

基于多层空间模糊减法聚类算法的 Web 数据库安全索引

林楠 史苇杭

(郑州大学软件技术学院 郑州 450002)

摘要 目前对 Web 数据库进行索引查询时采用单层文本特征聚类方法,当聚类特征不一致时,存在着非法聚类和非法结果输出的安全问题。提出一种基于多层空间模糊减法聚类的 Web 数据库安全索引算法,该算法将数据库信息矢量构建成多层矢量自回归空间,把数据流信息聚焦在空间的多层空间模糊聚类中心,采用减法聚类的模糊推理方法构建数据库索引函数,变尺度调整聚类中心向量,搜索索引结果,阻止了邻近数据点非法侵入和非法聚类,实现了 Web 数据库安全索引。仿真实验表明,该算法能使数据库信息流在多层矢量自回归空间中充分展开,特征匹配度比传统算法显著提高,能有效排除非法数据输出,保证数据库安全索引。

关键词 Web 数据库,模糊减法聚类,自回归,安全索引

中图分类号 TP311 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.10.046

Web Database Security Index Based on Multi-layer Space Fuzzy Subtractive Clustering Algorithm

LIN Nan SHI Wei-hang

(College of Software Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract The current database index uses the single text feature clustering method in the indexing query on the Web database. When the clustering features are different, the illegal clustering and illegal output problems occurred. A Web database security index method was proposed based on multi-layer space fuzzy subtractive clustering. The database information vector is constructed as a multilayer vector autoregressive space. The data flow information is focused on the multi-layer fuzzy clustering centers, and the fuzzy inference system of subtractive clustering is used to establish the database index function. The clustering center vector is adjusted in variable scales. The neighboring data point's illegal intrusion and clustering problems are avoided. The Web database security index is realized. Simulation result shows that the new algorithm can make the database information flow expanded in the multilayer vector autoregressive space. The feature matching degree is improved greatly, and illegal data output is removed. The security index can be ensured.

Keywords Web database, Fuzzy subtractive clustering, Autoregressive, Security index

1 引言

随着计算机网络技术的发展和信息存储需求的膨胀, Web 数据库的构建和安全访问索引问题逐渐进入人们的视野, Web 数据库多以分布式数据库系统的形式存在, Web 数据库系统是物理上分散存储但数学逻辑上集中处理的数据库系统,在 Web 网络上进行分散存储,集中管理和索引。由于 Web 数据库存储点不统一,因此 Web 数据库的结构远比本地集中型数据库复杂,所以必须有一种行之有效的 Web 数据库安全方法,使得数据库资源能有效应用,对数据库中的信息流进行合理管理和开发,达到优化效能的目的。而今 Web 数据库安全索引问题日益受到国内外学者专家的关注,成为影响现代网络和信息技术发展的瓶颈。

传统方法中, Web 数据库的查询访问算法多集中在一维信息流矢量空间中,进行单层关键词聚类和索引。文献[1]提出一种基于图模型的 Web 数据库采样方法,通过查询接口从

Web 数据库中进行随机样本查询,然而查询接口受到属性表现形式的局限,且采用单层关键词聚类索引,不能有效体现数据信息流的特征,采样性能不佳;马军,宋玲等在文献[2]中提出一种基于 URL 文本特征分析的 Web 数据库分类查询方法。该方法通过利用 URL 内容文本特征对数据库知识进行分类标记,实现 KNN 分类查询,但网页上下文文本特征对 Web 数据库的深度信息不能合理表征,导致分类精度和查全率不高,不能有效实现数据匹配和安全访问。凌妍妍,孟小峰等在文献[3]中采用属性相关度估计的方法对 Web 数据库大小进行估计,该方法能准确估算 Web 数据库大小。刘冬宁等人提出一种基于时态数据库极小结构逻辑系统,使 Web 数据库系统在大型网络级联系统具有更强的普适性和应用性^[4]。事实上, Web 数据库存储信息规模庞大,动态更新迅速,非法数据植入和网络攻击入侵威胁严重,在数据查询索引和访问中, Web 数据库经常会出现非法输出、查询为空和匹配不准确等问题,甚至导致系统遭受网络攻击而瘫痪^[5-8]。

到稿日期:2013-12-31 返修日期:2014-04-09 本文受国家科技型中小企业技术创新基金项目: Mobile Access Adapter 移动接入适配中间件(10C26214102198),河南省科技攻关项目:基于嵌入式 Linux 的 IPTV 高清全媒体播放器的研究(102102210490)资助。

林楠(1973-),女,副教授,主要研究方向为下一代互联网技术与嵌入式系统, E-mail: linnan@zzu.edu.cn;史苇杭(1980-),女,硕士生,讲师,主要研究方向为嵌入式系统和数控系统开发。

针对上述问题,本文提出一种采用多层空间模糊减法聚类的 Web 数据库安全索引算法,通过该算法有效排除非法数据输出,实现数据库安全索引^[9,10]。

2 Web 数据库多层矢量自回归空间的构建

对 Web 数据库进行安全索引,本质上是对数据库中的信息流进行数据信息处理,涉及到对数据信息的特征提取和聚类分析,在单层空间中,数据信息流的多层多维特征无法获取,必然导致数据访问效率降低,无法保证 Web 数据库的安全索引。本文把 Web 数据库中的数据信息映射到多层矢量自回归空间中,进行数据库安全索引算法和模型的构建,具体描述如下。

2.1 Web 数据库特征提取预处理流程

把 Web 数据库中的数据信息映射到多层矢量自回归空间前,需要进行 Web 数据库特征提取预处理,输入数据经过数据预处理后,形成符合实验需求的数据输入集合。通过提取信息流的信息增益特征,完成 Web 数据库特征提取预处理,提取算法描述如下:首先对 Web 数据库信息流序列连续数据集属性离散化处理,对数据信息增益特征进行同步属性冗余滤波处理。令 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为 Web 数据库信息流预处理特征序列训练集的属性集, $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 为查询属性类别集, a_i 的属性值为 $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ 。首先将训练集与它们所属的类别进行关联;其次从训练集的属性集中利用信息增益 Gain 选出属性集中的最优分裂属性。可以通过式(1)一式(3)产生信息增益。Web 数据库信息流序列通过属性集分类得到信息增益表达式为:

$$Info(B) = -\sum_{i=1}^m p_i \times \log_2 p_i \quad (1)$$

$$Info_A(B) = \sum_{j=1}^v \frac{|B_j|}{|B|} \times Info(B_j) \quad (2)$$

$$Gain(A) = Info(B) - Info_A(B) \quad (3)$$

根据最优信息增益属性的值将训练集划分为若干个子集。然后在每个子集中递归地选取新的最优分裂属性,并将该子集进行分裂,直到无属性划分或最终的子集都属于一个类别,通过上述方法得到 Web 数据库信息流的信息增益特征,其中 p_i 是指训练集中属于 b_i 类的元素所占比重。 B_j 表示在训练集中含有 a_x 属性中的 c_v 值的元素集合。通过上述 Web 数据库特征提取预处理,得到数据信息流的预处理特征,作为后续多层空间模糊聚类的原始样本和 Web 数据库安全索引训练集。

2.2 多层矢量自回归空间构建

在上述特征提取预处理的基础上,本文提出一种采用多层空间模糊减法聚类的 Web 数据库安全索引算法,用数据库信息矢量构建多层矢量自回归空间,使得 Web 数据库信息流能在多层矢量自回归空间中有效展开自回归信息特征,为特

$$X = [x(t_0), x(t_0 + \Delta t), \dots, x(t_0 + (K-1)\Delta t)]$$

$$= \begin{bmatrix} x(t_0) & x(t_0 + \Delta t) & \dots & x(t_0 + (K-1)\Delta t) \\ x(t_0 + J\Delta t) & x(t_0 + (J+1)\Delta t) & \dots & x(t_0 + (K-1)\Delta t + J\Delta t) \\ \vdots & \dots & \ddots & \dots \\ x(t_0 + (m-1)J\Delta t) & x(t_0 + (1+(m-1)J)\Delta t) & \dots & x(t_0 + (N-1)\Delta t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中, $x(t)$ 表示数据库信息流多层空间状态矢量, J 是多层空间建构偏移因子, m 是信息流融入多层维数, Δt 表示的是数据库信息流在时间轴上的抽样时间间隔。

征匹配提供逻辑依据。多层矢量自回归空间构建过程描述如下:

基于非线性微分方程模型,给出自回归调控特征响应的模型如下:

$$\begin{cases} \dot{m}_i(t) = -a_i m_i(t) + b_i(p_1(t-\sigma), p_2(t-\sigma), \dots, p_n(t-\sigma)) \\ \dot{p}_i(t) = -c_i p_i(t) + d_i m_i(t-\tau) \end{cases} \quad (4)$$

其中, $m_i(t), p_i(t) \in R$, 表示第 i 个结点的多层自回归空间时域长度和控制长度。 a_i 和 c_i 分别表示自回归衰减速率。 d_i 是响应速率, $b_i(\cdot)$ 表示第 i 个结点的调控函数,通过多层累加共同作用,实现第 i 个调控网络模型的信息累加。调控函数形式为:

$$b_i(p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)) = \sum_{j=1}^n b_{ij}(p_j(t)) \quad (5)$$

上式也被称为多层自回归映射逻辑。调控函数 $b_{ij}(p_j(t))$ 是一个 Hill 形式的非线性自回归移动平滑的单调函数, $b_{ij}(p_j(t))$ 的表达形式为:

(1) 如果 Web 数据流信息聚焦在多层空间模糊聚类中心,则 j 是 i 的激活因子,那么:

$$b_{ij}(p_j(t)) = a_{ij} \frac{(p_j(t)/\beta_j)^{H_j}}{1 + (p_j(t)/\beta_j)^{H_j}} \quad (6)$$

(2) 如果 Web 数据流信息没有聚焦在多层空间模糊聚类中心,则 j 是基因 i 的抑制因子,那么:

$$b_{ij}(p_j(t)) = a_{ij} \frac{1}{1 + (p_j(t)/\beta_j)^{H_j}} \quad (7)$$

其中, H 是 Hill 系数, β_j 为一个正常量, a_{ij} 是聚类系数 j 对数据激活系数 i 的转录速率,它是一个有界的常量。创建一个多层矢量自回归空间 Web 数据库信息流轨迹,在多层矢量自回归空间中,它保持了原数据库信息流系统中许多几何特征量的不变性,这为分析原 Web 数据库系统的特征检测奠定了基础。假设 Web 数据库中数据信息流序列表示为 $\{x_n\}$, 它作为一个连续系统,可描述为:

$$x_n = x(t_0 + n\Delta t) = h[x(t_0 + n\Delta t)] + \omega_n \quad (8)$$

其中, $h(\cdot)$ 表示系统函数, ω_n 为测试误差。数据信息流矢量群集合 R 映射到一个多层矢量自回归空间的矢量场中,该矢量场在多层空间中具有光滑性,能有效反映信息流特征,维数假设为 d , 则对于 R , 有: $R \rightarrow R^{2d+1}$ 。那么多层空间系统表示为:

$$\Phi(z) = (h(z), h(\varphi_1(z)), \dots, h(\varphi_{2d}(z)))^T \quad (9)$$

在此,假设测试误差为 0,且数据库信息流矢量长度为 N ,进行采样抽取,设置多层矢量自回归空间构建时间尺度索引因子为 J ,得到信息流时间序列 $\{x(t_0 + i\Delta t)\}, i=0, 1, \dots, N-1$,那么,数据库信息流在多层矢量自回归空间的矢量场映射可描述为:

2.3 自相关函数法求取尺度系数

多层矢量自回归空间中,设置模糊减法聚类函数,把数据流信息聚焦在多层空间模糊聚类中心,排除了邻近数据点非

法侵入和聚类安全问题的发生,然而,尺度系数的选择是构建多层矢量自回归空间的关键。本文采用自相关函数法,选择尺度系数 τ ,算法描述如下:

考察 Web 数据库信息流矢量 x 和 $x_{t+\tau}$,根据信息增益特征提取,得到相邻矢量之间尺度调整线性相关,求解尺度调整自相关函数,其表示形式为关于尺度系数 τ 的函数图像,根据经验模型,当自相关函数下降到初始值的 $1-1/e$ 时,变尺度调整聚类中心向量得到的中心聚类最优,此时,对应的 τ 为尺度系数。对于连续变量 $x(t)$,其自相关函数 $C(\tau)$ 定义为:

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^T x(t)x(t+\tau)dt \quad (11)$$

其中, τ 为尺度系数,表示数据聚类变化过程中尺度的变化移动,同时也是数据库信息流在信息检索中两时刻 t 和 $t+\tau$ 相互关联或相似的程度。当 $x(t)$ 为一定的尺度变化幅值时, $C(\tau)$ 越大,则意味着 $x(t)$ 与 $x(t+\tau)$ 越相似,数据特征匹配效果越好,聚类效果较佳。反之, τ 越大, $x(t)$ 与 $x(t+\tau)$ 的差别越大,最后以致 $x(t)$ 与 $x(t+\tau)$ 完全无关, $C(\tau)$ 越来越小直到趋于 0。

Web 数据库信息流序列 $\{x_i\}$ 时间跨度为 $j\tau$ 的自相关函数为:

$$C_{xx}(j\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i x_{i+j\tau} \quad (12)$$

得到信号特征变量的期望值相互独立,有:

$$E\{h_1(y_1)h_2(y_2)\} = E\{h_1(y_1)\}E\{h_2(y_2)\} \quad (13)$$

定义 $E\{[X-E(X)][Y-E(Y)]\}$ 为随机变量 X 与 Y 的协方差,记为 $Cov(X,Y)$,此时假设随机变量 X 与 Y 分别是 Web 数据库信息流变量变尺度调整聚类中心向量和中心系数,其自相关协方差为:

$$Cov(X,Y) = E\{[X-E(X)][Y-E(Y)]\} \quad (14)$$

此时,得到两组信息流的自相关系数,表示为:

$$\rho_{xy} = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{D(X)}\sqrt{D(Y)}} \quad (15)$$

其中, ρ_{xy} 是一个无量纲的量。通过上述自相关函数法的计算,得到尺度系数 τ ,从而获得变尺度调整聚类中心向量,指导多层矢量自回归空间的构建,最终优化数据库索引输出结果。

通过上述方法,把数据库信息矢量构建成多层矢量自回归空间,便于有效应用多层矢量自回归空间状态信息。为了把数据流信息聚焦在多层矢量自回归空间的多层空间模糊聚类中心,实现数据库的准确访问,本文将提出设置模糊减法聚类函数,把数据流信息聚焦在上述空间的多层空间模糊聚类中心中,避免了邻近数据点非法侵入,并排除了冗余查询和非法结果,提高了数据库索引的安全性能。

3 模糊减法聚类方法的提出和数据库安全索引实现

3.1 问题描述

在上述进行 Web 数据库多层矢量自回归空间构建的基础上,针对传统上对 Web 数据库进行索引查询时采用单层关键词聚类方法,致使数据索引尺度匹配性能不好,出现非法聚类和非法结果输出的问题,本文提出采用多层空间模糊减法聚类的 Web 数据库安全索引算法,在多层矢量自回归空间中,设置模糊减法聚类函数,把数据流信息聚焦在多层空间模糊聚类中心中,排除伪邻近数据点非法侵入和非法聚类^[11]。

模糊减法聚类是用来估计数据库在多层矢量自回归空间

中聚类个数和聚类中心位置的快速多状态数据融合算法,模糊减法聚类将每个数据点作为一个可能的聚类中心,通过设置模糊减法聚类函数,对数据信息流进行多层聚焦。排除了邻近数据点非法侵入和非法信息的干扰。

3.2 算法实现

在采用 Web 数据库信息流特征构建的多层矢量自回归空间中,采用多层空间模糊减法聚类,Web 数据库安全索引算法描述如下:

对于含有海量的数据流信息,数据信息流 $x(t)$ 在如前述所述的多层矢量自回归空间中进行融入,得到多层矢量自回归空间轨迹矢量场 X ,设计系统函数模糊减法聚类转移算子 $h_i(t)$, $n_{pi}(t)$ 为信息流查询干扰项,得到第一子代减法聚类离散度为:

$$X_n(t) = X(t) * h_i(t) + n_{pi}(t) \quad (16)$$

其中, $h_i(t)$ 表示 $X(t)$ 在 Web 数据库模糊推理系统构建的数据库索引函数,即数据库安全索引响应函数,同时有:

$$S_n(t) = S(t) * h_i'(t) + n_{si}(t) \quad (17)$$

其中, $h_i'(t)$ 为 $S(t)$ 数据索引时 Web 数据库数据的信道响应函数,由此可得:

$$\begin{aligned} r_i'(t) &= S_n(t) * X_n(-t) \\ &= S(t) * X(-t) * h_i'(t) * h_i(-t) + n_{si}(t) \end{aligned} \quad (18)$$

其中:

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{i=1}^M r_i'(t) * X(t) \\ &= S(t) * X(t) * X(-t) * \sum_{i=1}^M h_i'(t) * h_i(-t) + \\ &\quad \sum_{i=1}^M n_{si}(t) \end{aligned} \quad (19)$$

当对信息流减法聚类多层聚类中心进行卷积计算时, $p(t)$ 为自相关系数映射到单位立方体多层矢量空间中得到的索引控制参量,对应的 $r(t)$ 为:

$$\begin{aligned} r(t) &\cong S(t) * \delta(t) * \sum_{i=1}^M \delta(t) + \sum_{i=1}^M n_{si}(t) \\ &= MS(t) + \sum_{i=1}^M n_{si}(t) \end{aligned} \quad (20)$$

对于多层索引迭代过程,加入尺度变换算子数据 $S(t)$,设置为散布控制量,从而得到:

$$\hat{h}(t) = \sum_{i=1}^M h_i'(t) * h_i(-t) \quad (21)$$

而

$$X(t) * X(-t) \cong \delta(t) \quad (22)$$

数据库信息流采用上述信息增益特征量进行数据类间距干扰项特征同类型匹配,对 $p(t)$ 执行自相关的卷积,从而得到优化的数据查询响应函数:

$$\begin{aligned} H(t) &= \hat{h}(t) * X(t) * X(-t) \\ &= (\sum_{i=1}^M h_i'(t) * h_i(-t)) * X(t) * X(-t) \end{aligned} \quad (23)$$

故, $\hat{h}(t)$ 与 $X(t) * X(-t)$ 近似于 $\delta(t)$ 的程度直接关系到数据库信息模糊减法聚类效果的好坏; $r(t)$ 近似为散布查询类别 $S(t)$,用以各数据信息流中文本的分类,实现最佳匹配,在多层矢量自回归空间中,把数据流信息聚焦在多层空间模糊聚类中心中,实现最优索引。

4 仿真实验与结果分析

为了测试本文提出的采用多层空间模糊减法聚类的 Web 数据库安全索引算法的可行性,对实际的 Web 数据库样

本进行查询索引仿真实验。首先进行 Web 数据库样本特征提取的测试,测试数据来自互联网,采用 CWT200G 数据结合方式,借助随机抽取的方法得到 10 万余 Web 数据库。算法采用 Windows 7 硬件环境,并以 SQL 和 MATLAB 语言混合编程,实现算法仿真。通过随机生成 Web 数据集数据长度为 100200 的预测数据时间序列,进行了 4 次采样,构建 Web 数据库级联系统。首先构建多层矢量自回归空间,构建的第一步是采用自相关函数法计算尺度系数 τ ,尺度系数计算仿真结果如图 1 所示,得知构建的多层矢量自回归空间尺度系数 τ 为 0.43。采用本文方法进行信息增益特征提取,构建 Web 数据库信息流的多层矢量自回归空间,信息增益特征提取仿真结果如图 2 所示,在信息增益特征提取预处理的基础上,构建 Web 数据库信息流矢量轨迹多层矢量自回归空间,矢量轨迹展开图如图 3 所示。

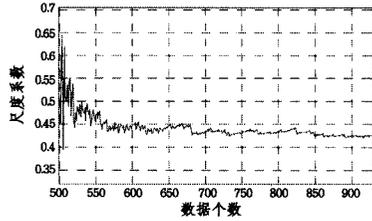


图 1 自相关函数法计算尺度系数

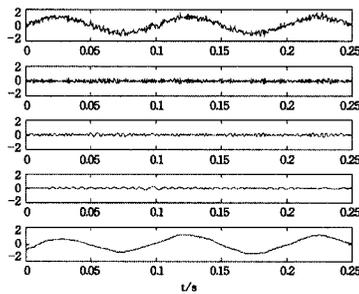


图 2 Web 数据库信息流多层信息增益特征提取

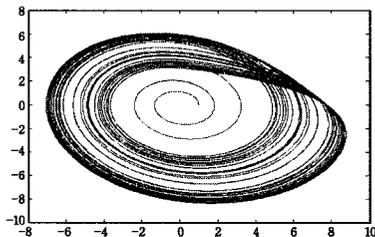


图 3 Web 数据库信息流多层矢量自回归空间展开

从图 3 可见,通过本文方法构建的信息流矢量场在多层矢量自回归空间能有效进行信息特征融入,矢量特征合理展开,互补冗余,能对数据库中的信息进行零干扰性挖掘提取,实现准确索引。通过上述方法对数据库中蕴藏的信息流进行多层矢量自回归空间的融入和建构,可以得到数据库信息流的高维特征矢量,采用模糊减法聚类函数,把数据流信息聚焦在多层空间模糊聚类中心,最后采用减法聚类的模糊推理系统构建数据库索引函数,变尺度调整聚类中心向量,搜索查询结果。采用本文方法和文献[2]提出的 Web 数据库文本词频统计方法进行数据库索引仿真,得到 Web 数据库索引特征匹配响应性能仿真图如图 4 所示。从图对比可见,采用传统方法进行 Web 数据库索引,特征匹配响应不明显,出现大量的“毛刺”和“伪峰”,很可能是一些非法数据和邻近特征点的侵入数据,导致冗余查询和非法结果输出问题,不能有效地实现

索引和数据库访问查询;而采用本文算法,因为有效应用了多层矢量自回归空间状态信息,变尺度调整聚类中心向量,搜索查询结果,故而得到的数据库索引特征匹配性能较好,数据聚类效果明显,能有效排除非法数据输出,实现数据库安全索引和高效访问。采用 Monte Carlo 算法,实行多次访问,计算得到正确特征匹配准确率达到 99.8%,比传统方法提高了 15.6%,这表明本文方法进行 Web 数据库访问时具有优越性,可避免非法数据的入侵,保障信息安全。

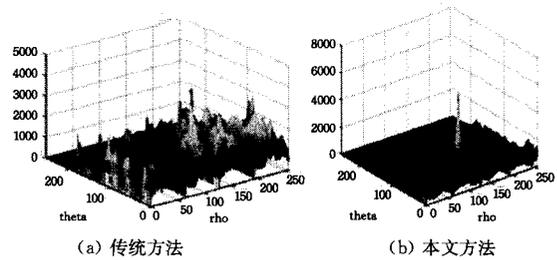


图 4 Web 数据库索引特征匹配响应性能

结束语 本文重点研究 Web 数据库高效安全索引方法,对传统的单层关键词文本匹配数据库索引算法进行改进,提出一种采用多层空间模糊减法聚类的 Web 数据库安全索引算法,通过信息增益特征对数据库信息矢量进行预处理,映射到多层矢量自回归空间中进行特征匹配,设置模糊减法聚类函数,把数据流信息聚焦在多层空间模糊聚类中心中,变尺度调整聚类中心向量,实现数据库安全索引。通过理论研究和实验仿真,得出本文算法能有效应用多层矢量自回归空间状态信息,数据库索引特征匹配性能较好,数据聚类效果明显,能有效排除非法数据输出,有效避免冗余查询和非法结果输出,实现数据库安全索引和高效访问,索引准确率提高明显。研究成果在 Web 数据库构建和访问研究领域具有重要的实践价值。

参考文献

- [1] 刘伟,孟小峰,凌妍妍.一种基于图模型的 Web 数据库采样方法[J].软件学报,2008,19(2):179-193
- [2] 马军,宋玲,韩晓晖,等.基于网页上下文的 Deep Web 数据库分类[J].软件学报,2008,19(2):267-274
- [3] 凌妍妍,孟小峰,刘伟.基于属性相关度的 Web 数据库大小估算方法[J].软件学报,2008,19(2):224-236
- [4] 刘冬宁,汤庸,滕少华,等.基于时态数据库的极小子结构逻辑系统[J].计算机学报,2013,36(8):1592-1601
- [5] 张薇,谢红梅,王保平.一种新型的分段 Logistic 混沌扩频通信算法[J].计算机科学,2013,40(1):59-62
- [6] 刘伟,孟小峰,孟卫一. Deep Web 数据集成研究综述[J].计算机学报,2007,30(9):1475-1489
- [7] 韦新丹.模糊 C 算法在网络入侵防护中的仿真研究[J].科技通报,2012,28(12):221-223
- [8] 刘燕.基于云计算信息处理系统体系结构设计[J].科技通报,2012,28(18):100-102
- [9] 马建红,姬莉霞.基于免疫多 Agent 的网络监控系统模型研究[J].计算机仿真,2013,30(5):213-216
- [10] 刘遒,郭立红,肖辉,等.基于参数动态调整的动态模糊神经网络的软件可靠性增长模型[J].计算机科学,2013,40(2):186-190
- [11] 林冬茂,薛德黔.一种基于无监督免疫优化分层的网络入侵检测算法[J].计算机科学,2013,40(3):180-182,191
- [12] 李川.应用半连接的分布式数据库查询优化算法[J].重庆理工大学学报:自然科学版,2013,27(11):74-77