

基于模糊预测的数据复制优化模型的研究

王理想¹, 刘 波¹, 林伟伟²

(1. 华南师范大学 计算机学院, 广东 广州 510631;

2. 华南理工大学 计算机科学与工程学院, 广东 广州 510000)

摘 要:云数据处理系统中广泛采用了多数据副本复制技术,以防止数据丢失,如果数据复制的份数或位置不当,就会引起数据的可用性小于用户期望的数据可用性或存储空间的浪费(如复制份数过多)。针对该问题,经研究提出了一种基于模糊预测的数据复制优化模型,该模型由模糊预测模块和复制优化模块组成。模糊预测模块以节点信息(CPU信息、节点带宽信息、内存信息和硬盘信息)作为输入,预测出节点的可用性;复制优化模块把节点的可用性和用户期望的数据可用性作为输入,计算出在满足用户期望情况下数据复制的份数和位置。提出的复制优化模型能根据云数据存储系统中数据节点可用性实现动态的优化数据复制,能获得较高的存储性价比。模拟实验中基于模糊预测的数据复制优化模型策略需要的存储空间分别是Hadoop策略的42.62%,42.84%,但文件的平均可用性可达到88.69%,90.54%,表明提出的基于模糊预测的复制模型实现了在节省存储空间的同时保证了文件可用性。

关键词:模糊逻辑;数据复制;数据节点;可用性

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)12-0082-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.12.020

Research on Data Replication Optimization Model Based on Fuzzy Forecasting

WANG Li-xiang¹, LIU Bo¹, LIN Wei-wei²

(1. College of Computer, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;

2. School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510000, China)

Abstract: The use of multiple data copies is widespread in cloud data processing systems in case of data loss. If the number of data copies or the position of data replication is inappropriate, there's a chance that could cause the availability of data to be unmatched the expectation and a waste of storage spaces, for instance, the copy number is too high. As with this fact, a data replication optimization model based on fuzzy forecasting is presented. It consists of fuzzy forecasting and data replication optimization. The fuzzy forecasting makes use of the information of a node, which includes information of CPU, bandwidth, memory and hard drive, to forecast the availability. Replication optimization consumes the availability of nodes and user's expectation to calculate the number of data copies and replication position. This model could dynamically optimize data replication through the availability of nodes in a cloud data storage system, which achieves a good performance price tradeoff for data storage. Simulation experiment data replication strategy optimization model based on fuzzy prediction need storage space is Hadoop strategy respectively 42.62%, 42.84%, while the average availability of documents can reach 88.69% and 90.54%, showed that the replication model based on fuzzy prediction realized in saves storage space at the same time to ensure the file availability.

Key words: fuzzy logic; data replication; data node; usability

0 引言

云计算是将计算机或其他设备的资源、软件和信息作为一种可度量的服务通过互联网提供给使用者。

云计算能够提供计算、软件和存储服务,当一个云计算系统运算和处理的核心是大量的数据存储和管理时,这个云计算系统就需要配置大量的存储设备,云计算

收稿日期:2013-03-10

修回日期:2013-06-14

网络出版时间:2013-09-29

基金项目:广东省自然科学基金项目(10451064101005155, S2011010001754);广东省科技计划项目(2010B010600032)

作者简介:王理想(1986-),男,硕士研究生,研究方向为分布式系统;刘 波,博士,教授,研究方向为分布式计算、云计算;林伟伟,通信作者,博士,副教授,研究方向为分布式系统。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130929.1544.045.html>

系统就演变为一个云存储系统^[1-3]。

在云存储系统中采用数据复制技术不但可以提高数据的可用性,而且可以改进数据密集型应用的并发访问性能。但是,数据复制的份数不当(太多),也会造成系统存储空间的浪费、数据维护开销大、过多地占用网络传输带宽等问题。在目前数据复制技术研究中提出的策略有:HDFS 的机架感知技术^[4];Best Client 副本创建策略、瀑布副本创建策略、缓存加瀑布创建策略和快速传播副本创建策略,这些策略基本依据副本访问频率和访问来源来改变副本的份数^[5]。但上述策略都没有考虑到节点的可用性问题,不同节点所处的环境或配置不同则其可用性必将不同,其上存放的数据文件的可用性也必将不同,那么在环境优越和节点配置较高的云存储环境中和在环境低劣并且节点配置较低的云存储环境中采用同种复制策略明显是低效的。

模糊逻辑的基本理论是由美国控制论专家 Lotfi Zadeh 在 1965 年提出的,现在已经广泛应用于工业控制领域,对非确定性的、不精密的、没有确定模型的问题的处理表现出很好的性能^[6]。如:使用模糊逻辑预测出节点的拥塞水平^[7];在自动化资源管理系统中^[8-9]、在节点负载均衡管理系统中^[10]的应用。

针对上述问题,该文提出利用模糊预测方法获得节点可用性,并在此基础上给出了一种基于节点可用性的复制优化模型,该模型包括模糊预测模块和复制优化模块。

1 基于模糊预测的数据复制优化模型

模糊逻辑是一种以人的直觉认识进行推理的过程,知识库、模糊逻辑推理和输入输出接口三者构成完整模糊控制器的总体^[11]。

因数据文件存储在数据服务器节点上,数据服务器宕机则该机的文件不可用,所以数据服务器节点的可用性决定了该机数据文件的可用性,根据此推理用数据服务器的可用性表示文件的可用性。因此根据数据服务器节点的可用性和用户期望的数据可用性可以算出数据的复制份数和位置,实现不同云存储环境不同的配置策略,提高资源利用的性价比,但节点的可用性是一个模糊值,所以使用模糊逻辑理论,设计了一个模糊预测控制器(模糊预测模块)。

模糊预测模块和组合优化模块结合在一起就构成了文中提出的基于模糊预测的数据复制优化模型。该模型以用户的数据期望可用性和节点的 CPU、Memory、Bandwidth 和 Harddisk 信息以及节点位置作为输入。模糊预测模块以节点信息作为输入,输出节点可用性;复制优化模块以用户期望数据可用性、节点位置

和模糊预测模块的输出作为输入,经计算输出数据复制的份数和节点的位置。将复制份数和存储位置传递给分布式文件复制策略完成具体的复制。基于模糊预测的节点可用性复制优化模型如图 1 所示。

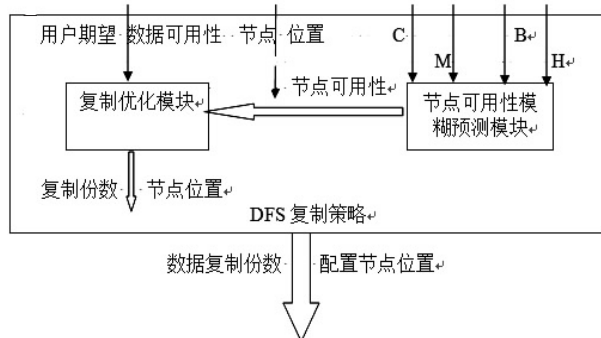


图 1 基于模糊预测的节点可用性复制优化模型

2 节点可用性模糊预测模型

数据节点可用性是一个模糊值,为了预测节点的可用性,下面结合模糊逻辑理论设计出预测节点可用性的二级模糊控制器模型。

节点可用性受节点的 CPU、Memory、Bandwidth、Harddisk 等因素的影响,而各因素又有多个性能指标,如 CPU 有总频率、利用率和等待队列长度等,由模糊逻辑知识可知如果采用一个模糊控制器的话模糊规则设计起来将复杂而繁多^[12],因此设计二级模糊预测系统:第一级有四个模糊控制器:CPU、Memory、Bandwidth 和 Harddisk 模糊控制器,分别预测出 CPU、Memory、Bandwidth 和 Harddisk 的可用性;第二级是节点可用性模糊控制器,它将第一级的输出作为自己的输入,预测出节点的可用性。

2.1 第一级模糊控制系统

第一级模糊系统包括四个模糊控制器,分别是 CPU 可靠性模糊预测控制器、Memory 可靠性模糊预测控制器、Bandwidth 可靠性模糊预测控制器、Harddisk 可靠性模糊预测控制器。它们的性能参数为 CPU (Frequency, Ratio, Queue; Cpu_A), 即 CPU (总频率, 利用率, 等待队列长度; CPU 可用性); Memory (Total, Ratio, Swap; Memory_A), Bandwidth (Total, Ratio, Loss; Bandwidth), Harddisk (Total, Ratio, Speed; Harddisk_A)。

CPU 可靠性模糊控制器介绍如下:

1) 输入输出变量。

影响 CPU 可用性的参数有 CPU 总频率 (Frequency)、CPU 占用率 (Ratio)、CPU 等待队列长度 (Queue), 各个变量又有低、中、高三种状态, 分别用 low、medium、high 表示。

Frequency, Ratio, Queue; Cpu_A 都被划分为 3 个

隶属度函数 low、medium、high,代表了主频、利用率、等待队列和 CPU 的状态。Frequency 的隶属度函数是一种混合型隶属度函数,包括高斯型、梯形、S 状隶属度函数,分别描述 low、medium、high,表达式分别为^[13-14]:

$$\text{Frequency}_{\text{low}} = \text{gaussmf}(x, [\text{sig}, c])$$

$$[\text{sig} = 3.94, c = 0.1]$$

$$\text{Frequency}_{\text{medium}} = \text{trapmf}(x, [a, b, c, d])$$

$$[a = 6, b = 9, c = 10, d = 13]$$

$$\text{Frequency}_{\text{high}} = \text{smf}(x, [a, b])$$

$$[a = 8.92, b = 16.9]$$

高斯和梯形隶属度函数对应的数学表达式如下:

$$f(x, \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

$$f(x; a, b, c, d) = \max(\min(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}), 0)$$

类似也可以设计变量 CPU 占用率 Ratio 和 CPU 的等待队列长度的隶属度函数。

2) 模糊规则。

对 CPU 来说,总频率 Frequency 对 CPU 可用性的影响大于 Ratio 和 Queue 对 CPU 的影响,在模糊规则的设计中考虑到了这点,并且 3 个输入变量都有 3 隶属度函数,所以模糊规则如下所示^[13]:

Rule₁:If(Frequency is low) then (CPU is low)

Rule₂:If(Frequency is medium) then (CPU is medium)

Rule₃:If(Frequency is high) then (CPU is high)

Rule₄:If(Frequency is medium) and (Ratio is high) then (CPU is low)

Rule₅:If (Frequency is medium) and (Queue is high) then (CPU is low)

Rule₆:If(Frequency is high) and (Ratio is high) then (CPU is medium)

Rule₇:If(Frequency is high) and (Queue is high) then (CPU is medium)

Rule₈:If(Frequency is high) and (Ratio is medium) and (Queue is medium) then (CPU is medium)

Rule₉:If(Frequency is high) and (Ratio is high) and (Queue is high) then (CPU is low)

经过模糊推理后得到的是模糊值,不能直接使用,要经过逆模糊化过程。采用 wta 逆模糊化过程,经过逆模糊化就可以得到反映 CPU 可用性的精确值被使用。

其他三个模糊控制器类似。

2.2 第二级模糊系统

节点可用性模糊预测控制器有四个输入变量和一个输出变量。输入变量分别是 CPU 可用性、Memory 可用性、Bandwidth 可用性、Harddisk 可用性;输出变量

是节点的可用性。根据第一级模糊系统设计出第二级模糊系统,完成模糊控制模块的设计。

3 数据复制优化模型

根据用户要求的数据可用性,将数据文件存储一份或多份,确定数据服务器节点个数和位置的步骤如下:

Step0: $i=0$, 节点组中最多节点个数为 i_{Max} 。

Step1: $i++$, 从 n 个节点中拿出 i 个不同节点,组合成一个节点组 $\text{NG} = [\text{Node1}, \text{Node2}, \dots, \text{Node}i]$, 则该节点组的可用性可用等式(1)求出:

$$E_{\text{NG}} = 1 - (1 - E_{\text{Node1}}) * (1 - E_{\text{Node2}}) * \dots * (1 - E_{\text{Node}i}) \quad (1)$$

由排列组合知识可知,从 n 个不同节点找出 i 个不同节点的组合数为 $C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$, 也即节点个数为 i 个的不同节点组的个数。求出所有不同节点组的可用性,并组成节点组可用性向量 $\mathbf{E_NG}$, 则向量 $\mathbf{E_NG}$ 可表示为: $\mathbf{E_NG} = [E_{i_1}, E_{i_2}, \dots, E_{i_j}, \dots, E_{i_{C_n^i}}]$, 其中, E_{i_j} 代表由 i 个节点组成的节点组中第 j 个节点组的可用性。

求出 E_{i_j} 的同时需要记录该节点组中 i 个节点的数据信息,包括节点位置和节点可用硬盘容量等,并将其作为输入执行步骤 2。

Step2: 遍历节点组可用性矩阵 $\mathbf{E_NG}$, 查找是否有满足: 文件的用户期望可用性小于节点组的可用性, 且文件的大小小于该节点组对应的所有节点的可用硬盘容量。若存在, 为了提高节点利用率, 则将满足要求的并且可用性最小的节点组和其对应的所有数据节点作为结果, 并跳到第 4 步输出结果, 即输出刚好能满足用户需求可用性的节点数据; 如不存在, 执行步骤 3。

Step3: 判断是否到达截止条件: $i == i_{\text{Max}}$, 若相等, 则在节点组可用性矩阵 $\mathbf{E_NG}$ 中找到最大的节点组可用性和其对应的所有节点作为结果, 执行步骤 4 输出结果; 若不等, 则跳到第 1 步。

Step4: 输出结果。

4 实验

为了评价基于模糊预测的数据复制优化模型(FDOM)的性能, 用 Matlab 模拟了云存储环境^[15-18], 在这个模拟的云存储环境上验证这个模型, 并将它与 Hadoop 中复制三份的策略做比较。

在模拟环境中对数据节点的参数描述如下: CPU 的最大主频为 20 GHz、最大占用率为 1、等待队列的最大长度为 20; Memory 的最大内存为 50 G、最大占用率为 1、交换到硬盘上的数据最大为 50 G; Bandwidth 的

最大值为 1 000 M、占用率最大为 1、丢包率最大为 1; Harddisk 的最大容量为 2 000 G、利用率最大为 1、最大转速为 20 kn/s、最大文件大小为 500 M、最小文件大小为 100 M 等。另外如节点的数量 num、节点平均性能等在不同情况下的模拟实验中单独给出。

实验 1:首先模拟环境生成 500 个文件数据,用户期望的数据可用性在区间[0.75,1]内;然后逐步增加数据节点的数量,并计算每次数据节点数量增加后 FDOM 消耗的存储总量和 Hadoop 策略消耗的存储总量;计算随着节点数量的增加,两种情况下文件平均可靠性(见图 2 和图 3)。实验结果表明,FDOM 策略需要的存储空间是 Hadoop 策略的 42.62%,但文件的平均可用性可达到 88.69%。

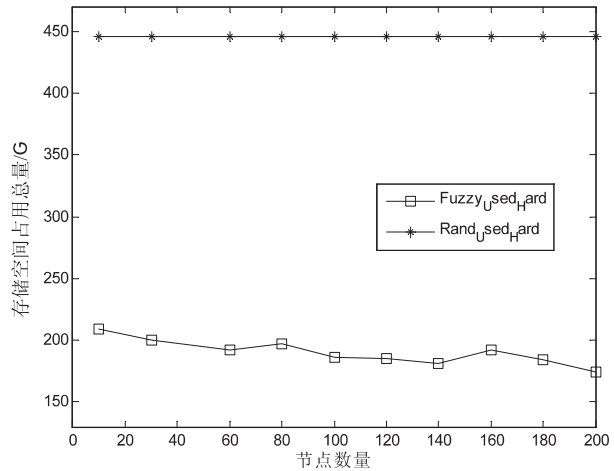


图 2 节点数量增加时消耗存储空间对比图

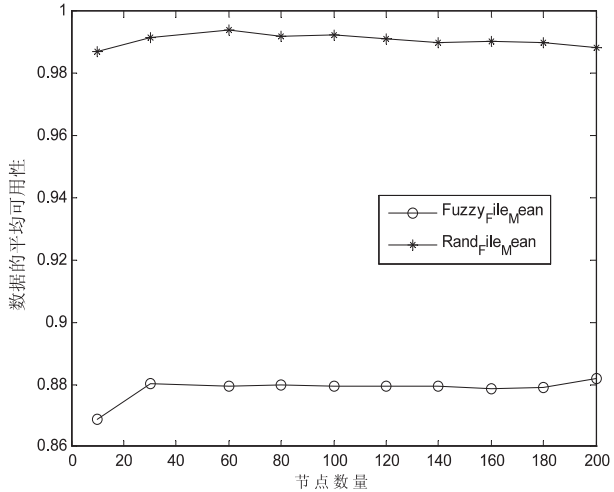


图 3 节点数量增加时文件平均可用性对比图

实验 2:模拟环境生成 500 个文件数据,100 个数据节点。使云存储环境的整体性能逐渐增加,即在节点的平均可用性增加的情况下计算两种复制策略的存储空间消耗量和文件的平均可用性(见图 4 和图 5)。

实验结果表明,FDOM 策略需要的存储空间是 Hadoop 策略的 42.84%,但文件的平均可用性可达到 90.54%。

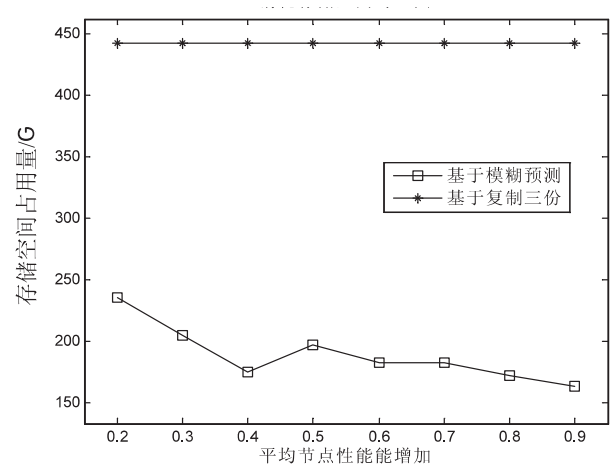


图 4 实验二中消耗存储空间对比图

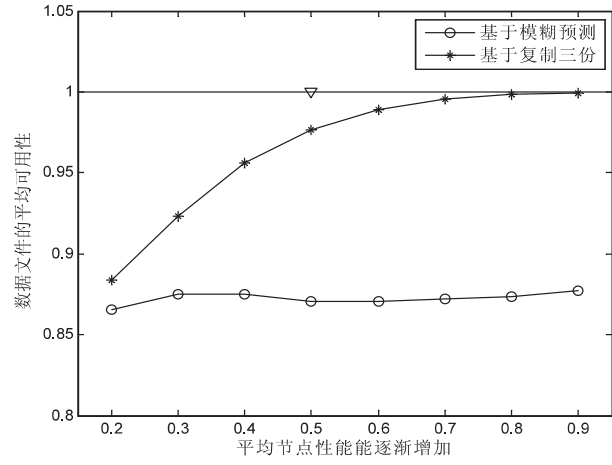


图 5 实验二中文件平均可用性对比图

5 结束语

文中提出了基于模糊预测的数据优化模型,对大数据量、可用性较好的云存储系统有较好的适应性。为了实现按需分配,根据用户不同的数据期望可用性确定复制份数和位置,需要确定节点的可用性,但节点可用性是一个模糊值,且影响节点可用性的因素较多,因此采用了二级模糊系统。由实验结果也可以看出该模糊系统可以很好地预测节点可用性,且在 FDOM 消耗存储空间是 Hadoop 策略的 42.62%、42.84% 的情况下文件的平均可用性却是 Hadoop 的 88.69%、90.54%,这表明 FDOM 策略很好的实现了预期目标。

但 FDOM 仍有不足,在复制优化模块中,采用的整个文件副本放到了一个节点上,这样将导致通用性降低,下一步将研究文件副本不同数据分块可以存储到不同节点情景下的复制优化策略。

参考文献:
[1] Zeng W,Zhao Y,Ou K,et al. Research on cloud storage architecture and key technologies[C]. USA:ACM,2009.

在信息的处理方面具有更大的优势,更加符合用户的需求。

4 结束语

随着语义 Web 的不断发展,语义 Web 势必取代 Web,语义 Web 应用程序在数据处理方面的优势将更加明显。语义 Web 应用程序将得到更加迅速的发展。文中基于 Web 应用程序给出了语义 Web 应用程序的定义和架构,并提出了语义 Web 应用程序开发方法,进而按照这种方法构建了一个语义 Web 应用程序,经过实验得到了良好的结果,证明了语义 Web 应用程序相对于普通的 Web 应用程序在信息处理方面具有更加良好的性能。但由于所选用的本体规模较小,实验结论说服力尚欠有力,有待进一步的推进。

参考文献:

[1] Berners-Lee T,Hendler J,Lassila O. The semantic Web[J]. Scientific American,2001(5):34-43.

[2] Hebel J,Fisher M,Blace R,et al. Semantic Web programming[M]. Indianapolis,Indiana:Wiley Publishing,Inc.,2009.

[3] Rovani L,Baranovi M. Migrating Web-based applications into semantic Web[C]//Proc of the 28th international conference on information technology interface. [s.l.]:[s.n.],2006:159-164.

[4] Wu J,Ping L,Ge X,et al. Cloud storage as the infrastructure of cloud computing[C]. USA:IEEE,2010.

[5] Qian L,Luo Z,Du Y,et al. Cloud computing:An overview[J]. Cloud computing,2009,5931:626-631.

[6] 魏青松. 大规模分布式存储技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2004.

[7] 王全修. 一种基于用户体验值的副本冗余度管理系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2009.

[8] 张丽娜,周润景. Matlab 与自适应神经网络模糊推理系统[M]. 北京:电子工业出版社,2010.

[9] Jang S H,Kim I K,Lee J S. Node availability-based congestion control model using fuzzy logic for computational grid[C]//Proc of FGCS. USA:IEEE,2007.

[10] Xu J,Zhao M,Fortes J,et al. Autonomic resource management in virtualized data centers using fuzzy logic-based approaches[J]. Cluster computing,2008,11(3):213-227.

[11] Xu J,Zhao M,Fortes J,et al. On the use of fuzzy modeling in virtualized data center management[C]//Proc of fourth international conference on autonomic computing. USA:IEEE,2007.

[12] Zhou J,Yu K,Chou C,et al. A dynamic resource broker and

[4] Rovani L,Jagus T,Baranovi M. Defining categories and functionalities of semantic Web applications[J]. International journal of systems applications,engineering & development,2011,5(2):245-253.

[5] Enrico M,Marta S,Sofia A,et al. Toward a new generation of semantic Web applications[J]. IEEE intelligent systems,2008,23(3):20-28.

[6] 孙希进,黄映辉. 语义 Web 应用程序:性质与开发模型[J]. 计算机应用与软件,2012,29(11):56-60.

[7] 刘燕,王作云. 基于 Web 的三层 B/S 模型的探讨与应用[J]. 物探化探计算技术,2004,26(3):278-282.

[8] Apache Jena. Jena documentation overview[EB/OL]. 2011-11. <http://jena.apache.org/documentation/>.

[9] Aduna B V. User guide for Sesame[EB/OL]. 2011-09-23. <http://www.openrdf.org/doc/sesame/users/index.html>.

[10] W3C. SPARQL 1.1 query language[EB/OL]. 2012-11-08. <http://www.w3.org/TR/sparql11-query/>.

[11] 邝砾,邓水光,李莹,等. 使用倒排索引优化面向组合的语义服务发现[J]. 软件学报,2007,18(8):1911-1921.

[12] 樊皓. 粗糙本体支持的信息语义检索研究[D]. 大连:大连海事大学,2012.

[13] Knublauch H,Ferguson R W,Noy N F,et al. The protégé OWL plugin:An open development environment for semantic Web applications[C]//Proceedings of the third international semantic Web conference. Hiroshima,Japan:[s.n.],2004:229-243.

[4] fuzzy logic based scheduling algorithm in grid environment[J]. Adaptive and natural computing algorithms,2007(1):604-613.

[11] 王丹力,赵剡,邱治平. Matlab 控制系统设计仿真应用[M]. 北京:中国电力出版社,2007.

[12] Wang W,Zhang H. A load balancing schedule strategy of web server cluster[C]//Proc of e-business and information system security. USA:IEEE,2009.

[13] Zbigniew M,David B F. 如何求解问题-现代启发式方法[M]. 北京:水利水电出版社,2003.

[14] 代栋,周学海,杨峰,等. 一种基于模糊推理的 Hadoop 异构机群自动配置工具[J]. 中国科学院研究生院学报,2011,28(6):793-800.

[15] 张化光,刘鑫蕊,孙秋野. MATLAB/SIMULINK 实用教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2009.

[16] 闻新,周璐,李东江,等. Matlab 模糊逻辑工具箱的分析与应用[M]. 北京:科学出版社,2001.

[17] 刘正军. MATLAB 科学计算与可视化仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

[18] 王琦,徐氏蕴,赵睿涛,等. MATLAB 基础与应用实例集粹[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.

(上接第 85 页)

基于模糊预测的数据复制优化模型的研究

作者：

王理想，刘波，林伟伟，[WANG Li-xiang](#)，[LIU Bo](#)，[LIN Wei-wei](#)

作者单位：

王理想, 刘波, [WANG Li-xiang](#), [LIU Bo](#)(华南师范大学 计算机学院, 广东 广州, 510631)，[林伟伟](#), [LIN Wei-wei](#)(华南理工大学 计算机科学与工程学院, 广东 广州, 510000)

刊名：

[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

2013(12)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201312020.aspx