共享的资源	提供的服务
安全保证	公私钥技术, 账户技术	每个任务一个虚拟机, 保证隔离性
节点操作系统	相同的系统(UNIX)	多种操作系统上的虚拟机
虚拟化	虚拟数据和计算资源	虚拟软硬件平台
节点管理方式	分散式管理	集中式管理
易用性	难以管理,使用	用户友好
付费方式	/	用时付费
失败管理	失败的任务重启	虚拟机迁移到其他节点继续执行
对第三方插件的兼容性	难以兼容	易于兼容,通过提供不同的服务来兼容
自我管理方式	重新配置	重新配置,自我修复

3.2 云计算系统与传统超级计算机的区别

超级计算机拥有强大的处理能力,特别是计算能力。2008年11月17日,最新一期的Top500^[30]榜单发布。冠军“RoadRunner”是IBM为美国Los Alamos国家实验室建造的计算机系统。它的运算速度达到了1.026 PFLOPS。RoadRunner超级计算机包含12960个IBM PowerXcell 8i处理器以及6948个分布于刀片服务器上的AMD Opteron芯片。刀片服务器安装在288个IBM BladCenter机架架上。RoadRunner拥有80TB的内存,外存使用1.5PB容量的Panasas存储,外存通过10Gbps的以太网进行连接。耗资超过1亿美元。

从TOP500对超级计算机的排名方式可以看出,传统的超级计算机注重运算速度和任务的吞吐率。以运算速度为核心进行计算机的研究和开发。而云计算则以数据为中心,同时兼顾系统的运算速度。传统的超级计算机耗资巨大,远超云计算系统。例如,趋势科技花费1000多万美元租用34000多台服务器,构建自身的“安全云”系统。

4 结语

云计算具有广阔的发展前景,相关的各项关键技术也在迅速发展。

首先,当前的云计算系统的能耗过大,因此,减少能耗,提高能源的使用效率,建造高效的冷却系统是当前面临的一个主要问题。例如,谷歌的数据中心的能耗相当于一个小型城市的总能耗^[31]。因为,过大的能耗使得数据中心内发热量剧增,要保证云计算系统的正常运行,必须使用高效的冷却系统来保持数据中心在可接受的温度范围内。

其次,云计算对面向市场的资源管理方式的支持有限。可以加强相应的服务等级协议,使用户和服务提供者能更好的协商提供的服务质量。

另外,需要对云计算的接口进行标准化并且制定交互协议。这样可以支持不同云计算服务提供者之间进行交互,互相合作提供更加强大和更好的服务。

再者,需要开发出更易用的编程环境和编程工具,这样可以更加方便地创建云计算应用,拓展云计算的应用领域。

最后,虽然云计算还有很多问题需要解决,但是云计算必将得到更大的发展。

参考文献:

- [1] VARIA J. Cloud architectures - Amazon Web services [EB/OL]. [2009-03-01]. <http://acmbangalore.org/events/monthly-talk/may-2008--cloud-architectures---amazon-web-services.html>.
- [2] BRYANT R E. Data-intensive supercomputing: The case for DISC, CMU-CS-07-128 [R]. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon University, Department of Computer Science, 2007.
- [3] SZALAY A S, KUNSZT P, THAKAR A, *et al.* Designing and mining multi-terabyte astronomy archives: The sloan digital sky survey [C]// Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York: ACM Press, 2000: 451-462.
- [4] BARROSO L A, DEAN J, HÖLZLE U. Web search for a planet: The Google cluster architecture [J]. IEEE Micro, 2003, 23(2): 22-28.
- [5] GILES J. Google tops translation ranking [EB/OL]. (2006-11-06) [2009-03-06]. <http://www.nature.com/news/2006/061106/full/news061106-6.html>.
- [6] 维基百科. Cloud computing [EB/OL]. [2009-03-10]. http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing.
- [7] 中国云计算网. 什么是云计算? [EB/OL]. (2008-05-14) [2009-02-27]. <http://www.cloudcomputing-china.cn/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=1>.
- [8] VAQUERO L M, RODERO-MERINO L, CACERES J, *et al.* A break in the clouds: Towards a cloud definition [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2009, 39(1): 50-55.
- [9] WEISS A. Computing in the clouds [J]. ACM Networker, 2007, 11(4): 16-25.
- [10] GRIFFITHS A, METHERALL G. Cluster interconnection networks [EB/OL]. (2000-09-01) [2009-03-03]. <http://www.gridbus.org/~raj/cse433/ClusterNets.pdf>.
- [11] CHANG F, DEAN J, GHEMAWAT S, *et al.* BigTable: A distributed storage system for structured data [J]. ACM Transactions on Computer Systems, 2008, 26(2): 1-26.
- [12] DEAN J, GHEMAWAT S. MapReduce: Simplified data processing on large clusters [C]// OSDI'04: Proceedings of the 6th Symposium on Operating System Design and Implementation. New York: ACM Press, 2004: 137-150.
- [13] NAGARAJAN A B, MUELLER F, ENGELMANN C, *et al.* Proactive fault tolerance for HPC with Xen virtualization [C]// Proceedings of the 21st Annual International Conference on Supercomputing. New York: ACM Press, 2007: 23-32.
- [14] GHEMAWAT S, GOBIOFF H, LEUNG P T. The Google file system [C]// Proceedings of the 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles. New York: ACM Press, 2003: 29-43.
- [15] Apache Hadoop. Hadoop [EB/OL]. [2009-03-06]. <http://hadoop.apache.org/>.
- [16] Yahoo. Yahoo! Hadoop tutorial [EB/OL]. [2009-02-27]. <http://>

public.yahoo.com/gogate/hadoop-tutorial/start-tutorial.html.

[17] YU Y, ISARD M, FETTERLY D, *et al.* DryadLINQ: A system for general-purpose distributed data-parallel computing using a high-level language [C]// Proceedings of the 8th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation. New York: ACM Press, 2008: 1–14.

[18] PINAR A, HENDRICKSON B. Exploiting flexibly assignable work to improve load balance [C]// Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures. New York: ACM Press, 2002: 155–163.

[19] GRAMA A, KARYPIS G, KUMAR V, *et al.* Introduction to parallel computing [M]. 2nd ed. London: Pearson Education, 2003.

[20] YAN B Q, RHODES P J. Toward automatic parallelization of spatial computation for computing clusters [C]// Proceedings of the 17th International Symposium on High Performance Distributed Computing. New York: ACM Press, 2008: 45–54.

[21] KRSUL I, GANQULY A, ZHANG P J, *et al.* VMPlants: Providing and managing virtual machine execution environments for grid computing [C]// Proceedings of the 2004 ACM/IEEE Conference on Supercomputing. New York: ACM Press, 2004: 7–7.

[22] BARHAM P, DRAGOVIC B, FRASER K, *et al.* Xen and the art of virtualization [J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 2003, 32(5): 164–177.

[23] SAAB C B, AIRE X B, FOLLIOT B. Phoenix: A self adaptable monitoring platform for cluster management [J]. Cluster Computing, 2002, 5(1): 75–85.

[24] RANGER C, RAGHURAMAN R, PENMETSA A. Evaluating MapReduce for multi-core and multiprocessor systems [C]// Proceedings of the 2007 IEEE 13th International Symposium on High Performance Computer Architecture. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 13–24.

[25] KRUIJF M D, SANKARALINGAM K. MapReduce for the cell B. E. architecture, CS-TR-2007-1625 [R]. Madison, MI, USA: University of Wisconsin-Madison, 2007.

[26] HE B S, FANG W B, LUO Q, *et al.* Mars: A MapReduce framework on graphics processors [C]// Proceedings of the 17th International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques. New York: ACM Press, 2008: 260–269.

[27] ZAHARIA M, KONWINSKI A, JOSEPH A D. Improving MapReduce performance in heterogeneous environments [C]// Proceedings of the 8th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation. New York: ACM Press, 2008: 29–42.

[28] FOSTER I, KESSELMAN C, TUECKE S. The anatomy of the grid enabling scalable virtual organizations [J]. International Journal of High Performance Computing Applications, 2001, 15(3): 200–222.

[29] BERMAN F, FOX G, HEY T. The grid: Past, present, and future [M]// Grid computing: Making the global infrastructure a reality. England: John Wiley and Sons, 2003: 9–50.

[30] Top 500 supercomputing sites. Top500 list-November 2008 (1–100) [EB/OL]. (2008–11–17) [2009–03–05]. <http://www.top500.org/list/2008/11/100>.

[31] BUYYA R, YEO C S, VENUGOPAL S, *et al.* Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility [J]. Future Generation Computer Systems, 2008, 25(6): 599–616.

(上接第 2547 页)

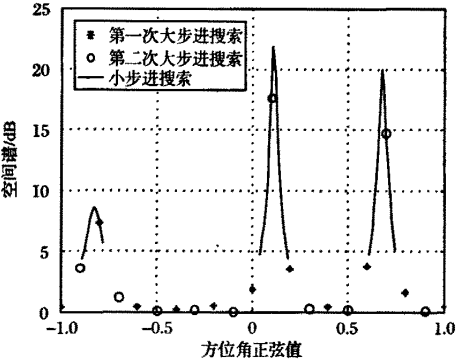


图 2 改进 MUSIC 算法的空间谱

两种算法性能的比较如表 1 所示。如果选择 5 为门限,邻域宽度 0.2 时,谱峰宽度 $\Delta = 0.09$,根据式(13)一次搜索出三个信号的概率是:

$$Z_1 = (0.09/0.2)^3 = 9.1\% \tag{21}$$

此时,加法运算量只有传统算法 40%,乘法运算量只有传统算法 40%。两次搜索出三个信号的概率是 $Z_2 = 72.9\%$,此时时加法运算量只有传统算法 50%,乘法运算量只有传统算法 50%。

表 1 算法性能比较

搜索方式	加法次数	乘法次数	概率/%
传统搜索	30 000	57 400	100.0
一次搜索	12 000	22 960	9.1
两次搜索	15 000	28 700	72.9

5 结语

通过大步进和小步进联合搜索,可以有效减少 MUSIC 法运算量,同时保持对信号 DOA 的估计精度。新算法对于解决 MUSIC 算法工程应用中面临的大运算量问题,具有重要意义。

参考文献:

[1] PUSKA H, SAARNISAARI H, IINATTI J. Serial search code acquisition using smart antennas with single correlator or matched filter [J]. IEEE Transactions on Communications, 2008, 56(2): 299–307.

[2] HIROTA A, ARAI H, NAKANO M. Direction-of-arrival estimation system for multipath propagation in code-division multiple-access systems with synthesized virtual planar array using pilot signals [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(4): 2153–2161.

[3] ZHANG T T, LU Y L, HUI H T. Compensation for the mutual coupling effect in uniform circular arrays for 2D DOA estimations employing the maximum likelihood technique [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2008, 44(3): 1215–1221.

[4] SCHMIDT R O. Multiple emitter location and signal parameter estimation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1986, 34(3): 276–280.

[5] YE Z F, LIU C. On the resiliency of MUSIC direction finding against antenna sensor coupling [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008, 56(2): 371–380.

[6] LI B, PENG C Y, BISWAS S. Association of DOA estimation from two ULAs [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(6): 1094–1101.

[7] van TREES H L. Optimum array processing [M]. New York: John Wiley, 2002.

作者: 陈全, 邓倩妮, CHEN Quan, DENG Qian-ni
作者单位: 上海交通大学, 计算机科学与工程系, 上海, 200240
刊名: 计算机应用 **ISTIC PKU**
英文刊名: JOURNAL OF COMPUTER APPLICATIONS
年, 卷(期): 2009, 29(9)
被引用次数: 216次

参考文献(31条)

1. VARIA J [Cloud architectures—Amazon Web services](#) 2009
2. BRYANT R E [Data-intensive supercomputing:The case for DISC, CMU-CS-07-128](#) 2007
3. SZALAY A S; KUNSZT P; THAKAR A [Designing and mining multi-terabyte astronomy archives:The sloan digital sky survey](#) 2000
4. BARROSO L A; DEAN J; HOLZLE U [Web search for a planet:The Google cluster architecture](#) [外文期刊] 2003(02)
5. GILES J [Google tops translation ranking](#) 2009
6. 维基百科 [Cloud computing](#) 2009
7. 中国云计算网 [什么是云计算?](#) 2009
8. VAQUERO L M; RODERO-MERINO L; CACERES J A [A break in the clouds:Towards a cloud definition](#) [外文期刊] 2009(01)
9. WEISS A [Computing in the clouds](#) 2007(04)
10. GRIFFITHS A; METHERALL G [Cluster interconnection networks](#) 2009
11. CHANG F; DEAN J; GHEMAWAT S [BigTable:A distributed storage system for structured data](#) 2008(02)
12. DEAN J; GHEMAWAT S [MapReduce:Simplified data processing on large clusters](#) 2004
13. NAGARAJAN A B; MUELLER F; ENGELMANN C [Proactive fault tolerance for HPC with Xen virtualization](#) 2007
14. GHEMAWAT S; GOBIOFF H; LEUNG P T [The Google file system](#) 2003
15. [Apache Hadoop Hadoop](#) 2009
16. [Yahoo Yahoo! Hadoop tutorial](#) 2009
17. YU Y; ISARD M; FETTERLY D [DryadLINQ:A system for general-purpose distributed data-parallel computing using a high-level language](#) 2008
18. PINAR A; HENDRICKSON B [Exploiting flexibly assignable work to improve load balance](#) 2002
19. GRAMA A; KARYPIS G; KUMAR V [Introduction to parallel computing](#) 2003
20. YAN B Q; RHODES P J [Toward automatic parallelization of spatial computation for computing clusters](#) 2008
21. KRSUL I; GANQULY A; ZHANG P J [VMplants:Providing and managing virtual machine execution environments for grid computing](#) 2004
22. BARHAM P; DRAGOVIC B; FRASER K [Xen and the art of virtualization](#) 2003(05)
23. SAAB C B; AIRE X B; FOLLIOT B [Phoenix:A self adaptable monitoring platform for cluster management](#) [外文期刊] 2002(01)

24. [RANGER C;RAGHURAMAN R;PENMETSA A](#) [Evaluating MapReduce for multi-core and multiprocessor systems](#) 2007
25. [KRUIJF M D;SANKARALINGAM K](#) [MapReduce for the cell B.E.architecture,CS-TR-2007-1625](#) 2007
26. [HE B S;FANG W B;LUO Q](#) [Mars:A MapReduce framework on graphics processors](#) 2008
27. [ZAHARIA M;KONWINSKI A;JOSEPH A D](#) [Improving MapReduce performance in heterogeneous environments](#) 2008
28. [FOSTER I;KESSELMAN C;TUECKE S](#) [The anatomy of the grid enabling scalable virtual organizations](#) 2001(03)
29. [BERMAN F;FOX G;HEY T](#) [The grid:Past, present, and future](#) 2003
30. [Top 500 supercomputing sites Top500 list-November 2008\(1-100\)](#) 2009
31. [BUYA R;YEO C S;VENUGOPAL S](#) [Cloud computing and emerging IT platforms:Vision,hype, and reality for delivering computing as the 5th utility](#)[外文期刊] 2008(06)

本文读者也读过(10条)

1. [钟伟彬. 周梁月. 潘军彪. 文锦军. Zhong Weibin. Zhou Liangyue. Pan Junbiao. Wen Jinjun](#) [云计算终端的现状和发展趋势](#)[期刊论文]-[电信科学](#)2010, 26(3)
2. [陈康. 郑伟民. CHEN Kang. ZHENG Wei-Min](#) [云计算:系统实例与研究现状](#)[期刊论文]-[软件学报](#)2009, 20(5)
3. [张佩英. Zhang Pei-ying](#) [云计算及其应用探讨](#)[期刊论文]-[制造业自动化](#)2010, 32(9)
4. [张建勋. 古志民. 郑超. ZHANG Jian-xun. GU Zhi-min. ZHENG Chao](#) [云计算研究进展综述](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#)2010, 27(2)
5. [吴吉义. 平玲娣. 潘雪增. 李卓. Wu Ji-yi. Ping Ling-di. Pan Xue-zeng. Li Zhuo](#) [云计算:从概念到平台](#)[期刊论文]-[电信科学](#)2009, 25(12)
6. [李莉. 廖剑伟. 欧灵. LI Li. LIAO Jian-wei. OU Ling](#) [云计算初探](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#)2010, 27(12)
7. [钱文静. 邓仲华. Qian Wenjing. Deng Zhonghua](#) [云计算与信息资源共享管理](#)[期刊论文]-[图书与情报](#)2009(4)
8. [张亚明. 刘海鸥. Zhang Yaming. Liu Haiou](#) [云计算研究综述——基于技术与商业价值双重视角](#)[期刊论文]-[中国科技论坛](#)2010(8)
9. [黎春兰. 邓仲华. Li Chunlan. Deng Zhonghua](#) [论云计算的价值](#)[期刊论文]-[图书与情报](#)2009(4)
10. [冯登国. 张敏. 张妍. 徐震. FENG Deng-Guo. ZHANG Min. ZHANG Yan. XU Zhen](#) [云计算安全研究](#)[期刊论文]-[软件学报](#)2011, 22(1)

引证文献(222条)

1. [丁阳. 颜惠琴](#) [基于改进粒子群算法的云计算任务调度策略](#)[期刊论文]-[无锡职业技术学院学报](#) 2012(3)
2. [王晓光](#) [一种云计算作业管理代理系统](#)[期刊论文]-[广播电视信息](#) 2012(4)
3. [谢铠临](#) [云计算技术在数字化图书馆的应用探讨](#)[期刊论文]-[兰台世界](#) 2012(35)
4. [唐国纯. 罗自强](#) [云计算体系结构中的多层次研究](#)[期刊论文]-[铁路计算机应用](#) 2012(11)
5. [徐翊鸣](#) [云主机与电信云计算战略的分析](#)[期刊论文]-[商情](#) 2012(37)
6. [丁宇光. 刘文杰. 王卫林](#) [基于QoS约束的计算能力调度算法研究](#)[期刊论文]-[四川理工学院学报: 自然科学版](#) 2012(3)
7. [单斌](#) [浅谈云计算在网络体系构建中的应用](#)[期刊论文]-[中国新技术新产品](#) 2012(16)
8. [张兆恩](#) [云计算在高校教学平台中的应用研究](#)[期刊论文]-[佛山科学技术学院学报: 自然科学版](#) 2012(3)

9. Zhang Qikun, Li Yuanzhang, Song Danjie, Tan Yuan [Alliance-Authentication Protocol in Clouds Computing Environment](#) [期刊论文]-[中国通信](#) 2012(7)
10. 祝家钰, 肖丹 [云计算架构下的动态副本管理策略](#) [期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2012(9)
11. 李平 [云环境下虚拟服务器的安全性研究](#) [期刊论文]-[中国科技信息](#) 2012(14)
12. 王畅 [构建认证云平台保障食品安全](#) [期刊论文]-[粮食与饲料工业](#) 2012(3)
13. 龚强 [云计算及其在地理信息工程中的应用](#) [期刊论文]-[测绘与空间地理信息](#) 2012(1)
14. 靳敏敏 [云计算在图书馆数字资源建设中的应用探究](#) [期刊论文]-[甘肃科技](#) 2011(7)
15. 张亚东 [浅谈云计算发展现状与趋势](#) [期刊论文]-[科技致富向导](#) 2011(8)
16. 张超 [云计算环境中DAI中间件需求分析](#) [期刊论文]-[计算机与网络](#) 2011(1)
17. 高祥 [高速公路新型数据处理结算中心云计算模式探讨](#) [期刊论文]-[中国交通信息化](#) 2011(4)
18. 李刚健 [基于SOA的云计算架构模式新探](#) [期刊论文]-[吉林建筑工程学院学报](#) 2011(2)
19. 周游, 刘鹏, 杨盛祥, 薛志强, 文艾 [基于私有云的数据冗余技术研究](#) [期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(1)
20. 张兴旺, 李晨晖, 秦晓珠 [云计算环境下大规模数据处理的研究与初步实现](#) [期刊论文]-[现代图书情报技术](#) 2011(4)
21. 王胜川 [基于云计算的存储技术研究](#) [期刊论文]-[石油工业计算机应用](#) 2011(2)
22. Dongliang Xie, Yu Wang [The Internet of Things and Ubiquitous Intelligence \(4\)](#) [期刊论文]-[中兴通讯技术: 英文版](#) 2011(4)
23. 周游, 刘鹏, 杨盛祥, 薛志强, 文艾 [基于私有云的数据冗余技术研究](#) [期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(1)
24. 高璐 [施工企业步入云时代](#) [期刊论文]-[信息系统工程](#) 2011(7)
25. 曹媛媛 [云计算关键技术应用及发展](#) [期刊论文]-[电子科技](#) 2011(11)
26. 龚强 [网格计算商业演化的云计算与应用展望](#) [期刊论文]-[信息技术](#) 2011(10)
27. 李胜广, 张小波, 朱元硕 [云计算在城市安防应急系统中的应用](#) [期刊论文]-[中国安防](#) 2011(7)
28. 胡泉, 胡金柱, 谢芳 [基于GAE的专业服务网信息获取技术研究](#) [期刊论文]-[电信科学](#) 2011(12)
29. 李明, 胥光辉, 戢瑶 [MapReduce编程模型在网络I/O密集型程序中的应用研究](#) [期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2011(9)
30. 吴秋萍 [云计算在电子政务系统中的应用研究](#) [期刊论文]-[计算机与现代化](#) 2011(7)
31. 陈俊, 陈孝威 [基于Hadoop建立云计算系统](#) [期刊论文]-[贵州大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(3)
32. 倪靖 [一种基于云计算的Web结构挖掘算法](#) [期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(24)
33. 张峰 [刍议云计算与网络安全](#) [期刊论文]-[计算机光盘软件与应用](#) 2010(16)
34. 刘勇生 [基于闲置资源利用的无线分布式审计模型设计](#) [期刊论文]-[制造业自动化](#) 2010(6)
35. 左利云, 吴良海 [基于云计算的数据库查询调度算法](#) [期刊论文]-[郑州大学学报\(工学版\)](#) 2010(4)
36. 倪靖 [云计算下电子商务的发展](#) [期刊论文]-[中国电子商务](#) 2010(9)
37. 陈凤 [家庭影音云终端的研究与设计](#) [期刊论文]-[福建电脑](#) 2013(1)
38. 邓超, 周文平, 申新鹏, 杨刚 [企业云开发平台研究](#) [期刊论文]-[微电子学与计算机](#) 2012(7)
39. 沈洪妹, 张志美, 胡新平 [区域教育资源云平台构建与共享模式研究](#) [期刊论文]-[现代情报](#) 2012(10)
40. 王延中 [一种基于云计算环境的动态取证模型研究](#) [期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2012(11)
41. 许知博, 刘钊 [基于云计算的工厂信息监测系统设计](#) [期刊论文]-[电子科技](#) 2012(5)
42. 冯皓 [“私有云”对企业IT系统建设和管理的作用](#) [期刊论文]-[中国信息界](#) 2012(8)

43. [许志龙, 张飞飞](#) [云存储关键技术研究](#)[期刊论文]-[现代计算机: 下半月版](#) 2012(9)
44. [王教东](#) [初探云计算在军交运输信息化过程中的应用](#)[期刊论文]-[军事交通学院学报](#) 2012(7)
45. [杨震, 戴蓉](#) [基于云计算架构的远程视频监控系统设计](#)[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2012(18)
46. [田素贞, 翟玉梅, 刘传领](#) [基于云计算的多目标服务调度算法的改进研究](#)[期刊论文]-[陕西理工学院学报\(自然科学版\)](#) 2012(1)
47. [一种云计算作业管理代理系统](#)[期刊论文]-[有线电视技术](#) 2012(6)
48. [王小妮](#) [现代电子商务给企业信息管理带来的机遇与挑战](#)[期刊论文]-[中国管理信息化](#) 2011(9)
49. [王伟兵](#) [一种基于云计算的动态可扩展应用模型](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2011(15)
50. [高贵升](#) [云计算技术探秘及应用研究](#)[期刊论文]-[电脑与电信](#) 2011(4)
51. [刘之家, 张体荣, 谢雄程](#) [基于云计算的“用户期待”任务调度算法的研究](#)[期刊论文]-[大众科技](#) 2011(4)
52. [马林山, 赵庆峰](#) [云计算环境下图书馆服务的创新](#)[期刊论文]-[大学图书情报学刊](#) 2011(1)
53. [彭丽, 张霞](#) [公众计算通信网的发展初探](#)[期刊论文]-[电信交换](#) 2011(1)
54. [王俊修](#) [基于云计算架构的视频监控系统应用研究](#)[期刊论文]-[中国安防](#) 2011(8)
55. [李晓辉, 王淑艳](#) [浅析云计算技术](#)[期刊论文]-[数字技术与应用](#) 2011(11)
56. [张恺](#) [基于云计算的电子商务应用与实现](#)[期刊论文]-[重庆科技学院学报: 自然科学版](#) 2011(5)
57. [江务学, 张璟, 王志明](#) [云计算及其架构模式](#)[期刊论文]-[辽宁工程技术大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(4)
58. [官思发](#) [基于专利信息分析的云计算技术透视](#)[期刊论文]-[情报杂志](#) 2011(8)
59. [钱毅](#) [基于云计算和视频智能分析的变电站视频及环境监控系统升级方案设计](#)[期刊论文]-[电力学报](#) 2011(2)
60. [乔荣学, 李翔, 翟堃, 曹灿华](#) [云计算及基于此的互联网应用发展](#)[期刊论文]-[科技创新导报](#) 2011(18)
61. [金锦辉, 毛中亚, 郭其一](#) [铁路智能交通系统的云计算](#)[期刊论文]-[交通信息与安全](#) 2011(4)
62. [江务学, 胡选子](#) [基于GAE的云计算SaaS级应用的设计与开发](#)[期刊论文]-[计算机与现代化](#) 2011(8)
63. [程建平](#) [基于云计算的数据挖掘技术在金融业中的应用](#)[期刊论文]-[科海故事博览·科技探索](#) 2010(11)
64. [张亚明, 刘海鸥](#) [云计算研究综述——基于技术与商业价值双重视角](#)[期刊论文]-[中国科技论坛](#) 2010(8)
65. [石利平](#) [浅析基于Web的云存储技术](#)[期刊论文]-[现代计算机\(专业版\)](#) 2010(3)
66. [孙放, 陈云芳, 林抗锋](#) [适用于富客户端的云计算模型](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2010(8)
67. [朱勇](#) [浅谈云计算与图书馆数据中心](#)[期刊论文]-[科技情报开发与经济](#) 2010(24)
68. [龚强](#) [构建测绘地理信息行业云初探](#)[期刊论文]-[测绘与空间地理信息](#) 2013(1)
69. [陈臣, 韩金仓](#) [基于定制服务的数字图书馆云服务平台与云服务模式研究](#)[期刊论文]-[图书馆论坛](#) 2013(1)
70. [王登科, 李忠](#) [基于粒子群优化与蚁群优化的云计算任务调度算法](#)[期刊论文]-[计算机应用与软件](#) 2013(1)
71. [叶枫, 王志坚, 徐新坤, 王丽娜, 张雪洁](#) [一种基于QoS的云负载均衡机制的研究](#)[期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2012(10)
72. [曹泽文, 周姚](#) [基于MapReduce的JP算法设计与实现](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2012(24)
73. [龚宇, 李帅, 李勇, 苏厉, 金德鹏, 曾烈光](#) [基于云计算的网络创新实验平台](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2012(24)
74. [张嵩](#) [云计算在人力资源社会保障多数据中心容灾业务中的设计](#)[期刊论文]-[信息系统工程](#) 2012(9)
75. [赵怡](#) [基于云计算的电子商务探讨](#)[期刊论文]-[商情](#) 2012(49)
76. [陈墩金, 喻朝新, 罗家锋](#) [基于云计算的IT测试系统设计方案](#)[期刊论文]-[数据通信](#) 2012(2)
77. [刘衍](#) [“警务云”中心模型的应用研究](#)[期刊论文]-[四川警察学院学报](#) 2012(3)
78. [张忠凯](#) [浅谈云技术对现代图书馆发展的影响](#)[期刊论文]-[新课程导学](#) 2012(23)

79. 郭怡, 茅苏 云计算下基于CRP算法的资源提供策略[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2012(2)
80. 陈臣, 武文慧 云数字图书馆数据中心虚拟化需求分析与管理策略研究[期刊论文]-[高校图书馆工作](#) 2012(5)
81. 冯毅 基于云计算的职业教育信息化建设的策略[期刊论文]-[天津职业院校联合学报](#) 2012(1)
82. 李晓榕 智能电视“云服务”平台的设计实现[期刊论文]-[科技资讯](#) 2012(31)
83. 王彬彬 高校教学管理中的云计算应用探索[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(2)
84. 江务学, 张璟, 王志明 MapReduce并行编程架构模型研究[期刊论文]-[微电子学与计算机](#) 2011(6)
85. 桂冕 关于云计算时代电信业务发展的探讨[期刊论文]-[信息通信](#) 2011(2)
86. 刘朝, 薛凯, 杨树国 云环境数据库安全问题探究[期刊论文]-[电脑与电信](#) 2011(1)
87. 王彬彬 高校教学管理中的云计算应用探索[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(2)
88. 杨振东, 郑冀, 刘光霆 云计算在军事后勤领域的应用研究[期刊论文]-[中国储运](#) 2011(8)
89. 朱珠, 张欣 浅谈智慧旅游感知体系和管理平台的构建[期刊论文]-[江苏大学学报\(社会科学版\)](#) 2011(6)
90. 刘之家 一种基于云计算的负载均衡技术的研究[期刊论文]-[广西师范学院学报: 自然科学版](#) 2011(2)
91. 张先锋, 邹蕾 云计算技术及其应用研究[期刊论文]-[计算机与数字工程](#) 2011(10)
92. 段春乐, 丁照宇 云计算的关键技术及系统实例的实现[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(26)
93. 徐其春, 杨永艳, 杨宁 大型企业云计算技术框架研究分析[期刊论文]-[电力信息化](#) 2011(8)
94. 李向军 基于云计算的数据存储系统研究[期刊论文]-[硅谷](#) 2010(19)
95. 黄镇圣 云计算技术与应用分析[期刊论文]-[网络财富](#) 2010(12)
96. 朱勇 云计算与图书馆建设[期刊论文]-[内蒙古科技与经济](#) 2010(15)
97. 张爱玉, 王俊修 云计算在物联网中的应用研究[期刊论文]-[中国安防](#) 2013(1)
98. 邱彩华, 娄云 云计算在教育资源库建设中的应用研究[期刊论文]-[电子设计工程](#) 2013(4)
99. 孙洪建 云计算的现状与发展趋势[期刊论文]-[计算机与网络](#) 2012(19)
100. 王小威, 赵一鸣 一种基于任务角色的云计算访问控制模型[期刊论文]-[计算机工程](#) 2012(24)
101. 田嵩, 晏伯武, 杨慧 基于GFS的分布式云存储应用技术的设计[期刊论文]-[福建电脑](#) 2012(10)
102. 卫丽君 云计算环境下的高校图书馆信息服务[期刊论文]-[图书馆学刊](#) 2012(12)
103. 邓见光, 潘晓衡, 袁华强 云存储及其分布式文件系统研究[期刊论文]-[东莞理工学院学报](#) 2012(5)
104. 龙世荣, 岑磊, 王兴辉, 乔真 基于云计算的数字化学习系统构建方法研究[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2012(15)
105. 马晓亭, 高军, 魏婷 面向云计算的数字图书馆虚拟资源管理机制和调度策略研究[期刊论文]-[现代情报](#) 2012(9)
106. 黄彩锋, 赵建民, 朱信忠, 王梅 三网融合下手机云计算的应用模式探讨[期刊论文]-[微型电脑应用](#) 2012(6)
107. 章俊, 魏继伟, 林和平 面向云计算的软件架构研究[期刊论文]-[信息技术](#) 2012(1)
108. 段翰聪, 李俊杰, 陈成, 李林 异构环境下降低慢任务抖动的调度算法——DPST[期刊论文]-[计算机应用](#) 2012(7)
109. 张向阳 基于“云计算”的教学资源平台构架与应用功能研究[期刊论文]-[煤炭技术](#) 2012(1)
110. 马晓亭, 陈臣 基于亚马逊弹性云计算的数字图书馆建设研究[期刊论文]-[图书馆](#) 2012(3)
111. 陈臣, 马晓亭 基于虚拟化的云图书馆数据中心组织模式研究[期刊论文]-[图书馆学研究](#) 2011(10)
112. 李乐 基于云计算的初步探析[期刊论文]-[科技资讯](#) 2011(19)
113. 卜淮原, 曹琦, 王文政 云计算时代的作战实验[期刊论文]-[军事运筹与系统工程](#) 2011(4)
114. 任怀志 探析云计算和物联网技术组合应用[期刊论文]-[农业网络信息](#) 2011(11)
115. 陈巧, 袁红, 熊秋娥 基于云计算的区域高校教学资源共享[期刊论文]-[中国教育信息化: 高教职教](#) 2011(8)
116. 钱戴明, 乐嘉锦 云计算在校园多媒体系统中的应用[期刊论文]-[计算机应用与软件](#) 2011(12)

117. 戴玲 [电子档案安全及储及的份技术措施](#) [期刊论文] - [兰台世界](#) 2011 (21)
118. 江小平, 李成华, 向文, 张新访 [云计算环境下朴素贝叶斯文本分类算法的实现](#) [期刊论文] - [计算机应用](#) 2011 (9)
119. 唐华为 [云计算理论在中小企业中的应用研究](#) [期刊论文] - [计算机光盘软件与应用](#) 2011 (11)
120. 郑良仁, 邵开丽, 赵文安 [浅析高校在云计算时代的机遇与挑战](#) [期刊论文] - [福建电脑](#) 2010 (1)
121. 李煜民, 章才能, 王鲁达 [从网络资源共享到网络服务](#) [期刊论文] - [电脑知识与技术](#) 2010 (6)
122. 程赓, 田铁红, 谭虎, 毛松 [面向公共安全监测的物联网技术与应用探讨](#) [期刊论文] - [信息通信技术](#) 2010 (6)
123. 阴桂梅, 刘耀军, 郭广行 [云计算在分布式地理信息系统中的应用](#) [期刊论文] - [山西电子技术](#) 2010 (6)
124. 张叶红 [云中漫步: 图书馆云计算应用](#) [期刊论文] - [农业图书情报学刊](#) 2010 (12)
125. 唐旭, 陈蓓 [云计算在高校应用中的研究](#) [期刊论文] - [电脑知识与技术](#) 2010 (33)
126. 夏玲军, 楼晓峰 [云计算及其面临的挑战](#) [期刊论文] - [软件导刊](#) 2010 (10)
127. 程赓, 田铁红, 谭虎, 毛松 [面向公共安全监测的物联网技术与应用探讨](#) [期刊论文] - [信息通信技术](#) 2010 (6)
128. 袁正午, 李琦 [云计算应用现状与趋势](#) [期刊论文] - [数字通信](#) 2010 (3)
129. 蔡兴旺, 段梦博 [云计算及其在数据挖掘上的应用研究](#) [期刊论文] - [电脑知识与技术](#) 2010 (22)
130. 殷珏琼 [浅析云计算现状及其问题](#) [期刊论文] - [电脑知识与技术](#) 2009 (33)
131. 马晓亭 [面向云计算的数字图书馆动态迁移关键问题及优化](#) [期刊论文] - [高校图书馆工作](#) 2012 (6)
132. 杨爱芹 [大规模文本数据的分类系统的设计与实现](#) [期刊论文] - [现代计算机: 下半月版](#) 2012 (17)
133. 白海灵, 邵晰, 余晨 [基础教育云服务平台构建技术研究](#) [期刊论文] - [软件导刊](#) 2012 (11)
134. 王志斌, 胡艳华, 李健军 [基于SOA的云计算框架模型的研究](#) [期刊论文] - [软件](#) 2012 (10)
135. 盛仲飏 [浅谈云计算技术](#) [期刊论文] - [福建电脑](#) 2012 (6)
136. 詹伟 [电网企业云计算技术应用](#) [期刊论文] - [电力信息化](#) 2012 (12)
137. 汪林云 [浅谈云计算技术在高校中的应用](#) [期刊论文] - [科学之友](#) 2012 (3)
138. 孙香花 [云计算研究现状与发展趋势](#) [期刊论文] - [计算机测量与控制](#) 2011 (5)
139. 曹风兵, 吴开贵, 吴长泽 [基于Hadoop的校园云计算系统](#) [期刊论文] - [计算机系统应用](#) 2011 (6)
140. 王小龙, 肖琚, 刘光明 [GMA架构下监控信息 workflow 模型探讨](#) [期刊论文] - [甘肃科学学报](#) 2011 (2)
141. 包盛, 段保通, 邵锋军 [三网融合下基于云计算的实时转码技术研究和应用](#) [期刊论文] - [电信科学](#) 2011 (3)
142. 李英壮, 廖培腾, 孙梦, 李先毅 [基于云计算的数据中心虚拟机管理平台的设计](#) [期刊论文] - [实验技术与管理](#) 2011 (5)
143. 卜文军, 李彩虹 [基于云计算的电子商务系统应用研究](#) [期刊论文] - [硅谷](#) 2011 (9)
144. 胡心专, 段灿 [云计算在企业电子商务系统中的作用研究](#) [期刊论文] - [江苏商论](#) 2011 (2)
145. 温晓宇 [基于云计算的应用架构和服务模式研究](#) [期刊论文] - [南宁职业技术学院学报](#) 2011 (5)
146. 魏婷, 马晓亭 [云计算环境下数字图书馆网络与数据中心智能化管理策略研究](#) [期刊论文] - [现代情报](#) 2011 (11)
147. 龙胤慧, 廖梓龙 [基于云计算的牧区水利信息系统研究](#) [期刊论文] - [水科学与工程学报](#) 2011 (5)
148. 宋旻, 朱毅 [基于云计算的动漫渲染技术的研究](#) [期刊论文] - [电脑知识与技术](#) 2011 (30)
149. 刘福强, 刘嵩, 李玉东 [基于云计算的开放式实验平台设计](#) [期刊论文] - [计算机与数字工程](#) 2011 (10)
150. 孙健, 贾晓菁 [Google云计算平台的技术架构及对其成本的影响研究](#) [期刊论文] - [电信科学](#) 2010 (1)
151. 任宁, 侯春英 [云计算在职业教育信息化中的应用探索](#) [期刊论文] - [电脑知识与技术](#) 2010 (12)
152. 孙健, 贾晓菁 [Google云计算平台的技术架构及对其成本的影响研究](#) [期刊论文] - [电信交换](#) 2010 (2)
153. 曾静 [云计算时代高职院校面临的机遇和挑战](#) [期刊论文] - [中国现代教育装备](#) 2010 (22)

154. 蒋翀 [基于云计算的用户兴趣建模](#)[期刊论文]-[教师](#) 2010(19)
155. 李超 [云计算理论及技术研究进展](#)[期刊论文]-[科技创业月刊](#) 2009(12)
156. 陈臣, 武文慧 [基于服务关系统计的数字图书馆云服务模式研究](#)[期刊论文]-[现代情报](#) 2012(10)
157. 聂良刚, 陈军 [基于校园网综合文科实验室的建设与管理](#)[期刊论文]-[广西广播电视大学学报](#) 2012(1)
158. 陈臣, 李映宗, 高军 [面向云计算的数字图书馆动态迁移对策与优化](#)[期刊论文]-[现代情报](#) 2012(6)
159. 马晓亭, 韩金仓 [面向读者需求的数字图书馆云服务平台构建研究](#)[期刊论文]-[图书与情报](#) 2012(4)
160. 刘万军, 张孟华, 郭文越 [基于MPSO算法的云计算资源调度策略](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2011(11)
161. 王娟, 沈小平, 叶萌 [云计算在医疗卫生职业教育信息化发展中的应用探索](#)[期刊论文]-[微型电脑应用](#) 2011(3)
162. 李刚健 [基于虚拟化技术的云计算平台架构研究](#)[期刊论文]-[吉林建筑工程学院学报](#) 2011(1)
163. 陈巧, 胡新平, 袁红 [基于云服务的教学资源大平台的构建](#)[期刊论文]-[现代教育技术](#) 2011(12)
164. 张水平, 李纪真, 张凤琴, 李晓波, 余侃民 [基于云计算的数据中心安全体系研究与实现](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2011(12)
165. 谢东亮, 王羽 [物联网与泛在智能](#)[期刊论文]-[中兴通讯技术](#) 2010(6)
166. 顾广宇 [SG-ERP建设中的若干关键技术](#)[期刊论文]-[电力信息化](#) 2010(5)
167. 康尚钦, 李军, 叶何亮, 李嫚 [基于分布式计算的电信联机采集系统设计](#)[期刊论文]-[计算机与现代化](#) 2013(1)
168. 胡秀建, 朱水源, 梁西陈 [私有云架构下的信息安全模型分析](#)[期刊论文]-[通化师范学院学报](#) 2012(12)
169. 李杰, 李鹏伟, 李玉坤, 于金刚, 邵志香 [云计算在智能电网中的应用研究](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2012(13)
170. 宋士宝, 史杰, 史少华 [论云计算的服务共享模式](#)[期刊论文]-[昆明学院学报](#) 2011(6)
171. 宫立新, 尚振阳 [云计算与石油云](#)[期刊论文]-[中国信息界](#) 2011(7)
172. 左利云, 陈一明 [强耦合代理模型下的云安全分析算法](#)[期刊论文]-[微型机与应用](#) 2011(13)
173. 李晓伟, 沈艳秋 [云计算及其发展进程](#)[期刊论文]-[科技信息](#) 2011(15)
174. 晏光华 [云计算在数字矿山中的应用](#)[期刊论文]-[计算机与数字工程](#) 2011(9)
175. 蒋娟, 姜瑜 [云计算与农村信息化建设](#)[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2011(32)
176. 刘宇芳 [云计算及其实质的探究](#)[期刊论文]-[惠州学院学报](#) 2010(6)
177. 李建卓 [云计算及其发展综述](#)[期刊论文]-[宝鸡文理学院学报\(自然科学版\)](#) 2010(3)
178. 刘晓乐 [计算机云计算及其实现技术分析](#)[期刊论文]-[电子科技](#) 2009(12)
179. 刘宇芳 [云计算及其实质的探究](#)[期刊论文]-[惠州学院学报](#) 2010(6)
180. 马鸣, 童振 [云计算模式区域医疗卫生信息化平台建设探索](#)[期刊论文]-[医学信息学杂志](#) 2013(1)
181. 张欣, 刘镇, 王海峰 [基于云计算的数字实验平台的研究](#)[期刊论文]-[中国电子商情: 通信市场](#) 2012(5)
182. 赖丽萍 [绿色智能机房的需求与发展研究](#)[期刊论文]-[电子设计工程](#) 2012(19)
183. 杨金花 [云计算关键技术的探讨](#)[期刊论文]-[电子设计工程](#) 2012(15)
184. 胡新平, 沈洪妹, 张志美 [区域云数字图书馆构建研究](#)[期刊论文]-[情报理论与实践](#) 2011(2)
185. 马晓亭, 陈臣 [云安全2.0技术体系下数字图书馆信息资源安全威胁与对策研究](#)[期刊论文]-[现代情报](#) 2011(3)
186. 朱仕村, 张宇峰, 张立涛, 朱晓文, 胡云辉 [面向长大桥梁结构健康监测物联网的云计算](#)[期刊论文]-[现代交通技术](#) 2011(1)
187. 何建佳, 叶春明, 王祥兵, 黄在鑫, 刘秋岭 [面向云计算的数据挖掘系统架构研究](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2011(4)

188. 唐小淋, 林培群, 徐建闽 [基于云计算和WSN的车联网体系架构及关键技术研究](#)[期刊论文]-[交通信息与安全](#) 2011(5)
189. 陶彩霞, 陈康, 郝颖 [云计算在电信支撑系统领域的应用分析](#)[期刊论文]-[电信科学](#) 2010(10)
190. 王正生, 潘丽娜, 李晓利, 吕芳芳 [浅谈云技术对石油行业的影响](#)[期刊论文]-[信息安全与通信保密](#) 2012(4)
191. 陈桦, 李艳明, 朱美正 [一种支持大量并发用户的瓦片缓存方案研究](#)[期刊论文]-[计算机工程与科学](#) 2012(12)
192. 王燕, 王煦 [云计算时代对我国信息安全的思考](#)[期刊论文]-[现代管理科学](#) 2011(2)
193. 徐光侠, 陈蜀宇 [面向移动云计算弹性应用的安全模型](#)[期刊论文]-[计算机应用](#) 2011(4)
194. 王燕, 王煦 [云计算时代对我国信息安全的思考](#)[期刊论文]-[现代管理科学](#) 2011(2)
195. 廖华, 冯威, 黄丁发 [中央差分定位系统的设计与实现](#)[期刊论文]-[西南交通大学学报](#) 2011(5)
196. 陈杰, 张跃宇 [云计算在智能电网中的应用及其安全问题研究](#)[期刊论文]-[中兴通讯技术](#) 2012(6)
197. 易小华, 刘杰, 叶丹 [面向MapReduce的数据处理流程开发方法](#)[期刊论文]-[计算机科学与探索](#) 2011(2)
198. 李伟伟, 曹宝香 [基于云计算的安全管理平台技术研究](#)[期刊论文]-[电子技术](#) 2011(12)
199. 钱玲, 魏建行, 韩铭祐 [数字化校园信息资源共享技术研究](#)[期刊论文]-[河北大学成人教育学院学报](#) 2010(3)
200. 刘丽, 申丽君, 陆锐 [云计算及其在医疗信息服务中的应用](#)[期刊论文]-[中国数字医学](#) 2011(9)
201. 张庆科, 杨波, 王琳, 陈贞翔 [基于异构模式的云计算关键技术研究](#)[期刊论文]-[山东科学](#) 2011(5)
202. 梁东莺, 高潮 [云计算及其应用](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2011(8)
203. 张云勇, 陈清金, 潘松柏, 魏进武 [云计算安全关键技术分析](#)[期刊论文]-[电信科学](#) 2010(9)
204. 朝乐门, 邢春晓, 张勇 [云端信息资源管理研究](#)[期刊论文]-[情报资料工作](#) 2010(4)
205. 张华, 范小建, 吴钦, 丁卫平 [基于面向服务体系架构的公安信息资源整合平台](#)[期刊论文]-[南通大学学报: 自然科学版](#) 2012(2)
206. 易小华, 刘杰, 叶丹 [面向MapReduce的数据处理流程开发方法](#)[期刊论文]-[计算机科学与探索](#) 2011(2)
207. 黎意慧 [图书馆在云计算时代的机遇与挑战](#)[期刊论文]-[图书馆界](#) 2011(4)
208. 乔仁晓, 孟晓风, 李皎, 戴冬冰 [离心机法校准加速度计不确定度的统计模拟算法](#)[期刊论文]-[电子测量与仪器学报](#) 2010(5)
209. 张玄, 张敬周, 葛孝堃 [基于SaaS的IT资产管理系统研究](#)[期刊论文]-[计算机应用与软件](#) 2012(8)
210. 王继鹏 [高等教育云计算服务平台构建策略初探](#)[期刊论文]-[安阳师范学院学报](#) 2011(5)
211. 廖宏建, 杨玉宝, 唐连章, 卫建安 [基于云计算的动漫渲染实验平台研究与实现](#)[期刊论文]-[实验室研究与探索](#) 2012(7)
212. 马晓亭, 陈臣 [基于虚拟化技术的数字图书馆分布式云计算数据中心研究](#)[期刊论文]-[情报科学](#) 2012(7)
213. 王平 [云计算关键技术在数字图书馆中的应用研究](#)[期刊论文]-[情报资料工作](#) 2010(5)
214. 王平 [云计算关键技术在数字图书馆中的应用研究](#)[期刊论文]-[情报资料工作](#) 2010(5)
215. 安俊秀 [基于服务器集群的云检索系统的研究与示范](#)[期刊论文]-[计算机科学](#) 2010(7)
216. 刘伟卿, 王筱萍 [基于Copula模型的数据分析平台的实现](#)[期刊论文]-[嘉兴学院学报](#) 2012(6)
217. 张巍琼, 郑智捷 [基于不同产生机制的伪随机序列和DNA序列的随机性测量](#)[期刊论文]-[成都信息工程学院学报](#) 2012(6)
218. 王晟, 赵壁芳 [云计算及其应用研究](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2011(12)
219. 叶枫, 王志坚, 徐新坤, 王丽娜, 张雪洁 [一种基于QoS的云负载均衡机制的研究](#)[期刊论文]-[小型微型计算机系统](#) 2012(10)

220. [李嘉斌](#), [陈华根](#) [基于云计算的地学云系统设计](#)[期刊论文]-[计算机工程与科学](#) 2011(6)
221. [张浩](#), [和敬涵](#), [尹航](#), [薄志谦](#), [TonyYip](#) [电网孤岛重构的云计算策略](#)[期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2011(34)
222. [林德根](#), [梁勤欧](#) [云GIS的内涵与研究进展](#)[期刊论文]-[地理科学进展](#) 2012(11)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjyy200909071.aspx