

# 一种支持云计算的遥感影像数据组织模型研究

赖积保<sup>1,2,3</sup> 罗晓丽<sup>1,2,3</sup> 余 涛<sup>1</sup> 贾培艳<sup>2,3</sup>

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)<sup>1</sup> (河南大学计算机与信息工程学院 开封 475004)<sup>2</sup>  
(河南大学数据与知识工程研究所 开封 475004)<sup>3</sup>

**摘 要** 为了解决云计算环境下海量遥感影像数据的存储问题,研究了一种支持云计算的遥感影像数据组织模型(RSC-DOM)。在深入分析目前遥感影像数据管理现状的基础上,详细剖析了云计算环境下遥感影像数据组织模型的关键性要素,其涉及到支持扩展的分布式存储模式、存储站点结构以及虚拟磁盘空间结构等问题;构建了基于云计算的分布式存储模型架构。实验结果表明,所提出的存储模型在实际应用中比传统依赖 Oracle 的数据管理方式具有一定的优势。

**关键词** 遥感影像数据,云计算,分布式文件系统,并行检索,直接寻址

**中图分类号** TP39 **文献标识码** A

## Remote Sensing Data Organization Model Based on Cloud Computing

LAI Ji-bao<sup>1,2,3</sup> LUO Xiao-li<sup>1,2,3</sup> YU Tao<sup>1</sup> JIA Pei-yan<sup>2,3</sup>

(Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)<sup>1</sup>

(School of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng 475004, China)<sup>2</sup>

(Institute of Data and Knowledge Engineering, Henan University, Kaifeng 475004, China)<sup>3</sup>

**Abstract** To solve massive remote sensing data storage problem in cloud computing environment, a remote sensing image data organization model based on cloud computing(RSC-DOM) was put forward. A concept about Virtual Disk Space (VDS) was adopted to meet the requirement using direct addressing method in distributed storage environment. The distributed storage architecture, VDS file architecture in cloud computing were analyzed, and remote sensing storage architecture was built. Experimental results show that the proposed model is convenient to search, and its efficacy is greater than the traditional Oracle management style.

**Keywords** Remote sensing data, Cloud computing, Distributed file system, Parallel retrieval, Direct addressing

我国已经逐步形成了天地一体化的遥感应用体系,各行业和科研机构已积累了大量的高分辨率遥感影像数据,遥感数据量级逐渐从 GB 级向 TB 级、PB 级发展。伴随着国家中长期发展规划中高分辨率对地观测系统重大专项的实施,如何进行更加有序高效的存储和管理海量遥感数据、实现遥感信息的共享及快速应用已经成为空间信息科学领域研究和业务应用机构重点关心的问题之一。作为一种新型的计算模式,云计算是多种技术混合演进的结果,成熟度较高,也是海量数据管理的一种趋势。本文结合传统的影像金字塔分块存储的思想,提出了一种支持云计算的海量遥感数据存储模型——RSC-DOM,并依照该模型搭建了遥感数据综合管理系统,该系统具有可扩展的分布式存储结构和访问处理并行执行的特点,可以在一定程度上提高数据管理系统的 I/O 服务性能,并且具有较好的稳定性和适用性。

## 1 遥感影像数据管理现状

• 采用商业数据库管理的方式

对于轻量级的遥感影像存储,目前遥感商业软件主要采

用成熟的 DataBase Management System(DBMS)技术来管理数据<sup>[1,2]</sup>,如 ArcGIS, TerraServer 等软件都是将影像数据上传到数据库中进行统一管理<sup>[3]</sup>。然而,该方式的缺点也是显而易见的:在有的情况下,数据库本身并不适合存储非结构化的遥感影像数据,尤其是高分辨率遥感数据(单景可达 GB 级),如果将这些影像存储在数据库中,数据库将变得异常庞大,并且一旦数据影像更新频繁,数据库管理就会变得非常被动;此外,采用 DBMS 技术还会给系统开发带来一定的影响,使系统开发规模受制于 DBMS 系统所提供的管理能力。

• 采用文件系统与数据库相结合的方式

采用分布式文件存储和大型关系型数据库相结合的方式是目前比较常用的一种解决方案<sup>[4,5]</sup>,欧空局 ESA 数据中心、中国资源卫星应用中心、国家卫星气象中心等部门的数据管理方式都属于这个范畴<sup>[6]</sup>。该方法主要通过文件系统来组织存储影像文件,利用关系型数据库管理影像的元数据信息,但是在面向海量影像数据时,大量的时空检索和实时变化的数据变更需求往往会使关系型数据库成为整个系统的瓶颈。数据库服务器一旦出现故障,将会导致存储设备中的数据无法

到稿日期:2012-09-16 返修日期:2013-01-04 本文受国家重大科技专项高分辨率对地观测系统项目(E0101/1010/01/10, E0104/1112/XT-002),国家自然科学基金(60973126)和国防科技工业民用专项科研技术研究项目(科工技 2010A03A1000)资助。

赖积保(1982-),男,博士,副教授,主要研究方向为空间数据处理、可信网络与信息安全, E-mail: laijibao@163.com。

读取,这样整个系统性能将会在很大程度上取决于数据库服务器的性能;同时随着数据规模的增大,检索效率将降低,这在一定程度上制约了系统的扩展。该存储方式由于受制于架构本身,无法很好地实现扩展,因此难以满足数据增长需求。

• 采用影像数据的直接寻址方式

数据直接寻址方式常用于处理内存单元的数据,因其快速定位、脱离关系型数据库等特点,被引入到遥感数据的组织应用中。遥感影像数据直接寻址是指通过已知的遥感数据信息,如文件名、元数据信息等,直接构建出数据存放路径,从而跳过海量数据检索等高耗时的步骤,达到数据快速定位与获取的目的<sup>[7]</sup>。这种方式常见于商业影像地图服务平台,例如WorldWind、Google Earth 和 Bing Maps 等。以 Google 地图的影像瓦片地图缓存库(Tile Map Cache)为例,所有影像数据采用金字塔模型组织,每张影像瓦片数据采用如图 1 所示的存储方式进行组织。当用户请求时,用户可通过客户端获取到每张影像瓦片当前图层、分辨率层级以及空间范围经纬度换并算成相应的瓦片行号与列号,并按照如图 1 所示的方式直接构建出数据存放路径,从而实现目标数据的直接寻址和快速获取<sup>[8-11]</sup>。

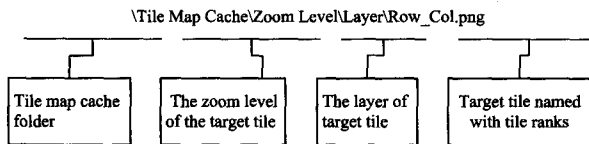


图 1 直接寻址方式下的文件目录组织结构

这种方式对于组织和管理海量遥感影像数据具有一定的优势,但同时也存在几点不足:1)数据以地图服务为主导致其在数据共享方面存在欠缺,不具备数据模糊检索功能;影像数据直接寻址主要是为缓存库设计的,在未知部分条件信息情况下,因无法构建出数据存储完整路径而无法直接定位数据。2)不适应分布式可扩展的存储体系架构;直接寻址方法因其基于实现约定的存储规则,一般适用于静态存储系统(单机或固定的多机存储系统),不能直接适用于存储站点动态变化的分布式可扩展的存储体系架构。3)无法支持多用户的并发访问。

综上,本文在详细分析云计算环境下海量遥感数据存储的实际需求基础上,通过对遥感数据直接寻址方法进行改良设计,研究一种云计算环境下遥感影像数据组织与管理模型(RSC-DOM)。

## 2 RSC-DOM 要素分析

### 2.1 支持弹性扩展的分布式存储架构

虚拟化技术为云计算提供弹性、可扩展、易于管理的能力<sup>[12]</sup>。实际上云计算就是一个虚拟化的计算资源池,用来容纳所有独立的工作模式,每个用户都有一个独立的计算执行环境。为了使遥感影像直接寻址方法支持分布式可扩展的存储体系架构,引入了虚拟磁盘空间(VDS)思想,如图 2 所示,传统的影像直接寻址方法只适应于静态存储系统,此文中将静态的存储系统划分为  $M$  个虚拟磁盘空间,相当于所有的数据存储在一个由  $M$  个虚拟磁盘空间组成的“一个静态”的虚拟系统空间当中。在逻辑上,存储系统是静态的,物理上,存储系统是由  $M$  个 VDS 构成的, $M$  个 VDS 映射到  $N$  个分布式的

存储站点上(其中  $N \leq M$ )。

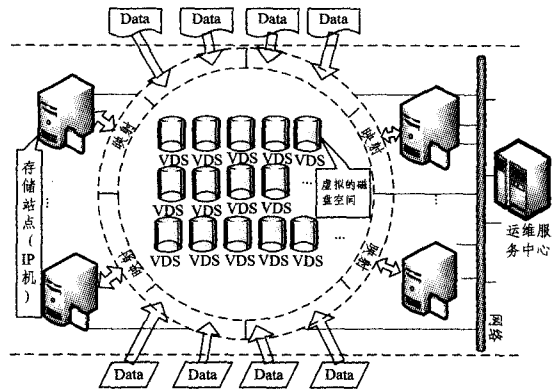


图 2 支持 VDS 的存储结构

对于用户而言,所有 VDS 构成了一个完整的数据存储空间,而实际上,每个 VDS 都分别部署在确定的分布式存储站点上,VDS 和分布式存储站点通过部署在运维服务站上的映射表进行映射关联,如表 1 所列。存储站点的个数完全取决于用户的实际需求,并且可用存储站点的个数可增也可减,一旦发生变动,可通过站点间的 VDS 迁移实现系统存储站点的动态扩增与变更,这种方式使分布式存储系统具备一个良好的可扩展性。

表 1 VDS 与 D-SSite 关系映射表

| 属性列名称      | 是否主键 | 注释               |
|------------|------|------------------|
| D-SSite ID | 主键   | 存储站点的 ID 号       |
| IP Address |      | 存储站点的 IP 地址      |
| VDS_List   |      | 部署在存储站点上的 VDS 队列 |

对于一个确定地理位置的数据切片,该切片所在的行列号直接定位了其所属的 VDS 虚拟空间号。文中采用的定位方法是用行号列号之和除以一个确定的值,最后得到的模数为虚拟磁盘空间号。这种用取模确定数据存放位置的方式充分考虑了数据存储时会出现的数据均衡分配问题,可以避免所有数据集中在某些 VDS 内。获取 VDS 序号  $m$  的计算公式(TileRow、TileColumn 分别为瓦片的行列号, $M$  为 VDS 总个数)如式(1)所示:

$$m = (\text{TileRow} + \text{TileColumn}) \% M \quad (1)$$

### 2.2 分布式环境中的存储站点结构

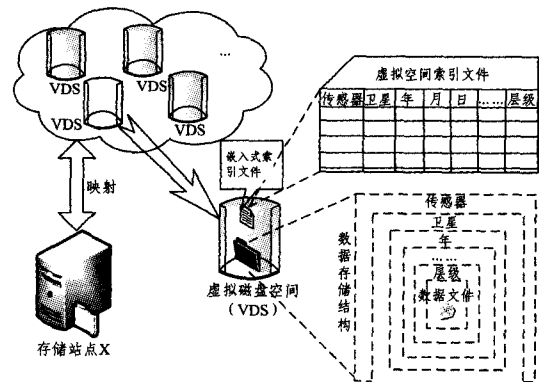


图 3 存储站点结构图

为了使遥感影像直接寻址方法支持数据模糊检索,文中对虚拟磁盘空间结构进行了适应性改进,如图 3 所示,每个虚拟磁盘空间 VDS 都由一个嵌入式索引文件(EIF, Embedded Index File)<sup>[13]</sup> 和一个数据存储结构(DSI, Data Storage Infra-

structure)组成。每个数据文件的属性信息(直接寻址的路径信息)都在嵌入式索引文件 EIF 中进行记录,并创建索引,索引文件记录随着数据的变更而同步更新。

每个存储站点就是一个小型的监控管理端,存储站点可以对存储在本站点的所有的 VDS 进行管理和维护。存储站点可以进行实时的数据更新,并且可以对本站点机上的 VDS 进行检索等,支持大流量的并发访问,在这种情况下单个存储站点类似于一个存储云端。

### 2.3 虚拟磁盘空间内部的文件存储结构

继承原有的影像数据直接寻址的组织方式,采用以目标文件的数据属性组织数据存放目录,在 VDS 内部数据存放的目录组织模型按照“VDS 号\传感器类型\卫星类型\年\月\日\.\金字塔层级号\被存放的目标数据”来组织遥感数据。采用这种模式可以在检索时直接利用文件属性定位索引,从而尽可能地降低检索耗时。按照这种设计思想,所有 VDS 被映射到不同 IP 地址的存储站点上,并且每个存储站点对所存储在本站点的 VDS 进行管理和维护,执行系统中所有对数据的操作任务。图 4 给出了文件目录组织结构。

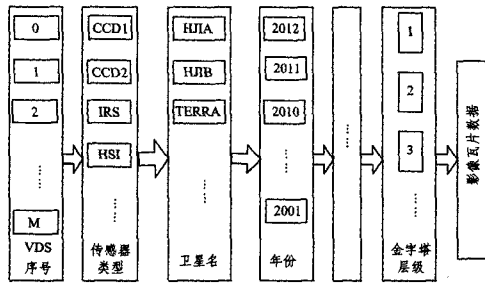


图 4 VDS 内部文件组织结构图

## 3 RSC-DOM 构建

### 3.1 RSC-DOM 架构

图 5 给出了 RSC-DOM 结构,其是在上述提及的可扩展的分布式体系架构、支持并行检索的存储站点结构以及支持可直接寻址的虚拟磁盘空间等各个要素的基础上提出的。

RSC-DOM 可以形式化地描述为:

$$RSC-DOM = \{MServer, D-SSite, VDS, EIF, DSI\}$$

运维服务站点(MServer)作为整个分布式存储系统的中心控制台,主要负责以下几个功能任务:1)D-SSite 的监控与管理;2)模糊检索任务的分发与集成;3)D-SSite 与 VDS 的映射与迁徙;4)故障处理,即故障站点 VDS 的暂存与服务。分布式存储站点(D-SSite)是整个分布式存储系统的物理存储站点,每个 D-SSite 部署多个 VDS,通过 MServer 对 VDS 的迁徙,实现支持站点动态扩展和变更。虚拟磁盘空间(VDS)是整个分布式存储系统的逻辑上的存储组织单元,由嵌入式索引文件(EIF)与数据存储结构(DSI)两部分组成。嵌入式索引文件(EIF)是 VDS 的数据索引文件,支持 SQL 检索,用以实现 VDS 内数据的模糊检索功能,由 MServer 统一驱动,多个 VDS 内部的 EIF 可以同步执行检索,从而使系统具备了并行检索的能力。数据存储结构(DSI)是 VDS 内部的数据文件目录层,按照遥感影像数据直接寻址模型组织构建,实现目标数据文件的直接定位和快速获取。

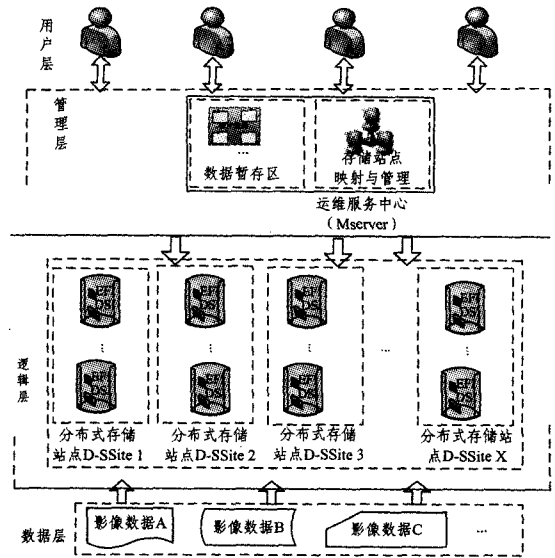


图 5 基于云计算的影像数据存储模型框架

### 3.2 基于 RSC-DOM 的并行检索模式

针对本文设计的可并行检索影像数据组织模型,用户的并行检索访问模式如图 6 所示。

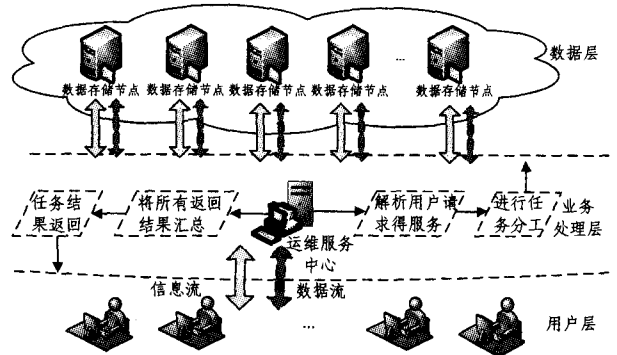


图 6 基于分布式架构的并行检索模式

在 RSC-DOM 中,每个存储站点都是具有自我管理和控制功能的。所有来自客户端的服务请求被解析,运维服务中心根据服务请求下达任务命令,并将任务同时分发给各个存储站点。存储站点一旦收到来自于运维服务中心的命令,就会执行相应的操作:自动上传等待存储的数据、检索用户请求的目标数据以及下载用户请求的目标数据等。各个存储站点同时执行任务,互不干涉,各个存储站点执行任务完毕之后将执行结果返回给运维服务中心,最终结果都是通过运维服务中心反馈给用户。RSC-DOM 并行检索模式下检索算法的复杂程度与用户所提交的检索类型有关,若为模糊检索,则执行全模糊检索(类似 select \*),通过多级并行模式来提高模糊检索的速度,也即控制中心的任务操作和所有存储站点之间的任务并行执行;若为精确检索,则以用户所提交的检索条件进行检索,确定数据的存储站点集合,对所有的目标存储站点间进行并行检索。

## 4 实验案例与分析

### 4.1 方案设计

本文所设计的支持云计算的遥感影像数据组织与管理架构在国家 HJ 星数据行业推广应用示范项目中得到了很好的应用。该项目处理对象为 HJ 星遥感影像数据,整个项目包含数据预处理、数据存储管理、信息产品生产、实验验证、数据

分发与应用服务等一系列业务流程。项目的日常业务运行处理中涉及到了大量的内部数据交换需求,如数据入库、原始数据请求、信息产品入库等,采用文中所设计的 RSC-DOM 架构对 HJ 星项目的数据存储管理分系统进行实现。为了对比分析系统的性能,设计了 3 种不同的实验方案,所有的实验数据全部为标准的遥感影像金字塔切片数据。

#### (1) 实验方案 1

实验方案 1 采用 RSC-DOM 架构,整个系统是由 1 台运维服务器和 4 台存储站点机组成。其中每台存储站点机存储的数据约为 524160 条,整个系统存储的总数据一共有 200 多万条数据。实验中所使用的机器均是普通的 PC 机,具体的配置为:CPU 为 Intel 酷睿四核 2.5GHz;内存大小为 4GB;硬盘的转速为 500G 7200 转/分;操作系统为 Window7 专业版 64 位;涉及到的软件包括 VS2010 和嵌入式索引文件 SQLite。

#### (2) 实验方案 2

实验方案 2 采用 RSC-DOM 架构,与方案 1 不同的是整个系统是由 1 台运维服务器和 8 台存储站点机组成的。其中每台存储站点机存储的数据约为 524160 条,整个系统存储的总数据一共有 400 多万条数据,其数据总量是方案 1 的两倍。方案 2 使用的机器软硬件配置与方案 1 相同。

#### (3) 实验方案 3

实验方案 3 采用的是数据库和分布式文件系统相结合的架构。Oracle 数据库中一共存储有 500 多万条数据的信息记录,与记录所对应的影像分布式存储在若干个存储站点机上。所使用的机器硬件配置与方案 1 相同,软件配置主要包括 VS2010 和 Oracle 11g。

### 4.2 实验结果

对于所有的存储组织管理系统来说,检索是体现系统性能的最为关键的一个因素。本次实验中,所有的实验方案均通过检索任务进行测试,方案 1 采用了 4 个存储节点,用单线程测试结果,如表 2 所列。方案 2 采用了 8 个存储节点,用单线程测试结果,如表 3 所列。方案 3 是基于 Oracle 数据库的单线程测试结果,如表 4 所列。

表 2 方案 1 测试结果表

| 总记录数(条)    | 检索记录(条)    | 检索时间(秒)  |
|------------|------------|----------|
| 524160 * 4 | 131040 * 4 | 4.46875  |
|            | 262080 * 4 | 9.625    |
|            | 393120 * 4 | 14.28125 |
|            | 449280 * 4 | 15.70313 |
|            | 524160 * 4 | 16.6875  |

表 3 方案 2 测试结果表

| 总记录数(条)    | 检索记录(条)    | 检索时间(秒)  |
|------------|------------|----------|
| 524160 * 8 | 131040 * 8 | 6.26562  |
|            | 262080 * 8 | 12.25    |
|            | 393120 * 8 | 15.62188 |
|            | 449280 * 8 | 16.17187 |
|            | 524160 * 8 | 17.54687 |

表 4 方案 3 测试结果表

| 总记录数(条) | 检索记录(条) | 检索时间(秒)   |
|---------|---------|-----------|
| 5241600 | 524160  | 28.20079  |
|         | 1048320 | 56.30775  |
|         | 1572480 | 85.869    |
|         | 1797120 | 96.95312  |
|         | 2096640 | 112.34525 |

实验结果如图 8 所示,通过对比可以得到以下结论:当系统处理小规模量数据时,本文提出的 RSC-DOM 在检索方面的优势并不明显,但是当数据量达到百万级别时,RSC-DOM 的优势是比较明显的。传统依赖于 Oracle 的数据管理系统的检索速度会随着数据量的增长而变慢,数据库服务器最终将成为制约系统规模扩展的主要因素。由于 RSC-DOM 的设计理念是将所有检索任务分发给所有存储站点进行并行处理,因此其不存在瓶颈服务器问题,检索速度可以成倍地提高;当系统存储规模扩大时,采用 RSC-DOM 架构的系统的检索速度并未受到明显影响,这也充分证明该模型可以很好地支持动态扩展。实际上,RSC-DOM 模型不仅继承了原有分布式文件系统的优点,而且强化了存储站点的对外服务功能,能更大程度上减弱控制节点的瓶颈压力。

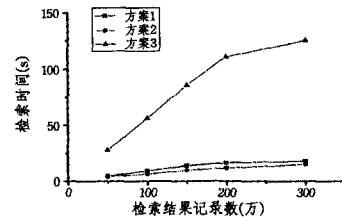


图 8 测试结果对比图

**结束语** 将云计算思想运用到海量遥感影像数据的组织和管理是技术发展的一种必然趋势。本文提出了一种基于云计算的海量遥感影像数据组织管理模型(RSC-DOM),解决了传统遥感影像数据的存储管理对数据库的依赖问题,详细分析了支持弹性扩展的 VDS 结构、具有网格功能的存储站点结构和支持直接寻址思想的文件目录组织结构,实现了海量遥感影像数据的分布式组织和管理。实验结果表明该模型在检索效率方面具有一定的优势。但是由于前期测试偏重于系统检索性能方面,因此后期需要进一步验证该模型在其他方面的性能指标。

### 参考文献

- [1] 刘伟,刘露,陈幸,等.海量遥感影像数据存储技术研究[J].计算机工程,2009,35(5):236-240
- [2] 吕雪峰,程承旗,龚健雅,等.海量遥感数据存储管理技术综述[J].中国科学:技术科学,2011,41(12):1561-1573
- [3] Barclay T,Chong W,Gray J. TerraServer Bricks-a high availability cluster alternative[R]. Microsoft Technical Report MSR-TR-2004-107. 2004
- [4] 马荣华,黄杏园.大型 GIS 海量数据分布式组织与管理[J].南京大学学报,2003,39(6):836-843
- [5] Wu X,Guo J,Wallace J,et al. Evaluation of CBERS image data: geometric and radiometric aspects[J]. Inn Rem Sens Phot,2009,2:91-103
- [6] Nakano T,Kawase Y,Yamaguchi T,et al. Parallel computing of magnetic field for rotating machines on the Earth Simulator[J]. IEEE Trans Magn,2010,46(8):3273-3276
- [7] Pendleton C. The World according to Bing[J]. IEEE Comp Gra Appl,2010,30(4):15-17
- [8] Sample J T,Loup E. Tile-base geospatial information system: principle and practices[M]. New York, Springer,2010:23-200

(下转第 115 页)

果如图 1 所示, EigenRep 信任模型由于没有对节点的欺骗行为做出信誉惩罚修正, 因此容易受到恶意节点的攻击, 在恶意节点增多后, 交易成功率下降较快。本文引进了时间衰减因子  $N(t)$ 、集中度衰减  $H_i$ 、恶意欺骗惩罚衰减  $p$ , 能有效地修正节点的全局信誉, 交易成功率明显优于 EigenRep 模型。

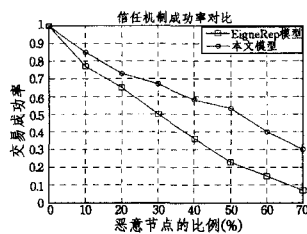


图 1

### 3.2 系统性能开销

实验环境同上节, 模拟 100 个节点的 1000 次交互, 其中恶意节点数设为 10 个, 忽略文件下载的耗时, 只计算信任计算的时间。实验结果如图 2 所示, 由于 EigenRep 每次都需要迭代计算全网络范围的全局信誉, 系统开销比较大, 一个节点的 1000 次交互需要将近 200ms; 本文的策略结合了风险控制, 1000 次交互不到 100ms, 系统开销改进明显。

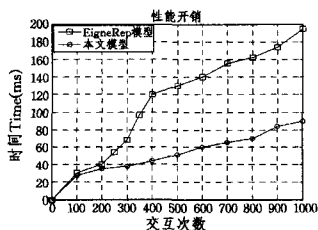


图 2

### 3.3 系统实现

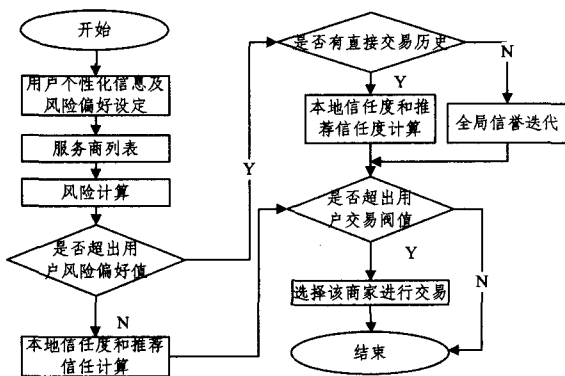


图 3

系统的总体流程图如图 3 所示。当消费者设定好自己所需要的服务后, 系统会自动搜索网络中提供该服务的商家, 根据交易的风险等级选择相应的信任计算策略来计算它们的信

誉, 从中选择最优的商家来进行交易。

该系统使用 Java 语言开发, 开发工具是 MyEclipse 9.0, 数据库是 MySQL 5.5.27。系统界面如图 4 所示。

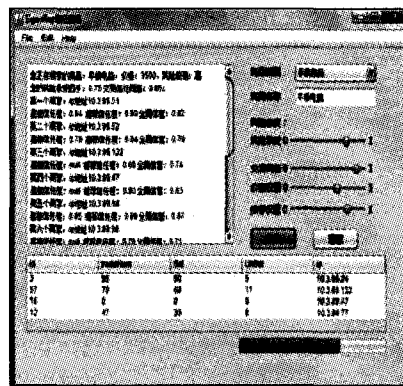


图 4

结束语 在 EigenRep 信任模型的基础上, 针对模型没有对信誉做出惩罚修正的缺点, 本文引入了多个影响因子, 对节点的全局信誉做出修正, 使得节点的全局信誉更客观, 能有效抵御恶意节点的欺骗行为。针对模型系统开销大的问题, 本文提出了一种改进的信任策略, 实验证明该策略能在有效降低性能开销的同时保证交易成功率。最后, 利用该策略实现了一个电子商务平台。

### 参考文献

- [1] Kamvar S D, Schlosser M T. EigenRep: Reputation Management in P2P Networks[C]// Lawrence S, ed. Proc. of the 12<sup>th</sup> Int'l World Wide Web Conf (WWW 2003). Budapest: ACM Press, 2003:123-134
- [2] Xiong L, Liu L. PeerTrust: Supporting reputation-based trust for peer-to-peer electronic communities[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(7): 843-857
- [3] 窦文, 王怀明, 贾焰, 等. 构造基于推荐的 Peer-to-Peer 环境下的 Trust 模型[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 571-583
- [4] Marsh S. Formalizing trust as a computational concept [D]. Department of Computer Science and Mathematics, University of Stirling, Stirling, Scotland, 1994
- [5] 汪丽芳, 王茜. 一种改进的基于向量的 P2P 电子商务信任模型 [J]. 计算机科学, 2008, 35(8): 300-303
- [6] 蒋黎明, 张琨, 徐建, 等. 信任网络中的依赖关系分析与消除[J]. 计算机科学, 2011, 38(6): 70-73
- [7] 姜守旭, 李建中. 一种 P2P 电子商务系统中基于声誉的信任机制[J]. 软件学报, 2007, 18(10): 2551-2563
- [8] 甘早斌, 丁倩, 李开, 等. 基于声誉的多维度信任计算算法[J]. 软件学报, 2011, 22(10): 2401-2411

(上接第 83 页)

- [9] Guo W, Gong J Y, Jiang W S, et al. OpenRS-Cloud: a remote sensing image processing platform based on cloud computing environment[J]. Sci China Tech Sci, 2010, 53(suppl. 1): 221-230
- [10] Boschetti L, Roy D P, Justice C O. Using NASA's World Wind virtual globe for interactive internet visualization of the global MODIS burned area product[J]. Int J Remote Sens, 2008, 29(11): 3067-3072
- [11] Kempler S, Lynnes C, Vollmer B. Evolution of information mana-

- gement at the GSFC earth sciences(GES) data and information services center(DISC), 2006-2007[J]. IEEE T Geosci Remote, 2009, 47(1): 21-28
- [12] 虚拟化专题写作组. 系统虚拟化: 原理与实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009
- [13] 杨任农, 白娟, 等. 基于 SQLite 的 LOD 模式海量影像数据管理系统的设计与实现[J]. 计算机工程与科学, 2009, 10(33): 140-144