

# 基于本体的 Web 服务可靠性动态评估方法

王广正 王喜凤 夏 敏

(安徽工业大学计算机学院 马鞍山 243002)

**摘 要** 为解决现有 Web 服务可靠性评估方法中存在的语义支持问题,构建了 Web 服务可靠性本体。在此本体的基础上,提出了基于贝叶斯网络的 Web 服务可靠性评估方法。该评估方法可解决 Web 服务可靠性缺乏语义描述的问题,也能通过贝叶斯网络推理对原子服务可靠性进行评估,为 Web 服务的自动发现、组合和执行奠定基础。3 组实验结果表明,该评估方法可行、实用且有效。

**关键词** Web 服务,可靠性,本体,贝叶斯网络

**中图法分类号** TP311 **文献标识码** A

## Ontology-based Dynamic Reliability Evaluation Model for Web Services

WANG Guang-zheng WANG Xi-feng XIA Min

(School of Computer Science, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

**Abstract** Current reliability evaluation approaches lack a formal semantic representation and the support of incomplete or uncertain information. To fill this gap, Web service reliability ontology (WSRO) was developed. WSRO is mapped to a probability graphical model, and on this basis, the Web service reliability evaluation results can be obtained by the causality reasoning. This approach can solve the problem of the lack of semantic description, assess the reliability of Web service, and lay the foundation for Web service auto-discovery, auto-composition and auto-execution. Experimental results show that the approach is feasible, applicable and effective.

**Keywords** Web services, Reliability, Ontology, Bayesian network

## 1 引言

Web 服务是一种运行在 Web 上的自包含、自描述、模块化的应用程序。由于服务提供者和请求者相互独立,他们之间并不存在确定的信任关系,因此若服务提供者故意夸大服务质量,则服务请求者无法从其 WSDL 声明中得知实际服务质量;而 WSDL 及 SOAP 架构可屏蔽 Web 服务的技术细节,服务请求者可能因信息不足导致无法对服务进行控制。除此之外,Web 服务的质量还受 Internet 环境和运行环境的影响。因此,如何向服务请求者描述 Web 服务并确保其质量是一个热点问题<sup>[1,2]</sup>。服务可靠性作为服务质量的一个主要度量标准<sup>[1,3]</sup>,对服务的选择、组合和评估都起到重要的作用。目前 Web 服务可靠性在服务的扩展 WSDL 声明中被当作一个 QoS 属性进行描述,服务提供者和请求者间基于关键字进行匹配。此方式简洁实用;但不能完全描述 Web 服务可靠性,不考虑可靠性的语义顺序,从而导致查准率不高。

为解决 Web 服务可靠性缺乏语义描述的问题,本文构建了 Web 服务可靠性本体来对服务可靠性的多种属性进行明确定义,为服务提供者和请求者建立交流标准,以达到知识共享。基于此 Web 服务可靠性本体,本文提出基于 Web 服务可靠性本体的原子服务可靠性评估模型,即应用不确定

性推理对原子服务可靠性进行评估,以改进上述方法的适应性并降低测试费用。通过实验验证了该方法的有用性和有效性。

## 2 Web 服务可靠性本体构建

进行 Web 服务可靠性研究,首先需充分考虑 Web 服务自身的特点,从而确定 Web 服务可靠性的指标体系,并进行量化,以作为评价服务可靠性的准则。服务提供者和请求者使用相同的可靠性属性和度量去描述可靠性,为服务参与者的交流奠定基础,以实现 Web 服务可靠性知识域共享。

### 2.1 Web 服务可靠性组成

Web 服务具有松耦合、互操作、平台独立等特点,这些特点决定 Web 服务可靠性属性与传统软件可靠性属性有所不同,软件工程产品质量标准 ISO9126<sup>[4]</sup>对其已不适用,需进行改进。

本文进行总结,得出 Web 服务可靠性的 6 个属性:可用性(Availability)、服务调用成功率(Ratio of correct response)、平均失效间隔时间(MTBF)、平均恢复时间(Mean recovery time)、失效恢复率(Ratio of Failure Recovery)和容错率(Ratio of fault tolerance)。Web 服务动态绑定、重组和重构,并且可部署在不同平台上,故 Web 服务可靠性评估应考

到稿日期:2012-01-04 返修日期:2012-04-06 本文受国家自然科学基金项目(61003311),安徽工业大学青年教师科研基金(QZ201015)资助。

王广正(1980—),男,硕士,讲师,主要研究方向为 Web 服务可靠性与自然语言处理,E-mail:wgz801101@163.com。

考虑其动态性。

每个属性的解释如下：

可用性(Availability)：表示在规定的时间内 Web 服务的可用程度。本属性为 Web 服务可用时间与总的 Web 服务操作时间之比，用小数或百分比来标示，值越大越好。

服务调用成功率(Ratio of correct response)：表示在规定的时间内 Web 服务成功调用的比例，即当服务请求者发出请求后能得到正确响应的比例，值越大越好。

平均失效间隔时间(Mean Time Between Failures, MTBF)：表示在一定的运行时间内 Web 服务在运行中失效的频率，即失效的平均间隔时间，值越大越好。

平均恢复时间(Mean Recovery Time)：表示在一定的运行时间内 Web 服务失效后恢复的平均时间，值越小越好。

失效恢复率(Ratio of Failure Recovery)：表示在一定的运行时间内 Web 服务失效后能恢复的比例，值越大越好。

容错率(Ratio of fault tolerance)：表示输入中存在错误时 Web 服务仍能产生可接受结果的能力，值越大越好。

## 2.2 Web 服务可靠性本体定义

由 2.1 节讨论可知，Web 服务可靠性领域存在 7 个基本概念，对应 7 个类；服务可靠性包括其他 6 个属性。服务可靠性类与属性类间存在类与子类的关系。Web 服务可用性属性的定义与传统软件有所不同，Web 服务可用性定义中时间指从发送请求到收到响应消息间的时间，即调用时间，同失效间隔时间和失效恢复时间无关系。同时，由可靠性属性定义易得，其他属性间也不相互影响，故目前我们假设可靠性属性之间无相互影响。

通过对可靠性与属性、属性与属性间的关系分析，可构造如图 1 所示的 Web 服务可靠性本体(WRSRO)。

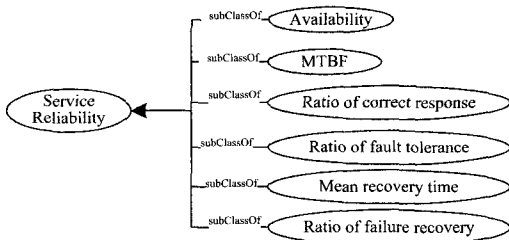


图 1 Web 服务可靠性本体

以下是 Availability 类的 OWL 描述，其他属性的描述与此类似。

```

<owl:Class rdf:ID="Availability">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#ServiceReliability"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#Ratioofcorrectresponse"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#MTBF"/>
  ...
</owl:Class>

```

## 3 基于贝叶斯网络的 Web 服务可靠性评估模型

Web 服务可靠性受多个子属性影响，而用户仅能掌握少量相关信息或掌握的信息具有不确定性<sup>[5]</sup>，在这样的情况下进行可靠性评估，采用概率推理的方法可获得较好的结果。此时需进行不确定知识的表示和推理。概率扩展<sup>[6,7]</sup>的 OWL 可为 Web 服务可靠性中不确定信息的表示提供描述，

而贝叶斯网络<sup>[8]</sup>可用于进行不确定信息的推理。只要建立概率本体与贝叶斯网络间的映射，通过贝叶斯网络的正向推理，即可对原子服务可靠性进行评估。在评估过程中动态更新贝叶斯网络的节点概率分布，可使评估结果更准确。

### 3.1 构造贝叶斯网络

根据文献[7]的转换方法，Web 服务可靠性本体(见图 1)可以转换为相应的贝叶斯网络，如图 2 所示。图中节点为可靠性属性的缩写，如 A 代表 Availability；其根节点 SR 表示服务可靠性等级，用随机变量 SR 表示。

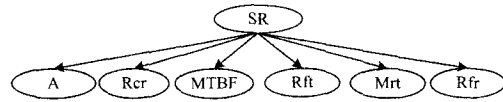


图 2 Web 服务可靠性贝叶斯网络

Web 服务可靠性贝叶斯网络中每个节点划分为 5 个等级，即 {excellent, verygood, good, fair, poor}，缩写为 {EX, VG, G, F, P}。节点中取值连续的属性需进行离散化，离散化方法采用领域专家对不同属性指定不同的离散区间。

### 3.2 计算条件概率表

在可靠性贝叶斯网络中，节点的概率分布均由在线监测的历史数据计算获得。若历史数据较少，则根据服务提供者提供的信息和专家意见，给出节点的概率分布。历史数据分别存储在数据库 SQL Server 2005 的 3 个表中，分别为 serviceInvoke, repairInfo 和 ATT；表 serviceInvoke 存储服务调用信息；表 repairInfo 存储服务失效后修复信息；表 ATT 存储每次计算的服务可靠性子属性值。在表 serviceInvoke 和表 repairInfo 数据的基础上，计算可得表 ATT。

在可靠性贝叶斯网络中，每个叶子节点的边际概率分布可由服务调用的历史数据获得，如计算可靠性处在 excellent 等级的概率  $P(Rft=EX) = N_2/N$ ，其中， $N_2$  表示在  $N$  次历史调用中可靠性为 excellent 的次数。

在可靠性贝叶斯网络中，非叶子节点 A(可用性)的条件概率如表 1 所列，其他节点的条件概率表与表 1 类似。

A	SR	P(A SR)
EX	EX	$P(A=EX SR=EX)$
VG	EX	$P(A=VG SR=EX)$
G	EX	$P(A=G SR=EX)$
F	EX	$P(A=F SR=EX)$
P	EX	$P(A=P SR=EX)$
EX	VG	$P(A=EX SR=EX)$
VG	VG	$P(A=VG SR=EX)$
G	VG	$P(A=G SR=EX)$
F	VG	$P(A=F SR=EX)$
P	VG	$P(A=P SR=EX)$
...	...	...

其中， $P(A=EX|SR=EX)$  表示服务在历史执行中可靠性为 excellent 时可用性为 excellent 的概率，且  $P(A=EX|SR=EX) = \frac{P(A=EX, SR=EX)}{P(SR=EX)} = \frac{N_1}{N}$ ，其中， $N$  表示在历史执行中服务可靠性为 excellent 的次数， $N_1$  表示在历史执行中服务可靠性为 excellent 且可用性为 excellent 的次数。其他节点的计算与节点 A 计算方法类似。

### 3.3 基于贝叶斯网络的可靠性评估方法

Web 服务可靠性评估主要分为 3 种：第一是服务请求者

对可靠性子属性有明确需求;第二是服务请求者对部分可靠性子属性有明确需求,第三是服务请求者不清楚可靠性具体属性意义,对可靠性子属性没有明确需求,仅提出可靠性的需求。下面分别对每种情况进行详细讨论。在每种评估中,均需运用链规则。链规则指:一个包含  $n$  个变量的联合分布  $P(X_1, \dots, X_n)$  可表示为

$$\begin{aligned} P(X_1, \dots, X_n) &= P(X_1)P(X_2|X_1)\dots P(X_n|X_1, X_2, \dots, X_{n-1}) \\ &= \prod_{i=1}^n P(X_i|X_1, X_2, \dots, X_{i-1}) \end{aligned}$$

针对 Web 服务可靠性贝叶斯网路,由节点上的概率分布,可求得联合分布  $P(SR, A, Rcr, MTBF, Rft, Mrt, Rfr)$ , 由此,可求得  $P(Y)$ , 其中  $Y \subseteq \{SR, A, Rcr, MTBF, Rft, Mrt, Rfr\}$ 。

服务请求者对可靠性子属性有明确需求时,服务请求者可提出多个可靠性子属性需求,计算此 Web 服务处在每个等级的概率,从而判断 Web 服务是否满足请求者需求。下面给出服务可靠性评估的计算公式:

$$\begin{aligned} P(SR|A, Rcr, MTBF, Rft, Mrt, Rfr) &= \frac{P(SR, A, Rcr, MTBF, Rft, Mrt, Rfr)}{P(A, Rcr, MTBF, Rft, Mrt, Rfr)} \\ &= \frac{P(SR)P(A, Rcr, MTBF, Rft, Mrt, Rfr|SR)}{P(A, Rcr, MTBF, Rft, Mrt, Rfr)} \end{aligned}$$

服务请求者提出部分可靠性子属性需求时,也能对 Web 服务可靠性进行评估,计算此 Web 服务处在每个等级的概率,此时更能显示利用贝叶斯网络进行推理的优势。如用户对可用性和失效恢复率需求均为 EX,则可分别计算 SR 为 EX, VG, G, F 和 P 5 个等级的概率,其条件概率表达和计算公式如下:

$$P(SR=EX|A=EX, Rfr=EX) = \frac{P(SR=EX, A=EX, Rfr=EX)}{P(A=EX, Rfr=EX)}$$

$$P(SR=VG|A=EX, Rfr=EX) = \frac{P(SR=VG, A=EX, Rfr=EX)}{P(A=EX, Rfr=EX)}$$

$$P(SR=G|A=EX, Rfr=EX) = \frac{P(SR=G, A=EX, Rfr=EX)}{P(A=EX, Rfr=EX)}$$

$$P(SR=F|A=EX, Rfr=EX) = \frac{P(SR=F, A=EX, Rfr=EX)}{P(A=EX, Rfr=EX)}$$

$$P(SR=P|A=EX, Rfr=EX) = \frac{P(SR=P, A=EX, Rfr=EX)}{P(A=EX, Rfr=EX)}$$

当服务请求者不清楚可靠性的具体属性意义时,则可评估服务可靠性处在每个等级的概率,从而判断该服务是否满足用户可靠性需求,公式如下:

$$P(SR=EX); P(SR=VG); P(SR=G); P(SR=F);$$

$$P(SR=P)$$

### 3.4 动态更新评估模型

根据历史调用数据,动态更新贝叶斯网络中的节点的概率分布。

对叶子节点 SR,其边缘分布  $P(SR=EX) = N_2/N$ ,  $N_2$  表示在  $N$  次历史调用中可靠性为 excellent 的次数,其中历史调用次数  $N$  和可靠性 excellent 的次数  $N_2$  均随调用次数变化而改变,实行动态更新叶子节点分布。

对非叶子节点 A,其条件概率  $P(A=EX|SR=EX) = \frac{P(A=EX, SR=EX)}{P(SR=EX)} = \frac{N_1}{N}$ , 历史执行中服务可靠性和可用性均为 excellent 的次数,  $N_1$  与可靠性为 excellent 的次数  $N$  均随调用次数变化而改变,实行动态更新非叶子节点条件概率分布。

## 4 实验与分析

本文工作通过 3 组实验来分析本 Web 服务可靠性评估方法的可用性、实用性和有效性。第 1 组实验验证本评估方法是否能针对用户提出的不同可靠性请求,预测某 Web 服务的可靠性所处等级的概率。第 2 组实验将该评估方法用于服务选择,验证该模型是否能为服务请求者选择最为合适的服务。第 3 组实验将本方法与平均值方法进行比较,在一段时间内,针对相同服务集、相同用户请求,确定哪种方法能更好地为用户提供所需服务。

在第 1 组实验中,根据历史调用数据,获得 EnglishChinese<sup>1)</sup> 服务实际可靠性子属性的时间变化曲线,如图 3、图 4 所示,起止时间从 2011-05-25 20:33:50.000 到 2011-05-25 21:37:08.000。图 3 中给出了服务 EnglishChinese 的可用性、服务调用成功率、失效恢复率和容错率的时间变化曲线,4 项属性均为概率值,故以下简称为概率属性值。图 4 中给出了服务 EnglishChinese 的平均失效间隔时间和平均恢复时间的时间变化曲线,此两属性均与时间相关,故以下简称为时间属性值。在图 4 时间属性变化图中,  $x=13.2$ min 时 MTBF 出现明显波谷,说明在 12min 到 13.2min 的时间段内, Web 服务经常发生失效,失效频率最大,属正常变化。

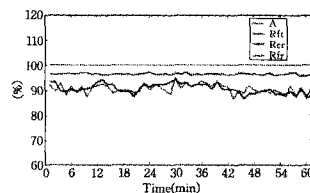


图 3 服务 EnglishChinese 的概率属性变化图

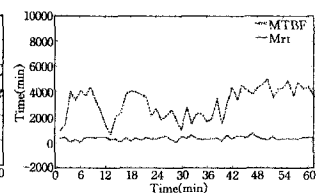


图 4 服务 EnglishChinese 的时间属性变化图

图 5 和图 6 分别给出了在用户不同可靠性子属性请求下,此服务是否能满足用户需求的概率判断。图 5 和图 6 中可靠性子属性的请求如表 2 所列。

表 2 可靠性请求表

	ARcr	MTBF	Rft	Mrt	Rfr	
图 5 请求	A>	Rcr>	MTBF>	Rft>	Mtr<	Rfr>
	98.621	98.6	5854.6	99.75	20.94	99.607
图 6 请求	92.12<	94.4<	5209.2≤	98.0<	20.94≤	84.28<
	A≤	Rcr≤	MTBF<	Rft≤	Mtr<	Rfr≤
	98.621	98.6	5854.66	99.75	603.6	99.607

图 5 显示了在用户可靠性请求比较高的情况下,该服务的可靠性预测结果基本处于 Poor 等级,该 Web 服务不能满

<sup>1)</sup> <http://fy.webxml.com.cn/webservices/EnglishChinese.asmx>

足此用户请求;对照图 3 和图 4 中的实际数据,可看出评估结果与实际数据的直观推断相一致。图 6 中用户降低了可靠性请求,在此情况下,该服务可靠性预测结果基本处于 Good 等级。这表明由于请求降低,该服务基本能达到用户请求,这与图 3、图 4 实际数据的直观推断相一致。此实验证明了本文所提方法可根据服务请求者提出的可靠性属性请求对相应 Web 服务的可靠性等级进行概率评估,从而判断服务是否能满足请求者需求。

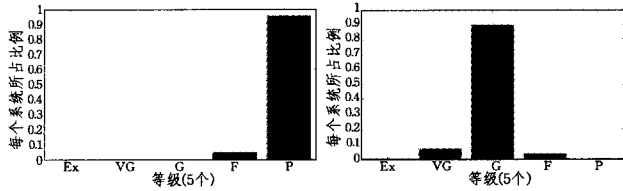


图 5 请求等级均为 1 时服务 EnglishChinese 可靠性等级评估  
图 6 请求等级均为 2 时服务 EnglishChinese 可靠性等级评估

在第 2 组实验中,根据历史调用数据,可分别获得 WeatherWS<sup>2)</sup> 和 GlobalWeather<sup>3)</sup> 服务实际可靠性属性的概率变化曲线,如图 7、图 8 所示,图 7 起止时间为 2011-06-02 11:50:13.000 到 2011-06-02 12:54:43.000,图 8 起止时间为 2011-06-02 18:33:26.000 到 2011-06-02 19:42:31.000。图 7 给出了服务 WeatherWS 和 GlobalWeather 的可用性、服务调用成功率、失效恢复率和容错率的时间变化曲线。图 8 给出了服务 WeatherWS 和 GlobalWeather 的平均失效间隔时间和平均恢复时间的时间变化曲线。在图 7 时间属性变化图中,  $x=16\text{min}$  时失效恢复率(Rfr)出现明显波谷,说明在 14.86min 到 16min 的时间段内,Web 服务发生失效后并未得到及时恢复,导致失效恢复率降低,属正常变化范围;同理,可解释图 7 中  $x=37.7\text{min}$  和图 8 中  $x=6, 7, 8\text{min}$  时 A 和 Rcr 出现的波谷。

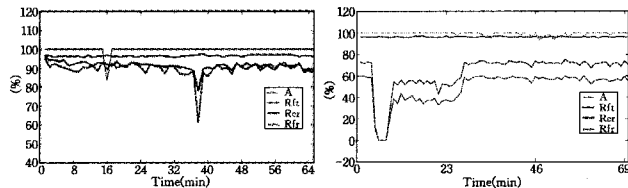


图 7 WeatherWS 的概率属性值变化图  
图 8 GlobalWeather 的概率属性值变化图

根据所提方法分别对服务 WeatherWS 和 GlobalWeather 的可靠性进行评估,评估结果如图 9、图 10 所示。因 Web 服务可靠性属性间相互独立,为使效果更明显,选择可用性(A)和服务调用成功率(Rcr)两属性对可靠性等级影响程度进行评估。属性的请求均为:  $92.12 < A \leq 98.621$ ,  $94.4 < Rcr < 98.6$ ,对不同服务,评估结果如图 9、图 10 所示。

图 9 显示了在 WeatherWS 可靠性属性比较高的情况下,对用户所提可靠性请求,该服务的可靠性预测结果基本处于 Good 等级,该 Web 服务能满足此用户请求;对照图 7 中的实际数据,可看出评估结果与实际数据的直观推断相一致。图

10 中 GlobalWeather 的可靠性属性较低,对同一用户请求,预测结果显示该服务可靠性处于 Poor 等级的可能性最大。这表明由于 GlobalWeather 实际可靠性降低,该服务不能达到用户请求,这与图 8 实际数据的直观推断相一致。此实验证明了本文所提方法可用于服务选择,为服务请求者选择最为合适的服务。

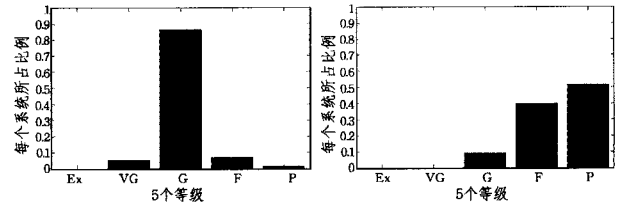


图 9 WeatherWS 的可靠性等级评估  
图 10 GlobalWeather 的可靠性等级评估

在第 3 组实验中,根据 GlobalWeather 服务历史调用数据(见图 8),分别用本文所提方法和平均值方法进行服务选择,以服务选择率为比较标准。服务选择率=满足请求者质量和功能需求的 Web 服务数量/满足功能需求的 Web 服务数量,结果如图 11 所示,虚线是平均值方法,实线是本文所提方法。由图 11 可明显看出,本文的方法所得服务选择率比平均值方法高。当可靠性属性变化较大时(如图 8 可用性 A 从 0 到 75.57%),平均值方法不易反映 Web 服务的实际质量信息,故选择率较低。图 11 中从 6min 到 8min 出现波谷,与图 8 中实际数据推断相一致,此段的 A 和 Rcr 均为 0,服务大多不能满足用户需求,故服务选择率低,比较结果与从实际数据推断相一致。

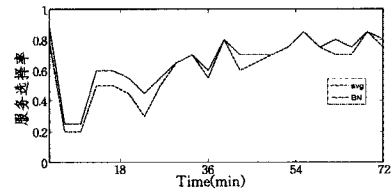


图 11 与平均值方法比较图

**结束语** 针对已有 Web 服务可靠性评估方法存在费用、适应性和不支持语义描述的问题,本文提出了基于 Web 服务可靠性本体的原子服务可靠性评估方法,以便服务请求者判断此服务是否满足所提可靠性需求。实验结果表明,该方法解决了 Web 服务可靠性语义描述问题,评估模型准确、有效。

由模型描述和实验结果可知,本文的创新点及优势在于: 1) 评估模型支持 Web 服务可靠性语义描述和不确定性知识的表示; 2) 原子服务可靠性评估方法准确有效。本文仅对原子服务可靠性评估进行了理论探讨和实验验证,下一步将进行基于贝叶斯网络的组合服务可靠性评估,通过贝叶斯网络描述服务间关系,并推导出组合服务可靠性评估。

## 参考文献

[1] Zo Hang-jung, Nazareth D L, Jain H K. Measuring Reliability of Applications Composed of Web Services[C]//HICSS. 2007:278

(下转第 126 页)

<sup>2)</sup> <http://webservice.webxml.com.cn/WebServices/WeatherWS.asmx>

<sup>3)</sup> <http://www.webservicex.net/globalweather.asmx>

从图 5 可以很清晰地看出用 IPCM-PSO 算法对 Iris 数据集聚类的结果, 聚类中心用红色的圆圈显示在图中, 蓝色弧线把数据集分成了 3 类, 避免了 PCM 算法出现簇类重叠的现象。可见该算法得到了正确的聚类结果。

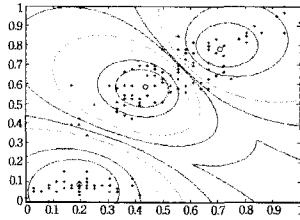


图 5 IPCM-PSO 算法产生的结果

**结束语** 基于粒子群优化的可能性 C-均值聚类算法结合了 FCM 和 PCM 算法中的优点, 并且引入协方差矩阵来构造目标函数, 很好地反映了数据集的紧凑程度, 提高了聚类的精度; 利用粒子群优化算法, 提高了全局搜索能力, 减少了算法迭代次数, 加快了算法的收敛。通过实验结果和分析证明了本文算法的有效性。

### 参考文献

[1] 高新波. 模式聚类分析及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004

[2] 李相镐, 等. 模糊聚类分析及其应用[M]. 贵州: 贵州科技出版社, 1994

[3] Ruspini E H. A new approach to clustering [J]. Information and control, 1969, 15(1): 22-32

[4] Dunn J C. A graph theoretic analysis of pattern classification via tamura's fuzzy relation [J]. IEEE Trans. SMC, 1974, 4(3): 310-313

[5] Le Z. Fuzzy relation compositions and pattern recognition [J]. Information Sciences, 1996, 89: 107-130

[6] Tamra S, et al. Pattern classification based on fuzzy relations [J]. IEEE Trans. SMC, 1971, 1(1): 217-242

[7] Backer E, Jain A K. A clustering performance measure based on fuzzy set decomposition[J]. IEEE Trans. PAMI, 1981, 3(1): 66-74

[8] Zadeh L A. Similarity relations and fuzzy orderings[J]. Inf Sci, 1971, 3: 177-200

[9] Leahy R, Wu Z. An optimal graph theoretic approach to data clustering; theory and its application to image segmentation [J]. IEEE Trans on PAMI, 1993, 15(11): 1103-1113

[10] Bezdek J C, Harris J O. Convex decompositions of fuzzy ISODATA clustering algorithm[J]. IEEE Tans. PAMI, 1980, 1(2): 1-8

[11] Esogbue A O. Optimal clustering of fuzzy data via fuzzy dynamic

programming[J]. FSS, 1986, 26(1): 127-130

[12] Mantaras R L D, Valverde L. New results in fuzzy clustering based on the concept of indistinguishability relation [J]. IEEE Trans. PAMI, 1988, 10(5): 754-757

[13] Bezdek J C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms[M]. Plenum, New York, 1981

[14] 彭代强, 李家强, 林幼权. 基于模糊隶属度空间约束的 FCM 图像分割[J]. 计算机科学, 2010, 37(10): 257-259

[15] Krishnapuram R, Keller J M. A possibilistic approach to clustering [J]. IEEE Trans Fuzzy System, 1993, 1(2): 98-110

[16] Barni M, Cappellini V, Ecocci A M. Comments on A possibilistic approach to clustering [J]. IEEE Trans Fuzzy Systems, 1996, 4(3): 393-396

[17] 傅景广, 许刚, 王裕国. 基于遗传算法的聚类分析[J]. 计算机工程, 2004, 30(4): 122-124

[18] 刘向东, 沙秋夫, 等. 基于粒子群优化算法的聚类分析[J]. 计算机工程, 2006, 32(6): 201-202

[19] 王玲, 贺兴时. 基于粒子群优化的模糊聚类分析[J]. 价值工程, 2007, 11: 96-98

[20] 李朔枫, 李太勇. 一种基于距离的自适应模糊粒子群优化算法[J]. 计算机科学, 2011, 38(8): 257-259

[21] Yang M S, Wu K L. Unsupervised possibilistic clustering[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(1): 5-21

[22] Zhang J S, Yeung Y W. Improved possibilistic C-means clustering algorithms[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2004, 12(2): 209-217

[23] Yu Jin, Qian Feng, Qi Rong-bin. Improvement of Stochastic Particle Swarm Optimization by Succession Strategy[J]. Communications of the Systemics and Informatics World Network, 2008, 3: 155-159

[24] Pal N R, Pal K, Bezdek J C, et al. A possibilistic fuzzy C-Means clustering algorithm [J]. IEEE Trans Fuzzy Systems, 2005, 13(4): 517-530

[25] UCI Repository of Machine Learning Databases retrieved from the World Wide Web [OL]. <http://www.ics.uci.edu/~mlearn/MLRepository.html>, 1998

[26] Gao Ying, Wang Xiu-liang, Lu Xu-qing, et al. Possibilistic C-Means Clustering Algorithm Based on Particle Swarm Optimization [J]. Computer Simulation, 2010(9): 177-180

[27] Niu Qiang, Huang Xin-jian. An improved fuzzy C-means clustering algorithm based on PSO [J]. Journal of Software, 2011, 6(5): 873-879

(上接第 101 页)

[2] Zheng Zi-bin, Lyu M R. WS-DREAM: A distributed reliability assessment Mechanism for Web Services[C]//DSN. 2008: 392-397

[3] 邵凌霄, 李田, 赵俊峰, 等. 一种可扩展的 Web Service QoS 管理框架[J]. 计算机学报, 2008, 31(8): 1458-1470

[4] ISO/IEC (2003) ISO/IEC 9126-2 Technical Report: Software engineering. Product quality[S]. Part 2: External metrics. 86

[5] Stefani A, Xenos M N. E-commerce system quality assessment

using a model based on ISO 9126 and Belief Networks[J]. Software Quality Journal, 2008, 16(1): 107-129

[6] Poole D, Smyth C, Sharma R. Ontology Design for Scientific Theories That Make Probabilistic Predictions[J]. IEEE Intelligent Systems, 2009, 24(1): 27-36

[7] Leontidis M, Halatsis C. Supporting Learner's Needs with an Ontology-Based Bayesian Network[C]//ICALT. 2009: 579-583

[8] 张连文, 郭海鹏. 贝叶斯网络引论[M]. 北京: 科学出版社, 2006