

云环境下基于动态规则的数据冗余模型的研究与实现

李海荣^{1,2}, 方中纯²

(1 北京科技大学 计算机与通信工程学院, 北京 100080; 2 内蒙古科技大学 工程训练中心, 内蒙古 包头 014000)

摘 要: 针对云环境下数据存储的副本管理问题, 给出了基于动态规则的数据冗余模型 IRDMDR(Intelligent Redundant Data Model based on Dynamic Rules)和动态规则的学习模型, 并详细介绍了模型的构成、各个部分的含义及实现方法. 最后与其他模型进行比较, 总结出本模型的优点. 实践证明, 该模型能够优化访问代价、动态调整副本数量, 从而实现负载的动态平衡和提高系统可靠性.

关键词: 动态; 规则; 冗余; 协调

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)04-0077-04

Study and Implementation of Data Redundant Model Based on Dynamic Rules in Cloud

LI Hai-rong^{1,2}, FANG Zhong-chun²

(1 School of Computer & Communication Engineering, University of Science & Technology
Beijing, Beijing 100080, China; 2 Engineering Training Center, Inner Mongolia University
of Science & Technology, Baotou 014000, China)

Abstract: Aiming at replica management in cloud, IRDMDR(Intelligent Redundant Data Model based on Dynamic Rules) and study model are put forward. Every part of the model including realizing method is presented in detail. And the advantages of the model are summarized by comparing with other models. In practice it has proved that the model can optimize access cost, adjust replica number dynamically, achieve load balancing and improve the reliability of the system.

Key words: dynamic; rules; redundant; coordination

1 引言

云环境下, 为了保证和提高数据的可靠性(Reliability)和可用性(Availability), 经常采用冗余存储的方式^[1], 即数据产生多个副本, 存储于不同服务器和数据中心. 那么, 要达到数据冗余的合理性、智能性、动态性和自适应性, 就要考虑数据副本创建的时机、位置、数量及副本之间的一致性等问题^[2], 即副本管理问题. 本文主要研究如何根据分布式系统的运行状态来动态获取副本的创建时机、数量及位置.

目前针对副本管理的模型大多数是基于某种数学模型而建立的, 如: 文献[3]提出了一种伪随机数

据分布算法, 文献[4]提出了一种基于概率的信任感知型副本放置策略, 等等. 并且, 它们主要针对某一方面(如: 访问代价、计算代价)进行副本建立和放置的优化管理. 因为在实际情况中, 很难找到一种能够兼顾多方面性能优化的数学模型. 所以, 本文应用人工智能和数据挖掘的相关知识, 研究多方面性能优化的模型^[5], 提出一种基于动态规则的数据冗余模型.

2 IRDMDR 模型

2.1 IRDMDR 的体系结构

IRDMDR 的整体架构如图 1 所示.

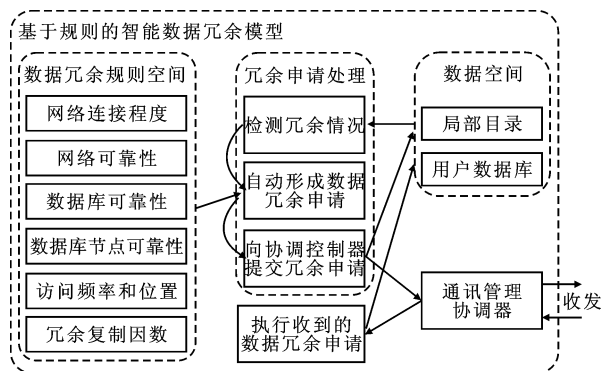


图 1 IRDMDR 的体系结构

2.2 IRDMDR 模型的相关定义

根据 IRDMDR 模型,得出如下与模型相关的定义。

定义 1 协调控制器

所有数据库节点的协调都受到协调控制器的控制^[6]。即数据库节点上的功能执行实体的启动、停止、挂起、恢复等活动都是协调控制器向数据库节点的协调执行实体发送命令后,数据库节点的协调执行实体再根据本地协调规则操作功能执行实体。

定义 2 局部目录

这里的目录主要用于保存用于协调用户数据库的协调信息以及协调过程中产生的中间数据等。

定义 3 网络连接程度

本文中的网络连接程度是反映两个网络节点连接性能的物理量。具体做法是:协调控制器周期性向数据库节点发送心跳包,此时,协调控制器把心跳包经过的路由数和从发送到收到数据库节点回应心跳包时的时间间隔保存到全局目录空间中,并对保存的记录值进行统计汇总,得到网络连接程度的值。该值是网络路径长度与连接响应时间的加权平均值。有如下公式:

网络连接程度 = $a \times \text{网络路径长度} + b \times \text{连接响应时间}$

其中,网络路径长度:在本文中取网络中的两个节点在一段时间内通讯经过路由数的平均值;连接响应时间:在本文中取周期性在两节点间建立连接所需时间的平均值。由于协调系统为了探测整个系统的网络状况,协调控制器周期性发送心跳包,数据库节点会回应心跳包。连接时间就取从发送心跳包到接收到心跳包回应的的时间间隔。

a, b 是加权系数, $a + b = 1$ 。如果看重路径长度,那么 $a > b$; 否则, $a \leq b$ 。

定义 4 IRDMDR 模型

IRDMDR 是一个五元组 $\langle \text{RRS}, \text{HA}, \text{EA}, \text{DS} \rangle$,

其中,RRS(Redundant Rule Space)冗余规则空间,它给数据冗余申请处理模块提供自动生成申请的知识,这些知识主要是描述网络连接程度、网络可靠性、数据库可靠性、数据库节点可靠性(机器的物理损坏、操作系统破坏等)、基于位置的数据库被访问频率及复制因数。

HA(Handling Application)申请处理,它根据规则生成数据冗余申请,然后用这个申请去匹配局部目录中的历史申请,如果存在,那么这个申请无效;如果不存在就把这个申请提交给协调控制器去处理。

EA(Executing Application)申请执行,它接收到协调控制器对本数据库节点请求数据冗余的申请,然后匹配局部目录。如果已经冗余,自动回应协调控制器;反之,进行数据冗余设置并把冗余关系写入局部目录中,回应协调控制器。

DS(Data Space)数据空间,它主要用于保存局部目录和用户数据。

CMC(Communication Management Coordinator)通讯管理协调器,负责处理协调控制器和数据库节点之间的通讯问题,屏蔽通讯细节。

图 1 中只列出了一个数据库节点上的冗余模型,在实际的 DDBS 中,数据库节点是大于等于 1 的。

3 数据冗余规则学习模型

为了生成图 1 中的数据冗余规则空间,建立了数据冗余规则学习模型(以下简称学习模型)。建立该模型的主要目的是从网络环境、数据库活动和分布式计算机系统环境中获取数据冗余的规则。这些规则能够描述冗余复制因数、网络的连接程度、网络的可靠性、数据库的可靠性、数据库节点计算机的可靠性以及基于位置的数据访问频率等。

3.1 学习模型的体系结构

图 1 的 IRDMDR 模型中,数据冗余时机、数据冗余位置以及数据冗余数量,可以由 DBA 根据具体需求设置,也可以由协调管理系统根据规则自动形成数据冗余备份。那么,在理想状况下,规则必须包含最佳的时机、最理想的位置以及最合理的冗余备份数量。当然要达到最理想的情况是很困难的,必须有很好的机器学习算法对大量数据库访问事务、网络环境、数据库可靠性以及数据库物理机器的可靠性等因素进行采样、挖掘、统计、汇总、归纳等得到合理的规则,使系统向理想运行状态发展。

因此,为了从海量数据库访问行为信息中获取到合理的、准确的和实用的规则,本文建立了如图 2 所示的数据冗余规则学习模型。

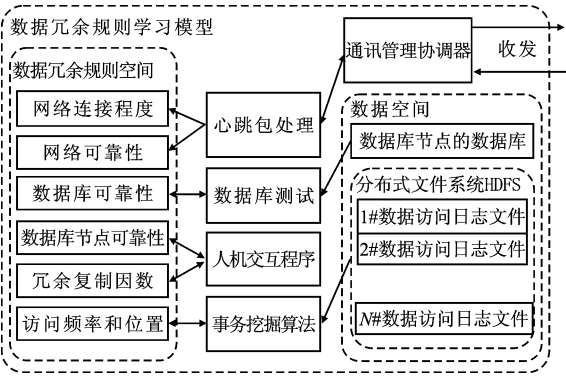


图 2 数据冗余规则学习模型

3.2 相关定义

冗余复制因数:为了提高数据表的可靠性,数据库管理员设置数据的冗余数量。

网络可靠性:当协调控制器没有收到某个数据库节点的回应心跳包时,把标志对应数据库节点的网络不可靠性加 1。这个数据越大,说明相应数据库节点与协调控制器节点的网络可靠性越差。

数据库可靠性:数据库节点周期性查询本节点中指定一个测试小表,看看是否查询成功,如果不成功就把标志该数据库节点的数据库不可靠性加 1。这个数据越大,说明该数据库节点的数据库可靠性越差。

数据库节点可靠性:这个主要是从操作系统和计算机物理使用情况决定的。这个可靠性难度量,由数据库管理员手工维护即可。也可以根据计算机的品牌、配置、使用时间和操作系统的运行状况监视,用程序进行计算。

基于位置的数据访问频率:这是规则获取中最重要的研究点,也是本文研究的重点,主要是从数据库访问事务中挖掘规律,获取冗余规则。例如:某个位置访问频率高,那么就应该在离那个位置的网络连接程度最好的数据库节点形成冗余^[8-10]。

3.3 分布式规则挖掘过程描述

在规则获取程序中,心跳包处理、数据库测试和人机交互都比较简单。事务数据挖掘是难点,也是研究的重点。分布式数据库系统中,数据库访问日志文件非常庞大,要从如此庞大的数据空间中挖掘规则,效率问题就是首要考虑的。基于这个原因,从云计算思想出发,考虑一种基于云计算思想的海量数据挖掘算法。目前云计算开源框架 Hadoop 既是云计算研究的基础,又是比较好的云计算基础框架。所以,

本文利用 Hadoop 搭建分布式文件系统 HDFS(Hadoop Distributed File System)^[11],把数据库访问日志文件保存于 HDFS 中。然后,利用 Hadoop 提供的海量数据计算框架 MapReduce 进行分布式数据挖掘算法设计。

本文在从数据库访问日志文件中挖掘数据冗余规则时,分为两个步骤:基于 MapReduce 框架的分布式数据处理;从处理结果中生成规则并保存到规则空间中。

第一步:应用 MapReduce 处理海量数据

日志文件包含的内容有:访问时间、数据库名称、表名称、SQL 语句和访问者的 IP 地址。根据这些内容可以做如下的统计分析:

按照 IP 地址统计对数据库节点的总访问次数;

按照 IP 地址统计对数据表的总访问次数;

按照 IP 地址统计某个时间段对数据库节点的访问次数;

按照 IP 地址统计某个时间段对数据表的访问次数。

有了上面这些统计信息,就可以计算出某个 IP 区域对数据的访问频率和访问高峰时间段。在访问频率大的地区可以形成冗余备份,在访问高峰时间段可以形成临时冗余备份。假设 DBA 设置 DBS 的可靠性冗余复制因数为 3,最大冗余因数为 5。那么,访问频率最高的前 5 个地区就应该形成冗余备份。

给出统计表的访问频率的算法,要得到访问频率,就应该统计对这个表在一个时间段内的访问次数。假设要统计 2014 年 3 月份的访问频率,那么应用 MapReduce 处理后,得到如表 1 所示的数据。

表 1 3 月份表访问次数统计

表名称	访问该表的 IP 地址	3 月份访问次数
PERSON	219. 234. 93. 174	35 762
PERSON	231. 209. 11. 234	30 123
WAGE	219. 234. 93. 174	12 812
WAGE	231. 209. 11. 234	7 823
.....		

第二步:生成规则

由上面的 MapReduce 算法,得到 2015 年 3 月份某个 IP 地址对表访问的总次数,并以如下格式存储在 HDFS 中。

(PERSON_219. 234. 93. 174,43871)

(WAGE_219. 234. 93. 174,28534)

(PERSON_219. 234. 93. 11,26189)

.....

上面的第一条数据表示,在 2015 年 3 月份 IP 地址为“219. 234. 93. 174”的机器对 PERSON 表访问的次数为 43 871 次(上面的算法是针对 IP 地址,也可以改写成 IP 区域等,只要适当修改 map 函数即可)。

生成冗余规则的方法就是从存储在 HDFS 的结果文件中找出访问次数最高的 5 个区域,把离这 5 个区域网络连接程度最好的数据库节点信息填写到冗余规则中(更新冗余规则前,当然要查找是否存在该规则)。规则格式如表 2 所示。

表 2 自动挖掘生成的冗余规则

数据库	表名	冗余地址	原因	是否冗余	建立时间
ULTRAX	PERSON	219. 234. 93. 174	访问频繁	是	2015-03-11 13:02:15
ULTRAX	WAGE	219. 234. 93. 174	可靠性	是	2015-03-01 10:23:24
.....					

上面介绍的算法得出的结果是基于 IP 地址进行访问统计的,在实际系统中,这种挖掘结果需要进一步结合 IP 地址位置信息,按照地理位置、网络进行分类统计,从而得到按照地区、网络访问的频率、次数和高峰时间段等更有用的规则。

由于分布式数据库系统是基于多数据库节点、多种数据库类型的,因此为了达到更科学、更合理的智能性,海量数据挖掘是非常重要的。本文的基于 MapReduce 框架的数据挖掘算法采用基于云计算的并行算法,对海量数据的挖掘效率高、性能好。并设计成面向接口的编程方式,这种设计的好处是可以方便增加和修改系统中的挖掘算法,从而挖掘出更多、更合理以及更实时的规则,提高系统的智能性、动态性和自适应性。实践证明,该挖掘方法行之有效。

4 性能比较

传统数据冗余和本文提出的 IRDMDR 的性能比较,如表 3 所示。

5 结束语

本文提出一种基于动态规则的数据冗余模型,创新点在于应用挖掘出的规则动态地进行冗余管理,使得系统向着优化访问代价、合理存储数量、优化负载均衡和高可靠性方向发展运行。因为规则主要来源于数据库管理员更新、网络感知执行实体以及数据库访问事务挖掘执行实体,所以能根据数据

表 3 传统数据冗余与 IRDMDR 的性能比较

比较项目	传统数据冗余	IRDMDR	评价
数据分布	需要数据库管理员设置数据的分片存储	根据数据库管理员的规则或数据挖掘获取的规则,自动进行分布存储	自动把相关数据分布存储到关心的数据库节点,从而在提高查询效率的同时也减少冗余
数据推送	数据库管理员根据实际需要,进行设置	根据数据库管理员的规则或数据挖掘获取的数据的副本	减少了人为干预,提高了整个系统的智能性
数据拉取	不能进行数据的智能拉取	能够根据数据库管理员设置的规则或者数据挖掘获取的规则、网络的传输效率以及用户对数据的关心程度等相关因素智能地从对应站点拉取数据	整个系统能够智能地提高查询效率和提高系统的可靠性
维护工作量	大	小,如果和数据库维护领域知识比较完善,那么几乎不需要维护工作	系统自动获取维护规则使得很多工作能够自动完成
智能性	低	随着系统的知识库完善程度而提高,知识库的完善取决于数据库管理员、系统对环境的感知学习、数据库访问行为的挖掘。	IDDBS 自动或人工获取运行规则使得后台运行具备智能性
查询效率和可靠性	需要数据库管理员设置,提高效率和实时性差	系统智能地提高,所以提高系统的效率的实时性好	IDDBS 自动获取规则则形成查询缓冲和可靠性冗余
动态性和自适应性	不具备	系统能自动识别加入的数据库节点并做异构转换和数据集成处理	注册到协调控制器即可

库管理员和计算环境动态地更新,从而提高了系统的智能性、开放性、动态性和自适应性。

参考文献:

[1] 张继平. 云存储解析[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.

[2] 张建勋,古志民,郑超. 云计算研究进展综述[J]. 计算机应用研究,2010, 27(2):429-433.

[3] Weil S A,Brandt S A,Miller E L,et al. CRUSH: controlled, scalable, decentralized placement of replicated data[C]//Proceedings of the 2006 ACM/IEEE Conference on Supercomputing, Tampa, USA; IEEE, 2006; 122-135.

[4] Kumar N, Kim J. Probabilistic trust aware data replica placement strategy for online video streaming applications delay tolerant networks[J]. Mathematical and Computing Modeling,2013,58(1/2):3-14.

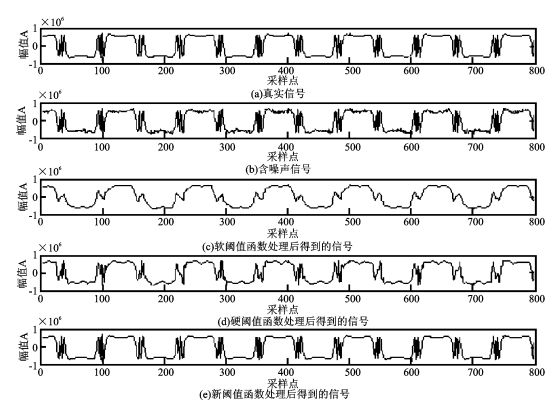


图 7 新阈值函数自适应阈值与软硬阈值函数去噪对比

表 1 几种方法的 SNR 和 MSE

使用方法	SNR/dB	MSE
原始含噪声信号	1.908 6	474 577.614 5
硬阈值函数方法	11.177 3	163 257.630 2
软阈值函数方法	8.351 4	227 724.500 2
新阈值函数方法	21.339 8	102 170.850 5
新阈值函数自适应阈值方法	25.436 9	92 498.735 1

5 结束语

本文为克服传统阈值去噪方法的缺点,提出了新阈值函数.通过仿真实验对比,验证了采用新阈值函数去噪能得到很好的消噪效果,为了进一步提高信噪比,达到最优的去噪效果,本文又提出了将小波变换与自适应学习相结合的算法应用到新阈值函数的去噪中,实验证明,新阈值函数去噪效果能达到最优.

参考文献:

[1] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation

via wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81(12): 425-455.

[2] Donoho D L. Denoising by soft thresholding[J]. IEEE Trans on IT, 1995, 41(3): 613-627.

[3] 曲天书. 基于 SURE 无偏估计的自适应小波阈值去噪[J]. 电子学报, 2002, 30(2): 266-268.

[4] 张维强,宋国乡. 基于一种新的阈值函数的小波域信号去噪[J]. 西安电子科技大学学报, 2004, 31(2): 296-299.

[5] 吴勇. 基于小波的信号去噪方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007: 4-12.

[6] 张治国. 小波分析在信号降噪中的应用研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2012: 22-36.

[7] 闫士杰,王旭,黄延龙,等. 小波自适应消噪算法在微型燃机温度检测中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(Supp. 4): 252-255.

[8] 纪峰,李翠,常霞,等. 基于改进阈值函数的自适应图像去噪方法[J]. 传感技术学报, 2014, 27(3): 251-254.

[9] 蔡德尊. 基于小波变换的图像去噪算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011: 6-7, 21-25.

[10] 罗贺. 自适应小波包阈值去噪算法[D]. 长春: 吉林大学, 2014: 27-32.

作者简介:

彭继慎 男, (1969-), 博士研究生, 教授, 博士生导师. 研究方向为工业仪器仪表、传感器技术、自动化技术、工业过程的计算机控制.

张志超(通讯作者) 男, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为模式识别与智能控制、自动化技术、工业过程的计算机控制. E-mail: 1154589616@qq.com.

韩彦春 女, (1983-), 硕士研究生. 研究方向为智能控制、电力传动、自动化技术.

(上接第 80 页)

[5] 侯孟书, 王晓斌, 卢显良, 等. 一种新的动态副本管理机制[J]. 计算机科学, 2006, 33(9): 50-51.

[6] Rahman R M, Barker K, Alhaji R. Replica placement strategies in data grid[J]. Journal of Grid Computing, 2008, 6(1): 103-123.

[7] Fu Xiong, Zhu Xinxin, Han Jingyu, et al. Qos-aware replica placement for data intensive applications[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2013, 20(3): 43-47.

[8] 石刘, 郭明阳, 刘浏, 等. 基于反馈机制的动态副本数量预测方法[J]. 系统仿真学报, 2011, 22(S1), 193-200.

[9] 林菲, 张万军, 孙勇. 一种分布式非结构化数据副本管理模型[J]. 计算机工程, 2013, 39(4): 36-38.

[10] 祝家鲸, 肖丹. 云计算架构下的动态副本管理策略[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(9): 3362-3367.

[11] 王永洲. 基于 HDFS 的存储技术的研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.

作者简介:

李海荣 女, (1976-), 硕士, 副教授. 研究方向为云存储.

方中纯(通讯作者) 男, (1975-), 博士, 副教授. 研究方向为人工智能. E-mail: xiaofang611@126.com.