

基于模糊逻辑的数据分级存储模型研究

施光源¹ 张宇^{1,2}

(浪潮集团有限公司 济南 250101)¹ (高效能服务器和存储技术国家重点实验室 济南 250101)²

摘要 数据分级存储是智能数据管理的重要途径,利用分级存储能够有效地平衡存储资源与不同数据之间的存取关系,最大程度地提高存储系统的整体性能。但是,在数据分级过程中对于数据特征的发现以及热点数据的判断一直是数据分级存储的瓶颈。提出一种基于模糊逻辑的数据分级存储特征模型 FLM,该模型将反映数据冷热程度的关键特征作为输入量,利用模糊逻辑对热度特征量进行推理获得输出量,从而平滑热点数据与非热点数据的边界,避免尖锐边界问题,以利于数据迁移的平顺性,降低数据管理中出现的抖动问题。

关键词 智能数据管理,分级存储,模糊推理

Research on Fuzzy Logic-based Model of Tiered Storage

SHI Guang-yuan¹ ZHANG Yu^{1,2}

(Inspur, Jinan 250101, China)¹

(State Key Laboratory of High-end Server & Storage Technology, Jinan 250101, China)²

Abstract Tiered storage is the important way for Intelligent Data Management. It can effectively balance access relationships between storage resources and variety data, and maximize the overall performance of the storage system. However, the judgment of hotspot data is a bottleneck for tiered storage in process of data classification. Proposing a Fuzzy Logic-based Model of tiered storage (FLM) which uses the data characteristics as the input variable that reflect hot and cold level of data. Then, FLM uses the fuzzy logic to analyze data characteristics for getting output variable, and it can smooth the boundary of non-hotspot and hotspot. Experimental model analysis indicates that FLM can make the smoothness of data migration and reduce shake problems in data management.

Keywords Intelligent data management, Tiered storage, Fuzzy reasoning

1 前言

随着信息呈现爆炸式的增长,单靠 Scale-Out 方式简单扩充存储系统并不能够提高存储系统的性能,反而会造成存储资源的浪费。为了使存储资源能够合理使用,提高存储系统的访问性能,智能数据管理的概念被不断提及,而数据分级存储是智能数据管理的重要实现途径。通过将数据分级存储能够在存储资源与不同数据之间进行合理平衡,使得真正热点的数据使用性能好且价格昂贵的存储资源,而非热点数据可以使用近线设备,从而在控制成本的同时,最大程度地提高存储系统的整体性能。但是在数据分级过程中对于数据特征的发现以及热点数据的判断一直是数据分级存储的瓶颈。由于数据分级系统是典型的大滞后、时变、强扰动的复杂非线性系统,如何保证较高数据访问效率,同时又能完成热点数据的准确定位,从而提高存储系统整体性能是研究的难点。

2 相关工作

在分级存储中,数据特征的统计以及存储资源的映射是关键。在对数据特征进行统计分析时,通常采用基于文件的

数据分级管理与基于扩展块的数据分级管理。由于文件属性当中包含着多种特征信息,如文件大小、类型等,因此,基于文件级的数据特征分析能够获取更多的数据特征。针对文件数据特征模型的研究比较多^[1-3],如文献[1]中根据数据的业务价值和访问的需求进行数据特征分类,文献[2,3]中给出了文件使用价值的预测方法以及文件特征的分类方法。但是,如果以文件作为数据特征统计的基本单位,文件比较大,而只有局部信息经常被访问,那么就存在对于热点数据定位不准确的问题。因此,为了能够更加准确地定位热点数据,将真正需要被分级的数据放置于高效且昂贵的存储资源上,从而获得更细粒度的数据分级管理方案,研究正在逐步朝着基于块级数据的数据分级技术不断深入。

基于块级数据的统计分析主要是对卷中一部分固定大小的数据进行监控,块数据越小,就能够获得越高的数据分配效率,因为卷中需要管理的数据量值比较少,在进行迁移等操作时损耗较少。基于块级分级存储的研究已经成为各大存储公司的研究热点。Dell Compellent 的 Data Progression^[4]采用 512kB~4MB 的精细度,理论上有助于达到更好的磁盘配置最优化效果。EMC 的 FAST VP^[5]搭配 VMAX 存储设备采

本文受国家 863 计划“云计算关键技术与系统”重大项目(2013AA01A210)资助。

施光源(1983—),男,博士,主要研究方向为海量存储、可信计算, E-mail: 118sgy@163.com;张宇(1983—),男,硕士,主要研究方向为并行计算。

用最可达 7.6MB 的区块,精细度仅次于 Dell Compellent 的 Data Progression。HDS 的 Hitachi Dynamic Tiering (HDT) 技术也相当平衡且拥有弹性,42MB 的精细度虽然比不上 EMC 与 Dell Compellent,但也算是相当精细。IBM 搭配 Storwize V7000 存储设备的 Easy Tier^[6],精细度则视与 Volume 容量对应的扩展数据块而定,系统预设值为 256MB。文献[7]中给出了一种内容感知存储系统中自动分级存储模型,但其内容感知需要上层文件系统支持,同样存在数据定位不准确问题,同时如果内容信息量丰富,感知匹配的计算过程也将耗时较长,不利于数据的高效管理。文献[8]提出基于扩展块的动态分级存储模型,并且通过配置顾问与动态分级管理器两个关键组件来解决性能与损耗如何平衡的问题,但是并未给出数据特征分析。文献[9]中给出了基于海量数据存储系统多级存储介质的热点数据区分方法,该方法也是基于文件系统完成数据特征的分析,同样不适用于块级的数据特征分析。

现有工作中,虽然很多公司都对块级分级存储进行研究,但是具体的研究内容并不多见,很多都是针对于工程方面,缺乏对于基于块数据的数据特征模型的深入研究,主要表现为如何对模型中的关键变量进行定义,以及如何定义变量的关系。另外,对于数据特征的定义不够明确,通常按照单一阈值法进行判断,大于热度阈值的数据就被升级迁移,小于阈值的就进行降级迁移,容易导致数据抖动问题,不但占用了宝贵的高速设备空间,同时也增加了迁移过程的能耗。数据的冷热概念是一种模糊的概念,不同于非此即彼的二值逻辑,因此,在迁移管理过程中,同样需要满足一定的程度再进行迁移操作。例如当数据处于较热的状态,而非达到真正热状态时,数据并不一定要进行迁移等操作,可以进行适当预处理,比如迁移准备状态。只有达到真正热状态时,才开始迁移。这样可以避免盲目的数据迁移,能够将真正非常热的数据进行迁移,有利于提高迁移的准确率,减少迁移操作所造成的性能损耗。针对上述问题,提出一种基于模糊逻辑的数据分级存储特征模型 FLM,该模型对基于块级的分级存储管理技术进行形式化定义,在细化模型构成变量的基础上,对变量关系进行形式化定义。然后,引入模糊逻辑的理论对反映数据热度的关键特征进行模糊化处理,从而对数据的冷热程度进行分析。

3 数据特征模型 FLM

针对智能数据分级存储系统存在大滞后、时变、非线性的特点,提出一种基于模糊逻辑的数据特征模型 FLM。模糊逻辑理论已经广泛应用到工控领域,在温度控制、交通信号灯管控方面都进行了有效的实施^[10,11]。将模糊逻辑引入到智能数据管理系统中有其必要性,因为智能数据管理本身是一个模糊的概念,把模糊逻辑引入到智能数据管理中可以平滑热点数据与非热点数据的边界,避免尖锐边界问题。同时,也可以在证据不会充分的情况下快速、正确地判断数据的冷热程度。模糊逻辑的推理过程包括模糊化、模糊控制规则、模糊推理引擎、解模糊化等几个主要部分。首先,给出模糊逻辑中的关键定义。

定义 1 给定论域 X 上的一个模糊集合 A ,对任意 $x \in X$,都有确定的一个数 $\mu_A(x)$ 且 $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ 。 $\mu_A(x)$ 表示

x 对 A 的隶属度。 $\mu_A(x)$ 称为 A 的隶属函数。

通过隶属函数概念能够计算集合中的元素 x 在多大程度上属于集合 A 。在一定程度上将二值逻辑进行拓展,不是非此即彼的关系,因此符合对于模糊关系的处理。

3.1 FLM 模型变量定义

由于块数据对象基本处于存储层次中的逻辑或物理底层,较之文件对象而言数据结构相对简单,因此,基于块的数据特征比较单一。对底层数据块的最主要操作包括读取与写入,因此,数据块的读写频度也是判定该数据是否为热点的主要特征。基于块级数据特征的分析中主要是对数据块的引用数进行统计,当数据块被读/写时分别记录其读写次数,以便计算引用频度,即该块数据在一段时间内被读写的次数之和。但是,如果单独基于引用数进行数据的迁移,那么很可能引起数据的抖动问题,即数据将在短时间内重复进行升降级操作,这种方式将导致系统资源的消耗,不利于提高系统性能。因此,需要定义合理的引用数统计时间以及扫描周期等时间变量。

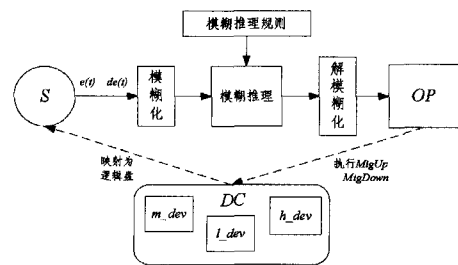


图 1 FLM 模型

在一个具备基于扩展块分级能力的存储系统中,数据特征模型形式化表示为五元组 $FLM = \{S, M, T, OP, DC\}$,如图 1 所示,其中:

1) 数据对象集合 S : 存储系统中被管理的数据对象集合。在由 N 个块数据对象 O 组成的集合 S 中,每个扩展块都按照访问频率的高低有序组织。用 O_i 来表示排名第 i 位的块数据对象,在一个任意时刻 t_i ,假设集合 S 中的某个对象 O_i 在热点队列中,在 t_{i+j} 时刻(j 为大于零的有理数), O_i 的排名为 i' ;

2) 引用频率 M : M 表示所有扩展块总的访问频率,其中, $m_i \in M$ 表示数据对象 O_i 的引用频率, m_i 包括两个主要参数,第一个是对 O_i 进行读的次数,表示为 R_i ,第二个是对 O_i 进行写的次数,表示为 W_i ;

3) 时间 $T = \{ST, MT, CT\}$: ST 为数据管理扫描周期, MT 为最大未访问时间, CT 为扩展块的访问频率统计时间;

4) $OP = \{MigUp, MigDown, HitCount\}$ 表示针对集合 S 中的数据对象 O 进行的多重统计与升/降级管理操作集合。其中, $MigUp$ 表示数据升级迁移管理操作, $MigDown$ 表示数据降级迁移管理操作; $HitCount$ 表示对于 O 进行访问频率 $m_i \in M$ 的统计操作。

5) $DC = \{l_dev, m_dev, h_dev\}$ 为存储设备性能等级集合。其中,按照存储设备性能的高低分为 $l_dev < m_dev < h_dev$, l_dev 级设备主要处于离线状态,常用于数据备份; m_dev 级设备可以处于近线状态,用于存储访问频率不高或者用于临时高速缓冲设备; h_dev 级设备处于高速状态, h_dev 级设备存储速度快,主要存储热点数据,但其容量大小受到一

定限制。

在 FLM 模型中,对于数据 $MigUp$ 与 $MigDown$ 操作会引发数据在不同层级之间进行拷贝与删除等原子操作,进而造成数据的操作损耗。频繁进行数据的 $MigUp$ 或者 $MigDown$ 操作将产生迁移抖动问题,这种情况不但降低了数据的访问性能,同时也给智能数据管理带来了阻碍。因此,对数据的热度不是进行二值逻辑这种非此即彼的判断,而是通过一种更加平滑的迁移管理过程。FLM 模型中将输入量转换为语言变量并确定隶属度函数。模糊控制规则是根据专家经验制定的控制方法。模糊推理根据输入的语言变量和模糊控制规则进行推理,从而得到输出语言变量。最后,解模糊化过程把输出语言变量转换为确定的控制量,即数据的热度。因此,在 FLM 模型中,对反应数据热度的特征变量 $E_i(t)$ 与 $DE_i(t)$ 进行模糊化处理。块引用偏差率 $E_i(t)$ 表示块 S_i 在数据管理周期 T 内,数据块 S_i 被访问的实际统计数 M 与该块所处层级设备 DC 的引用阈值 $threshold$ 的差值,反映了该块数据与平均热度的差值水平;偏差变化率 $DE_i(t)$ 表示块 S_i 在某段时间内偏差的变化频率,反映了数据块 S_i 的活跃程度。模糊逻辑控制的输入为块 S_i 的引用偏差 $E_i(t)$ 及偏差变化率 $DE_i(t)$,偏差是指层级阈值 $threshold$ 与实测引用频率 $R_i(t) \in M$ 之间的差异,即:

$$E_i(t) = R_i(t) - average_hitcount(t)$$

$$average_hitcount = \frac{\sum_{a=1}^N m_a}{N} \quad (1)$$

S_i 的引用频率偏差变化率是指当前采样时刻引用频率偏差 $E_i(t)$ 与为上一采样时刻引用频率偏差 $E_i(t-1)$ 之间的差异,即:

$$DE_i(t) = (E_i(t) - E_i(t-1)) / \Delta t$$

式中, Δt 为采样时间。当 $E_i(t)$ 与 $DE_i(t)$ 都处于极限状态上边界时,从物理意义上可以理解块 S_i 在短时间内发生密集型频繁访问状态,说明其处于活跃热度状态,因此,应将其被放置到访问性能更优的存储设备上,从而提供整体的访问性能。以块引用数偏差率与偏差变化率作为指标,比较直接反应数据的使用情况,如果属性太多,则容易引起规则爆炸问题。

在计算 $E(t)$ 时,需要对不同层级 DC 上的平均引用频率 $average_hitcount$ 进行计算。计算块 S_i 所在层级的平均引用频率 $average_hitcount$ 如下:

$$\begin{cases} average_hitcount = average_read_hitcount + \\ average_write_hitcount; \\ average_read_hitcount = total_read_hitcount / \\ (tiersize/blocksize), \\ average_write_hitcount = total_write_hitcount / \\ (tiersize/blocksize), \\ total_read_hitcount = \sum_{i=1}^n R_i, total_write_hitcount = \sum_{i=1}^n W_i \end{cases} \quad (2)$$

式中, $average_read_hitcount$ 为层级平均读取引用数, $average_write_hitcount$ 为层级平均写入引用数, $total_read_hitcount$ 为层级总的读取引用数, $total_write_hitcount$ 为层级总的写入引用数, $tiersize$ 为该层容量, $blocksize$ 为单元块大小。

3.2 FLM 模型参数模糊化

图 1 所示的 FLM 模型中,对于输入参数 $E(t)$ 与 $DE(t)$

进行基于模糊逻辑的推理分析主要包括参数模糊化、模糊推理以及解模糊化 3 个过程。首先,在参数模糊化的过程中,需要确定输入输出变量的实际论域和量化论域、量化因子、语言变量、语言值与隶属度函数,从而将输入精确量转化为一个或几个模糊值的单点,完成从观察空间到控制输入论域中若干模糊值的映射。

在对输入量 $E(t)$ 与 $DE(t)$ 实际论域中确切量到量化域之间的转换过程中,首先设 $E(t)$ 模糊变量的实际论域为 $[a, b]$, 并且转化后的量化离散论域 U 为 $[-n, n]$, 式 (x) 将位于实际论域 $[a, b]$ 的确切输入量 x 转换为位于量化论域 $[-n, n]$ 的模糊语言变量值 Z :

$$Z = -n + k(x - a) \quad (3)$$

式中, k 为量化因子,取值为 $k = -2n/(b - a)$ 。另外,对于输入变量 $DE(t)$ 以及输出变量也同样进行量化论域转换。

在定义模糊语言变量隶属度函数时,选用工程上常用的标准三角形函数。三角形函数实际上是一种特殊的分段线性函数,形状简单,计算工作量少,可节约存储空间,当输入值变化时,三角形隶属度函数比正态分布的隶属度函数具有更大的灵敏性。在定义语言变量时,一般语言变量划分越细,系统对输入变化的应用灵敏度越高,对应推理规则越多。为了使推理规则不太复杂,又保证系统的灵敏度,模糊子集数量选择的多少与隶属度函数形状确定将对输出变量的平滑性及计算复杂性产生影响,需要在它们之间进行折中。在对 $E(t)$ 与 $DE(t)$ 进行模糊化处理时,根据被管理数据对象 S 的实际情况,对 $E(t)$ 在其论域上定义了 3 个模糊子集: EH 为偏差很高,表明该块数据处于极限状态; EM 为偏差一般高,表明该块数据有达到极限状态的趋势; EL 为偏差很低,表明该块数据在该层级所有块中处于平均水平。 $DE(t)$ 在一定的时间 Δt 内,假设 $\Delta t \geq ST$ 时,对 $DE(t)$ 进一步演算得到如下公式:

$$DE(t) = \frac{R_i(t) - R_i(t-1)}{\Delta t} + \frac{\sum_{a=1}^N m_a(t-1) - \sum_{a=1}^N m_a(t)}{N \times \Delta t} \quad (4)$$

根据式(4)可知,在单位时间内,对 $DE(t)$ 的影响主要在 $R_i(t) - R_i(t-1)$ 部分,因为随着 N 值的增大, $average_hitcount$ 均值的变化被平均到每一个数据块后,变化几乎可以忽略。那么用 DH 表示偏差变化率高,表明数据块单位时间内热度变化频繁;用 DM 表示数据块在单位时间内变化一般;用 DL 表示数据块在单位时间内变化不频繁。另外,输出量热点数据概率 P 划分为 3 个区间: EL 非热点数据、 EM 预备热点数据、 EH 热点数据。

3.3 FLM 模型模糊推理与解模糊化

根据专家经验或者统计方法得到模糊逻辑控制规则,模糊控制规则采用如下形式进行定义:

$$\text{if}(\text{condition1}) \text{and}(\text{condition2}) \text{ then}(\text{action})$$

在定义模糊规则的同时,针对数据分级管理的特性,还需要对 FLM 中的层级特征 DC 定义分级规则,因为在发生迁移操作 OP 后,数据块所处的层级特征需要根据分级规则重新设定,因此在进行模糊推理过程中,对 FLM 模型中的层级特征 DC 进行定义。模糊推理其规则的形式化定义如下,当存在块数据 $\forall O_i \in S$ 时:

(1) $E(t) = EH, DE(t) = DH$, then $U = EH$, 并且 $T_{new} - T_{last} < MT$ 时,将执行升级操作 $OP = MigUp$, 如果 $DC(O_i) = m_dev$, 使得 $DC(O_i) = h_dev$; 如果 $DC(O_i) = l_dev$, 那么 DC

$(O_i) = m_dev$ 或者 $DC(O_i) = h_dev$;

(2) if $E(t) = EH, DE(t) = DM$, then $U = EH$, 并且 $T_{now} - T_{last} < MT$, 那么将执行升级操作 $OP = MigUp$, 如果 $DC(O_i) = m_dev$, 使得 $DC(O_i) = h_dev$; 如果 $DC(O_i) = l_dev$, 那么 $DC(O_i) = m_dev$ 或者 $DC(O_i) = h_dev$; 如果 $T_{now} - T_{last} > MT$, $OP = HitCount$ 继续统计 O_i 的引用频率, 层级不变;

(3) if $E(t) = EH, DE(t) = DL$, then $U = EM$, 并且 $T_{now} - T_{last} < MT$, 那么将执行升级操作 $OP = HitCount$, 层级不变;

(4) if $E(t) = EM, DE(t) = DH$, then $U = EM$, 并且 $T_{now} - T_{last} < MT$, 那么将执行操作 $OP = HitCount$, 层级不变; 如果 $T_{now} - T_{last} > MT$, 那么将执行降级操作 $OP = MigDown$, 如果 $(O_i) = m_dev$, 使得 $DC(O_i) = l_dev$; 如果 $DC(O_i) = h_dev$, 那么 $DC(O_i) = m_dev$ 或者 $DC(O_i) = l_dev$;

(5) if $E(t) = EM, DE(t) = DM$, then $U = EM$, 那么将执行操作 $OP = HitCount$, 如果 $DC(O_i) = m_dev$, 使得 $DC(O_i) = h_dev$; 如果 $DC(O_i) = l_dev$, 那么 $DC(O_i) = m_dev$ 或者 $DC(O_i) = h_dev$;

(6) if $E(t) = EM, DE(t) = DL$, then $U = EM$, 那么将执行降级操作 $OP = MigDown$, 如果 $(O_i) = m_dev$, 使得 $DC(O_i) = l_dev$; 如果 $DC(O_i) = h_dev$, 那么 $DC(O_i) = m_dev$ 或者 $DC(O_i) = l_dev$;

(7) if $E(t) = EL, DE(t) = DH$, then $U = EL$, 并且 $T_{now} - T_{last} < MT$, 那么将执行操作 $OP = HitCount$; 如果 $T_{now} - T_{last} > MT$, 那么将执行降级操作 $OP = MigDown$, 如果 $DC(O_i) = m_dev$, 使得 $DC(O_i) = h_dev$; 如果 $DC(O_i) = l_dev$, 那么 $DC(O_i) = m_dev$ 或者 $DC(O_i) = h_dev$;

(8) if $E(t) = EL, DE(t) = DM$, then $U = EM$, 那么将执行升级操作 $OP = HitCount$, 层级不变;

(9) if $E(t) = EL, DE(t) = DL$, then $U = EL$, 并且 $T_{now} - T_{last} > MT$, 那么将执行升级操作 $OP = MigDown$, 如果 $DC(O_i) = m_dev$, 使得 $DC(O_i) = h_dev$; 如果 $DC(O_i) = l_dev$, 那么 $DC(O_i) = m_dev$ 或者 $DC(O_i) = h_dev$;

根据上述规则对模糊逻辑进行推理, 在完成了模糊规则的基础上与推理方法结合从而建立模糊查询表。查询表后, 就可以将实测变量离散化并量化到相应的论域中, 再根据量化值来分析查询表, 即可得到输出量在量化论域中的值。假设存在 k 条规则:

$$L_i: \text{if } A_i \text{ and } B_i \text{ then } C_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, k; j \leq k.$$

每条规则的关系为:

$$R_i = A_i * B_i * C_{ij}$$

由此, $R = R \cup R_i$ 。设 A_i 的论域为 $[-n, -n+1, \dots, 0, \dots, n-1, n]$, 对精确量 x 进行量化处理后映射为对应论域的某个元素:

$$\begin{cases} A_1 = 1/(-n+0)/(-n-1) + \dots + 0/0 + \dots + 0/(n-1) + 0/n; \\ A_2 = 0/(-n+1)/(-n-1) + \dots + 0/0 + \dots + 0/(n-1) + 0/n; \\ \dots \\ A_{2n+1} = 0/(-n+0)/(-n-1) + \dots + 0/0 + \dots + 0/(n-1) + 1/n; \end{cases}$$

根据模糊关系求出模糊量 C_{ij} :

$$C_{ij} = (A_i * B_i) \circ R_i$$

然后利用最大隶属度方法进行解模糊化, 得到输出控制量 U 。

4 实验分析

实验中主要软/硬件设备、测试设备包括一台浪潮的 DS3500 存储系统, 其中包括 500G 的 SAS 盘, 2000G 的 SATA 盘以及一个 8G 的 U 盘。将 SAS 盘划分 1G 作为 h_dev 层级, SATA 盘划分出 1G 作为 m_dev , U 盘划分出 3G 作为 l_dev 层级。另外, FLM 原型系统运行在 CentOS 系统中内核版本为 3.2.37 的平台之上, 性能测试客户端运行在 Window2008 平台之上, 构建了千兆以太网的运行环境, 并且搭建了 FTP 服务作为应用模式进行性能测试。在性能测试时使用 LoadRunner 专业性能测试工具, 分别进行多粒度并发访问的仿真测试。

为了针对应用环境的性能进行评估, 在未引入 FLM 之前对系统的迁移性能进行测试。利用 LoadRunner 模拟多用户同时执行应用环境操作, 对存储在低速设备的冷数据进行密集 IO 访问请求。随后, 对存储设备分析了数据管理操作中对于性能影响最为明显的块迁移操作对前台应用程序所产生的影响。在原型系统中搭建 FTP 服务器, 在客户端利用 LoadRunner 模拟 25 个用户, 同时利用 FTP 服务下载 100M 的文件。测试效果如图 2 所示, 此时, 可以看到事务响应时间出现了一定的波动, 由于访问频率增长, 进行了多块数据的迁移, 从而对系统的整体访问性能产生了一定的影响。

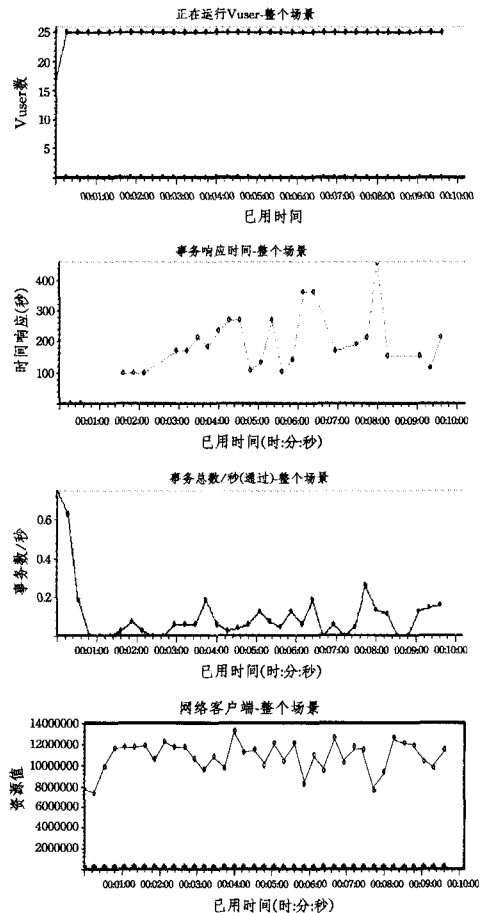


图 2 FTP 服务测试

在进行数据分级管理过程中, 引入 FLM 模型对整个管理过程中包括的关键要素进行抽象描述。对于数据的管理操作 OP , 其执行条件需要满足模糊推理规则的定义, 而不再是

(下转第 313 页)

- [2] Wu M J, Peng X R. Spatio-temporal context for codebook-based dynamic background subtraction [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2010, 64(8): 739-747
- [3] Zha Y F, Bi D Y, Yang Y. Learning complex background by multi-scale discriminative model [J]. Pattern Recognition Letters, 2009(30): 1003-1014
- [4] Zhang X, Yang J. A novel algorithm to segment foreground from a similarly colored background [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2009, 63: 831-840
- [5] Dickinson P, Hunter A, Appiah K. A spatially distributed model for foreground segmentation [J]. Image and Vision Computing, 2009(27): 1326-1335
- [6] Butler D E, Jr V M B, Sridharan S. Real-time adaptive foreground/background segmentation [J]. EURASIP journal on Applied Signal Processing, 2005, 14: 2292-2304
- [7] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour models [J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4): 321-331
- [8] An G C, Yang H, Wu Z Y. A Novel Fast Moving Object Contour Tracking Algorithm [J]. Journal of Electronics (China), 2009, 26(1): 94-100
- [9] Cheng Y Z. Mean shift, mode seeking, and clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799
- [10] Hu J S, Juan C W, Wang J J. A spatial-color mean-shift object tracking algorithm with scale and orientation estimation [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(16): 2165-2173
- [11] Chen Shu, Zou Bei-ji, Li Ling-zhi. A novel particle filter with implicit dynamic model for irregular motion tracking [J]. Machine Vision and Applications, 2013, 1432-1769

(上接第 287 页)

简单根据阈值法进行 *MigUp* 或者 *MigDown* 操作。在模糊推理规则中,其前置条件包括模糊输入量 $E(t)$ 与 $DE(t)$,在两个变量体现数据块 S_i 的热度时,从 S_i 的被访问频率以及频率的变化来反映其活跃程度。 S_i 虽然被访问,并且可能超过了阈值,但是,其访问时间是在很长一段周期内完成,那么 $DE(t)$ 值也不会很高,从而反映出 S_i 的活跃程度不高,很可能在未来一段周期内不会出现密集访问情况,存在一定的降级预期,那么根据模糊推理规则输出结果 $U=EM$,表明还需要一段时间的观察,所以 *OP* 执行 *HitCount* 操作,即层级不变继续执行引用频率的统计分析工作。这样避免了盲目的升级或者降级操作,保留一个操作缓冲区使得整个迁移过程更加平滑,不是一种非此即彼的过程。如图 3 所示,在引入了 FLM 的规则后,系统的响应时间整体上比较平稳,对于后半段出现的波峰主要是由于数据的访问出现了网络的拥塞所致,但是从系统整体运行过程考虑迁移操作的影响相对平缓。

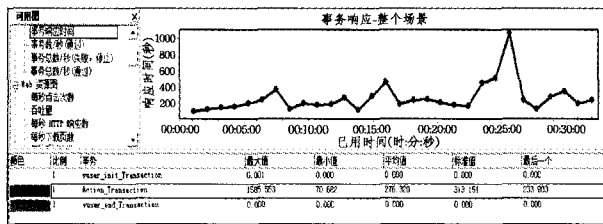


图 3 FLM 模型影响

结束语 数据分级存储过程中,存在着由于热点数据定义模糊所导致的迁移抖动问题,通过引入模糊逻辑推理分析的理论,对热点数据的特征变量进行模糊化处理,并且完成将精确值转化到模糊量化论域,从而能够用模糊语言进行定义,然后根据专家经验给出模糊推理规则,并且在模糊规则之中对数据分级存储特征模型 FLM 的层级变量进行设置,最后通过最大隶属度计算方式得到输出量变量。通过分析发现,基于模糊逻辑的 FLM 模型能够在一定程度上有效应对数据迁移抖动问题,并且能够将数据特征的模糊化概念进行合理

分析。

参考文献

- [1] Massiglia P. Exploiting Multi-tier File Storage Effectively 2009 [OL]. http://www.snia.org/education/tutorials/2009/spring/file/Paul_Massiglia_Exploiting_Multi-Tier_File_StorageV05.pdf
- [2] Shah G, Voruganti K, Shivam P, et al. ACE: Classification for information lifecycle management [C] // Proc of NASA Mass Storage Systems and Technologies (MSST 2006). Washington, D C: IEEE, 2006
- [3] Tim L C, Simth C H M, Miller E L. An improved long-term file usage prediction algorithm [OL]. <http://users.soe.ucsc.edu/~elm/Papers/cmg99.pdf>, 1999
- [4] Compellent D. Automated Tiered Storage-Data Progression [OL]. <http://www.compellent.com/Products/Software/Automated-Tiered-Storage.aspx>
- [5] EMC. EMC FAST VP FOR UNIFIED STORAGE SYSTEMS [R]. <http://www.emc.com/collateral/software/white-papers/h8058-fast-vp-unified-storage-wp.pdf>
- [6] Gong Zhang, Chiu L, Liu Ling. Adaptive data migration in multi-tiered storage based cloud environment [C] // 2010 IEEE 3rd Int Conf on cloud computing. Piscataway, NJ: IEEE, 2010: 32-38
- [7] 聂雪军,秦磊华,周敬利,等.内容感知存储系统中自动分级存储模型研究 [J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(6)
- [8] Guerra J, Pucha H, Glider J, et al. Cost Effective Storage using Extent Based Dynamic Tiering [C] // The Proceeding of USENIX Conference on File and Storage Technologies. 2011: 273-286
- [9] 宋丽娜,戴华东,任怡.基于海量数据存储系统多级存储介质的热点数据区分方法 [J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(Suppl.): 6-11
- [10] 魏武,张起森,王明俊,等.一种基于模糊逻辑的城市交叉口交通信号控制方法 [J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(2): 99-102
- [11] 胡春斌,安实,王健.基于模糊逻辑的路径选择模型 [J]. 城市交通, 2009, 7(5): 91-95