

# 面向个性化需求的云制造服务可信评价模型

杨玉丽<sup>1</sup> 李宇航<sup>1</sup> 邓岸华<sup>2</sup>

1 太原理工大学信息与计算机学院 太原 030024

2 西安电子科技大学计算机科学与技术学院 西安 710070

**摘要** 针对传统的云制造服务可信评价模型中存在的可扩展性弱、难以满足个性化需求等问题,提出一种可扩展性强、可以较好地满足个性化需求的可信评价模型。首先构建多层次的、多粒度的云制造服务可信评价框架;然后基于此框架,提出了基于云模型的云制造服务可信评价方法,在该方法中,引入云模型理论,用于统一表征不同类型的评价指标,以及描述用户的个性化需求,采用标准离差法计算不同评价指标的权重系数;最后通过应用案例检测所提方法的有效性,并通过时间开销的对比实验验证该方法的可行性。实验结果表明,与传统的方法相比,该模型在合理的时间开销范围内,可以根据用户的个性化需求,对不同的云制造服务提供方进行更为准确的可信评价,进而帮助用户选择满意度更高的云制造服务。

**关键词:** 云制造服务;可信评价;个性化需求;服务质量;云模型

**中图法分类号** TP391

## Trust Evaluation Model of Cloud Manufacturing Services for Personalized Needs

YANG Yu-li<sup>1</sup>, LI Yu-hang<sup>1</sup> and DENG An-hua<sup>2</sup>

1 College of Information and Computer, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China

2 School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710070, China

**Abstract** Aiming at the problems of weak extensibility and difficulty in meeting personalized requirements in traditional trust evaluation models of cloud manufacturing service, a trust evaluation model of cloud manufacturing service for personalized needs is proposed. Firstly, a multi-level and multi-granularity trust evaluation framework of cloud manufacturing service is designed. Then, based on the framework, a trust evaluation method of cloud manufacturing services based on cloud model is proposed. In this method, the cloud model theory is used to characterize different types of evaluation indexes uniformly, and also used to describe the personalized needs. The standard deviations are used to calculate the weight coefficients of different evaluation indexes. Finally, the effectiveness and feasibility of the proposed model are verified through a case analysis and a comparative experiment of time overhead, respectively. Compared with traditional methods, the experimental results show that within a reasonable amount of time, according to the personalized requirements of users, the proposed model could make more accurate trust evaluations for different cloud manufacturing service providers, and then help users choose the cloud manufacturing service with the higher satisfaction.

**Keywords** Cloud manufacturing service, Trust evaluation, Personalized need, Quality of service, Cloud model

云制造服务是云服务技术在制造领域的落地与延伸。它为需求方提供了“分散资源集中使用,集中资源分散服务”的新型制造模式<sup>[1]</sup>。云制造服务系统由云制造服务需求方(简称需求方)、云制造服务提供方(简称提供方)和云制造服务运营方(简称运营方)3种角色组成<sup>[2]</sup>。云制造服务可信评价<sup>[3]</sup>的定义为:针对需求方的个性化需求,运营方根据云制造服务的可信评价指标体系,对提供方的服务质量(Quality of Service, QoS)进行可信评价,帮助需求方从众多功能相同或相似但QoS不同的制造服务中,遴选出满意度最高的。由此可见,云制造服务可信评价机制的发展和完善,对提高需求方的满意度、提升运营方的智能化管理水平等,都起到至关重要的作用。

国内外研究学者对云制造服务评价体系以及评价方法进行了深入研究,并取得了一定的研究成果。1)云制造服务的评价体系:针对云制造服务存在的差异性,Feng等将可信评价对象分为3个层次,构建了层次化的、满足可配置需求的评价模型<sup>[4]</sup>;He等设计了考虑利益和风险、具有可扩展性的云制造QoS评价指标体系<sup>[5]</sup>;Chen等构建了包括企业维、服务维、交互维的云制造服务评价指标体系,并根据历史经验将评价指标分为5个等级<sup>[6]</sup>。2)云制造服务的评价方法:为了有效地描述云制造服务具有的多样性/不确定性和动态性等特点,Zhang等构建了基于复杂网络的动态匹配网络理论模型,通过负载队列模型完成对QoS的动态评估<sup>[7]</sup>;Liu等综合考虑

到稿日期:2021-02-18 返修日期:2021-06-04

基金项目:山西省面上青年基金资助项目(201901D211076)

This work was supported by the Young People Foundation of Shanxi Province, China(201901D211076).

通信作者:杨玉丽(yangyuliyy@126.com)

交易次数、共同社区、物理距离、相关资源、社会相似关系等指标,设计了基于社会网络的云制造服务组合方法<sup>[8]</sup>;Simeone 等通过对需求方和提供方的功能属性和几何兼容性进行评估,来提高智能制造网络的利用率<sup>[9]</sup>。

综上所述,目前的研究工作虽然在评价体系和评价方法方面取得了一系列的研究成果,但仍存在一些不足之处:1)评价体系在定制性和可扩展性方面需要进一步完善,另外,根据历史经验确定可信等级评价标准的方法,存在缺乏理论依据和粒度粗的问题;2)云制造服务可信评价的设计思路主要聚焦于帮助需求方选择最优的云制造服务,存在难以满足个性化需求的问题。针对上述问题,本文拟构建多层次的、多粒度的可信评价框架,设计基于云模型理论的可信评价方法,旨在为解决云制造服务可信评价机制面临的严峻挑战提供新的研究思路和设计方法。

### 1 云制造服务的可信评价框架

在云制造服务系统中,由于制造任务具有多层次性,故可扩展性和定制性较弱的评价体系很难帮助需求方选择满意度

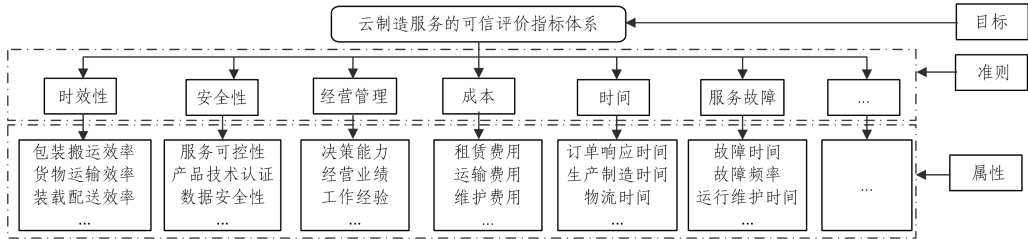


图1 基于 AHP 的云制造服务可信评价指标体系

Fig. 1 AHP-based trust evaluation index system of cloud manufacturing service

针对不同类型的云制造任务,可以在图 1 所示的可信评价指标体系下,以需求方的个性化偏好和市场需求为导向,选择或添加特定的评估指标,构建面向个性化需求的、多层次的、可配置的评价指标体系。

### 1.2 多粒度的可信等级评价标准

为了满足需求方不同粒度的可信需求,本文引入文献[13]设计的基于高斯云变换的可信等级评价标准模型。该模型以高斯云变换作为理论基础,可以根据需求方不同等级的可信需求,采用统计学的方法,从满足高斯分布的大量的数据样本集中,构建相应粒度的可信标准云,从而为云制造服务环境中的需求方、提供方及运营方等多方建立信任关系提供依据。例如:对于包含“完全不可信”“基本可信”“比较可信”“很可信”和“绝对可信”5 个等级的可信需求,采用文献[13]的方法,生成对应的可信标准云,如表 1 所列。

表 1 可信等级及对应的可信标准云

Table 1 Trust levels and corresponding trust standard clouds

可信等级	语言值描述	区间值描述	可信标准云
1	完全不可信	[0, 0, 0.2]	C1(0.00, 0.106, 0.011)
2	基本可信	(0.2, 0.4]	C2(0.314, 0.087, 0.007)
3	比较可信	(0.4, 0.6]	C3(0.500, 0.045, 0.005)
4	很可信	(0.6, 0.8]	C4(0.686, 0.088, 0.005)
5	绝对可信	(0.8, 1.0]	C5(1.000, 0.103, 0.010)

## 2 基于云模型的可信评价方法

针对云制造服务评价指标具有的指标众多、量纲不一致、定性与定量描述方法并存等特点,首先引入云模型理论,对其

最高的云制造服务<sup>[10]</sup>。另外,由于制造服务的交易过程具有持续时间长、涉及范围广、交易金额大等特点,不同的制造任务具有不同的可信等级需求,例如相比普通的制造任务,涉及商业机密数据的制造任务应有更高的可信等级需求,故需要设计多粒度的可信等级评价标准,用于建立可信的云制造服务交易环境,进而达到维护各方利益、降低风险的目的<sup>[11]</sup>。

### 1.1 多层次的可信评价指标体系

为了有效地描述云制造服务资源具有的多层次性、分布性、动态性等特性,根据云制造术语国家标准(GB/T29826-2013),借鉴信息技术安全评估通用标准和 SIM(Service Measurement Index)的设计框架<sup>[12]</sup>,引入多层次划分理论,构建如图 1 所示的基于 AHP(Analytic Hierarchy Process, AHP)的多层次的云制造服务可信评价指标体系。在该指标体系中,自顶向下包括目标层、准则层和属性层。目标层表示根据使用方的要求,定制与之对应的云制造服务可信评估指标体系;准则层包括安全性、经营管理、成本、服务故障等若干准则;每个准则包含若干条不同的属性,如安全性准则包括服务可控性、产品技术认证、数据安全性等属性。

进行统一量化;然后通过标准离差法来确定不同指标的权重系数;最后利用云模型的相似度值来描述提供方的可信度。

### 2.1 评价指标的度量方法

根据描述方法的不同,将云制造服务的评价指标分为以下 3 类:精确值描述的、区间值描述的和语言值描述的评价指标。本文设计了基于云模型理论的方法,并对其进行统一量化。

#### 2.1.1 精确值描述的评价指标

设对于  $M$  个提供方而言,每个提供方包含  $P$  个精确值描述的评价指标。首先对描述该评价指标的实数值  $x_{ij}$  ( $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq P$ ),通过式(1)进行高斯归一化处理,使其满足  $x_{ij}$  ( $0 \leq x_{ij} \leq 1$ );然后生成符合正态分布的随机数  $normal(x_{ij}, \delta)$  ( $\delta$  为常数);最后根据云模型理论<sup>[14]</sup>生成对应的评价云  $EC_i(Ex_i, En_i, He_i)$ 。

$$x'_{ij} = 0.5 + \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{2 \times 3\sigma_j} \tag{1}$$

其中,  $x_{ij}$  表示第  $i$  个提供方的第  $j$  个评价指标值;  $\bar{x}_j$  表示所有提供方的第  $j$  个评价指标的平均值;  $\sigma_j$  表示所有云制造服务的第  $j$  个评价指标值的标准差,通过式(2)计算。

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \tag{2}$$

#### 2.1.2 区间值描述的评价指标

设对于  $M$  个提供方而言,每个提供方包含  $Q$  个区间值描述的评价指标。根据式(3)将区间  $[m_{ij}^L, m_{ij}^U]$  ( $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq Q$ ) 描述的评价指标进行归一化处理,记为  $[rm_{ij}^L, rm_{ij}^U]$  ( $0 \leq rm_{ij}^L, rm_{ij}^U \leq 1$ ),其中,  $rm_{ij}^L$  和  $rm_{ij}^U$  分别表示第  $i$  个提供方

第  $j$  个评价指标的区间值的最小值和最大值。

$$\begin{cases} rm_{ij}^L = \frac{m_{ij}^L}{\sqrt{\sum_{i=1}^M ((m_{ij}^L)^2 + (m_{ij}^U)^2)}} \\ rm_{ij}^U = \frac{m_{ij}^U}{\sqrt{\sum_{i=1}^M ((m_{ij}^L)^2 + (m_{ij}^U)^2)}} \end{cases} \quad (3)$$

然后根据  $[rm_{ij}^L, rm_{ij}^U]$  计算对应的评价云  $EC_{ij}(Ex_{ij}, En_{ij}, He_{ij})$ , 其中  $Ex_{ij} = \frac{rm_{ij}^L + rm_{ij}^U}{2}$ ,  $En_{ij} = \frac{rm_{ij}^U - rm_{ij}^L}{3}$ ,  $He_{ij} = \eta(\eta$  为常数)。

### 2.1.3 语言值描述的评价指标

对于通过  $L$  个语言值描述的评价指标, 根据 1.2 节的方法, 将该类语言值描述的评价指标转化为对应的  $L$  个可信标准云。

## 2.2 评价指标的权重系数

本文将不同方式描述的评价指标值统一转化为精确值, 并采用标准离差法来计算不同评价指标的权重系数。

### 2.2.1 精确值的权重系数

利用式(4)计算出各个评价指标  $j$  的权重系数  $W_j$ , 其中  $W_j$  和  $\sigma_j$  分别表示第  $j$  ( $1 \leq j \leq P$ ) 个评价指标的权重系数和标准偏差, 其中标准偏差  $\sigma_j$  利用式(5)计算。

$$W_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^P \sigma_j} \quad (4)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (5)$$

其中,  $x_{ij}$  表示第  $i$  个提供方的第  $j$  个评价指标的量度值,  $\bar{x}_j$  表示所有提供方的第  $j$  个评价指标的平均值。所有提供方的第  $j$  个评价指标的权重系数矩阵记为  $\mathbf{W}(\omega_{1j}, \omega_{2j}, \dots, \omega_{Mj})$ 。

### 2.2.2 区间值的权重系数

将区间  $[rm_{ij}^L, rm_{ij}^U]$  通过式(6)转化为精确值的表示方式, 并通过上述精确值评价指标的权重系数的计算方法, 计算其权重系数。

$$rm *_{ij} = \frac{rm_{ij}^L + rm_{ij}^U}{2} \quad (6)$$

### 2.2.3 语言值的权重属性

通过表 1 将语言值描述的评价指标转化为对应的区间值, 并按区间值评价指标的权重系数计算方法, 计算对应的权重系数。

## 2.3 基于云模型相似度的可信评价方法

对于  $M$  个提供方, 设包含  $K$  个准则层的评价指标  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_K\}$ , 权重系数记为  $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_K\}$ , 其中,  $W_i = \{\omega_{i_1}, \omega_{i_2}, \dots, \omega_{i_{k_i}}\}$  表示  $X_i$  包含的  $k_i$  个属性层评价

指标对应的权重系数。设计如式(7)所示的基于云模型相似度的可信评价方法(Method based on Cloud Model Similarity, MCMS), 用于计算不同提供方的评价, 以此作为需求方选择可信提供方的依据。

$$Score_i = \sum_{i=1}^K \omega_i \left[ \sum_{j=1}^{k_i} (\omega_{ij} \times S(\vec{V}_{CC_i}, \vec{V}_{UC_j})) \right] \quad (7)$$

其中,  $S(\vec{V}_{CC_i}, \vec{V}_{UC_j})$  表示提供方的评价云  $CC_i$  和需求方的评价云  $UC_j$  之间的相似度。通过式(8)计算  $S(\vec{V}_{CC_i}, \vec{V}_{UC_j})$ 。  $S(\vec{V}_{CC_i}, \vec{V}_{UC_j})$  值越大, 表明  $CC_i$  与  $UC_j$  的相似度越高。

$$S(\vec{V}_{CC_i}, \vec{V}_{UC_j}) = \frac{1}{1 + \sqrt{(Ex_i - Ex_j)^2 + (En_i - En_j)^2 + (He_i - He_j)^2}} \quad (8)$$

其中, 提供方的评价云和需求方的评价云分别记为  $CC_i(Ex_i, En_i, He_i)$  和  $UC_j(Ex_j, En_j, He_j)$ , 对应的云向量分别表示为  $\vec{V}_{CC_i} = (Ex_i, En_i, He_i)$  和  $\vec{V}_{UC_j} = (Ex_j, En_j, He_j)$ 。

## 3 仿真实验

本文仿真实验的环境如下: CPU 采用 i5-4210H, 2.90 GHz, 其中 RAM 为 8 GB, 操作系统类型为 WIN10 64 bit, 通过 Matlab R2016a 进行仿真实验。

### 3.1 有效性实验

需要说明的是, 目前尚未发现用于验证云制造服务评价模型的公开数据集。鉴于当前主要通过具体案例来验证云制造服务评价模型有效性的现状, 因此本文在梳理了相关案例之后, 发现文献[15]的案例中提供商的规模最大, 文献[16]中 QoS 属性的种类最多。考虑到上述两个案例较为接近云制造服务可信评价的应用场景, 故本文选用它们进行有效性实验。

#### 3.1.1 案例一

以文献[15]提供的模具加工制造任务为例, 对本文所提的 MCMS 方法进行验证。该实例中包括 4 个需求方, 20 个提供方; 需求方从价格  $c_1$ 、交货期  $c_2$ 、技术水平  $c_3$ 、信誉度  $c_4$  和可靠性  $c_5$  等方面评价提供方的可信度。需求方期望的 QoS 属性以及提供方的 QoS 属性分别如表 2 和表 3 所列。

表 2 需求方  $u_i$  的 QoS 属性

Table 2 QoS attributes of demander  $u_i$

$u_i$	$u_1 \sim u_5$ 的 QoS 属性				
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
$u_1$	3.0	[8,12]	好	一般	好
$u_2$	3.2	[6,10]	好	一般	好
$u_3$	2.5	[10,14]	一般	一般	好
$u_4$	3.5	[4,8]	很好	好	好

表 3 提供方  $s_j$  的 QoS 属性

Table 3 QoS attributes of provider  $s_j$

$s_j$	$s_1 \sim s_{10}$ 的 QoS 属性					$s_j$	$s_{11} \sim s_{20}$ 的 QoS 属性				
	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$		$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
$s_1$	2.61	12	好	好	21/21	$s_{11}$	3.20	6	好	很好	28/28
$s_2$	3.19	7	很好	很好	20/21	$s_{12}$	2.25	16	一般	很好	31/31
$s_3$	2.04	18	差	好	3/3	$s_{13}$	3.58	5	很好	好	18/19
$s_4$	3.63	4	很好	一般	2/2	$s_{14}$	2.29	15	一般	一般	16/20
$s_5$	2.11	17	一般	差	3/5	$s_{15}$	3.68	4	很好	好	8/8
$s_6$	3.31	6	很好	一般	10/15	$s_{16}$	2.47	13	一般	很好	9/9
$s_7$	2.96	8	很好	好	15/17	$s_{17}$	2.80	9	好	一般	7/10
$s_8$	2.33	14	一般	很好	9/9	$s_{18}$	2.02	20	差	差	0/1
$s_9$	2.70	11	好	差	1/2	$s_{19}$	2.83	9	好	很好	20/20
$s_{10}$	2.63	12	好	很好	30/30	$s_{20}$	2.57	12	一般	一般	8/11

根据4个需求方的QoS需求,采用本文方法对20个提供方进行可信评价,具体过程如下:首先采用2.1节的QoS评价指标的量化方法,对需求方期望的QoS属性以及提供方的QoS属性进行分类并量化,并生成对应的评价云,计算结果如表4和表5所列(受篇幅限制,表5中仅列出部分提供方

的评价云);然后根据2.2节设计的权重系数计算方法,计算5种属性的权重系数,计算结果为 $W = \{0.2026, 0.2026, 0.2026, 0.2026, 0.1896\}$ ;最后通过2.3节提出的基于云模型理论的相似度计算方法,计算每个需求方对20个提供方的评价,计算结果如表6所列。

表4 需求方  $u_i$  的评价云

Table 4 Evaluation cloud of demander  $u_i$

	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
$u_1$	(0.490,0.033,0.010)	(0.373,0.050,0.010)	(0.686,0.088,0.005)	(0.686,0.088,0.005)	(0.686,0.088,0.005)
$u_2$	(0.583,0.023,0.010)	(0.298,0.050,0.010)	(0.686,0.088,0.005)	(0.500,0.045,0.005)	(0.686,0.088,0.005)
$u_3$	(0.255,0.017,0.010)	(0.447,0.050,0.010)	(0.500,0.045,0.005)	(0.500,0.045,0.005)	(0.686,0.088,0.005)
$u_4$	(0.697,0.029,0.010)	(0.224,0.050,0.010)	(1.000,0.103,0.010)	(0.686,0.088,0.005)	(0.686,0.088,0.005)

表5 部分提供方的评价云( $s_1 \sim s_5$ )

Table 5 Evaluation clouds of some providers ( $s_1 \sim s_5$ )

	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
$s_1$	(0.448,0.012,0.010)	(0.535,0.015,0.010)	(0.686,0.088,0.005)	(0.686,0.088,0.005)	(0.609,0.021,0.010)
$s_2$	(0.645,0.017,0.010)	(0.358,0.017,0.010)	(1.000,0.103,0.010)	(1.000,0.103,0.010)	(0.562,0.022,0.010)
$s_3$	(0.252,0.016,0.010)	(0.753,0.028,0.010)	(0.314,0.087,0.007)	(0.686,0.088,0.005)	(0.615,0.011,0.010)
$s_4$	(0.704,0.017,0.010)	(0.257,0.027,0.010)	(1.000,0.103,0.010)	(0.500,0.045,0.005)	(0.614,0.023,0.010)
$s_5$	(0.282,0.013,0.010)	(0.712,0.014,0.010)	(0.500,0.045,0.005)	(0.314,0.087,0.007)	(0.331,0.013,0.010)

表6 需求方  $u_i$  的评价值

Table 6 Evaluation value of demander  $u_i$

$u_i$	$u_i$ 对 $s_1 \sim s_{10}$ 的评价值									
	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$	$s_7$	$s_8$	$s_9$	$s_{10}$
$u_1$	0.9492	0.8484	0.8371	0.8399	0.7779	0.8297	0.8996	0.8387	0.8617	0.9014
$u_2$	0.8904	0.8378	0.7855	0.8965	0.7808	0.8769	0.8696	0.7971	0.8578	0.8557
$u_3$	0.8632	0.7693	0.8670	0.8160	0.8676	0.8037	0.8101	0.8689	0.8264	0.8283
$u_4$	0.8454	0.8954	0.7689	0.9380	0.7009	0.8990	0.9157	0.7564	0.7569	0.7974
$u_i$	$u_i$ 对 $s_{11} \sim s_{20}$ 的评价值									
	$s_{11}$	$s_{12}$	$s_{13}$	$s_{14}$	$s_{15}$	$s_{16}$	$s_{17}$	$s_{18}$	$s_{19}$	$s_{20}$
$u_1$	0.8899	0.8290	0.8655	0.8352	0.8607	0.8539	0.9023	0.7135	0.9144	0.8562
$u_2$	0.8901	0.7885	0.8538	0.8457	0.8508	0.8103	0.9226	0.7178	0.8821	0.8633
$u_3$	0.7975	0.8590	0.7783	0.9120	0.7751	0.8625	0.8759	0.7997	0.8338	0.9083
$u_4$	0.8561	0.7486	0.9473	0.7532	0.9537	0.7674	0.8088	0.6470	0.8200	0.7672

为了验证MCMS方法的有效性,将MCMS与文献[15]提出的基于可变模糊理论的评价方法(Method based on Variable Fuzzy Theory, MVFT)进行比较,评价结果如表7所列。以需求方  $u_1$  为例,其QoS属性期望值  $u_1 = (3, 0, [8, 12], \text{好,好,好})$ ,采用文献[15]的方法,为  $u_1$  推荐提供方  $s_2 = (3.19, 7, \text{很好,很好}, 20/21)$ ,采用本文方法,为  $u_1$  推荐提供方  $s_1 = (2.16, 12, \text{好,好}, 21/21)$ 。通过分析  $s_1$  和  $s_2$  的QoS属性值可知,虽然  $s_2$  的综合评价值比  $s_1$  高,但对于  $u_1$  而言,  $s_1$

显然比  $s_2$  更适合。对于剩余的3个需求方而言,存在类似的情况。对于两种方法的评价结果存在的差异性,分析原因如下:

MVFT虽然可以较好地表征需求方对不同QoS属性值(除权重外)的偏好,有效地避免了负载均衡问题,但在度量QoS属性时,具有一定的主观性;本文的MCMS不仅可以客观、准确地度量QoS属性,描述个性化需求,同时还可以有效地解决负载均衡问题。

表7 MVFT和MCMS对云提供商的排序结果

Table 7 Results of ranking providers using MVFT and MCMS

评价方法	需求方	排序结果
MVFT[21]	$u_1$	$s_2 > s_{10} > s_{19} > s_8 > s_{16} > s_{12} > s_{11} > s_7 > s_1 > s_{15} > s_{13} > s_3 > s_4 > s_6 > s_{14} > s_{17} > s_{20} > s_9 > s_5 > s_{18}$
	$u_2$	$s_2 > s_{19} > s_{10} > s_7 > s_{11} > s_8 > s_{12} > s_{16} > s_1 > s_{13} > s_{15} > s_3 > s_4 > s_6 > s_{17} > s_{14} > s_{20} > s_9 > s_5 > s_{18}$
	$u_3$	$s_{10} > s_{16} > s_8 > s_{12} > s_{19} > s_2 > s_1 > s_{11} > s_7 > s_3 > s_{15} > s_{13} > s_4 > s_{14} > s_{20} > s_{17} > s_6 > s_5 > s_9 > s_{18}$
	$u_4$	$s_2 > s_{11} > s_{19} > s_{10} > s_8 > s_{12} > s_{16} > s_7 > s_{13} > s_{15} > s_4 > s_1 > s_6 > s_3 > s_{14} > s_{17} > s_{20} > s_5 > s_9 > s_{18}$
MCMS	$u_1$	$s_1 > s_{19} > s_{17} > s_7 > s_{10} > s_{11} > s_{13} > s_{15} > s_9 > s_{20} > s_{16} > s_3 > s_4 > s_8 > s_2 > s_{14} > s_6 > s_{12} > s_5 > s_{18}$
	$u_2$	$s_{17} > s_4 > s_1 > s_{11} > s_6 > s_{19} > s_{20} > s_7 > s_9 > s_{13} > s_{14} > s_{10} > s_{15} > s_2 > s_{16} > s_8 > s_3 > s_{15} > s_{12} > s_{18}$
	$u_3$	$s_{14} > s_{20} > s_{17} > s_5 > s_3 > s_1 > s_8 > s_{16} > s_{12} > s_9 > s_4 > s_{10} > s_{19} > s_6 > s_7 > s_{18} > s_{11} > s_{13} > s_{15} > s_2$
	$u_4$	$s_{15} > s_{13} > s_4 > s_7 > s_6 > s_2 > s_1 > s_{11} > s_{19} > s_{17} > s_{10} > s_3 > s_{20} > s_{16} > s_8 > s_9 > s_{14} > s_{12} > s_5 > s_{18}$

3.1.2 案例二

文献[16]的案例中提供的QoS评价指标,以及提供方和需求方的QoS属性值如表8所列。其中包括9个一级属性、

15个二级属性、3个提供方和3个需求方。需要说明的是,对于表8中需求方期望的QoS属性值存在空缺的部分,本文通过提供方QoS属性的平均值对其进行填充。

表 8 提供方及需求方期望的 QoS 属性值

Table 8 QoS attributes of providers and demanders

QoS 属性	一级属性	二级属性	提供方的 QoS 属性值			需求方的 QoS 属性值		
			$s_1$	$s_2$	$s_3$	$u_1$	$u_2$	$u_3$
问责性	1~10	无	4	8	4	4	8	6
敏捷性	容量	CPU/GHZ	9.6	12.8	8.8	6.4		
		内存/GB	15	14	15	10	12	12
		硬盘/GB		1 690	2 040	630	500	800
	弹性	时间/s	80~120	520~780	20~200	60~120	60~120	60~120
可用性	无		99.95%	99.99%	100%	99.9%	99.9%	98.9%
保证性	服务稳定性	上传时间/s	13.6	15	21			
		CPU/GHz	17.9	16	23			
	内存/GB	7	12	5				
	可维护性	免费技术支持	0	1	1			
		支持方式	24/7	24/7	24/7	24/7	24/7	24/7
费用	运行成本	VM 成本/\$	0.68	0.96	0.96	<1	<2	<1
		入站数据/GB	10	10	8	100	400	200
		出站数据/GB	11	15	18	200	400	200
		存储/GB	12	15	15	1 000	500	600
性能	服务响应时间	范围/s	80~120	520~780	20~200	60~120	60~120	60~120
		平均值	100	600	30			
安全性	1~10	无	4	8	4	4	4	8

对于 3 个需求方的个性化需求,根据表 8 所列的评价指标,采用本文的 MCMS 方法对 3 个提供方进行可信评价,具体过程如下:通过自底向上的方式,首先,采用第 2 节的方法对需求方和提供方的二级属性进行归一化处理,并计算其权重系数;其次,根据归一化的二级属性,生成需求方和提供方的二级评价云,并根据式(8)计算二者的相似度;然后,对一级属性进行归一化处理,并计算其权重系数;最后,根据式(7)计算需求方对不同提供方的评价价值。为了验证 MCMS 方法的有效性,将 MCMS 与文献[16]设计的基于 AHP 的评价方法(Method based on AHP, MAHP)进行比较,评价结果如表 9 所列。

表 9 MAHP 和 MCMS 方法的排序结果

Table 9 Results of ranking providers using MAHP and MCMS

评价方法	需求方	排序结果
MAHP[16]	$u_1$	$s_3 > s_1 > s_2$
	$u_2$	$s_3 > s_2 > s_1$
	$u_3$	$s_2 > s_1 > s_3$
MCMS	$u_1$	$s_3 > s_2 > s_1$
	$u_2$	$s_2 > s_3 > s_1$
	$u_3$	$s_2 > s_1 > s_3$

通过排序结果可以得出,根据 3 个需求方的个性化需求,采用 MCMS 方法和 MAHP 方法对 3 个提供方排序的结果比较相似,但存在一定的差异。例如,虽然  $s_2$  和  $s_3$  的 QoS 属性值比较相似,但对于  $u_2$  而言,显然  $s_2$  比  $s_3$  更合适。主要原因是,MAHP 方法通过直接赋值的方法,刻画需求方对不同属性的个性化需求,存在一定的主观性;而 MCMS 则通过标准差法计算不同属性的权重系数,可以较为客观地描述个性化需求,进而给需求方提供更有参考价值的选择依据。

3.2 时间开销对比实验

将本文的 MCMS 方法分别与文献[15]的 MVFT 方法和文献[16]的 MAHP 方法进行时间开销比较。考虑到影响算法时间开销的主要参数是提供方和评价指标的数量,故本文采用随机数生成方法产生两组测试数据集:第一组假设评价指标的数量保持不变(设置为 5),提供方数量的取值范围为

10~50,从 10 开始,每次递增 10,实验结果如图 2(a)所示;第二组假设提供商的数量保持不变(设置为 30),评价指标数量的取值范围为 5~25,从 5 开始,每次递增 5,实验结果如图 2(b)所示。

图 2 给出了当评价指标和提供方数量设为定值时,3 种评价方法所需的时间开销。由图可知,对于上述两组测试数据集,3 种方法均在较短的时间范围内(见图 2(a)和图 2(b)中的最长时间开销分别为 72 ms 和 123 ms)完成了对提供方的排序,但 MCMS 的时间开销均为最高,MVFT 的时间开销次之,MAHP 的时间开销最低。由于影响时间开销的主要因素是评价指标和权重系数的计算方法,因此从这两个方面进行分析。

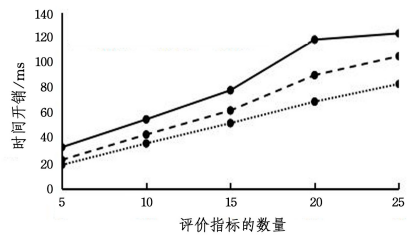
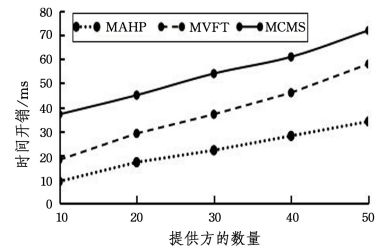


图 2 时间开销测试

Fig. 2 Test of time cost

(1)评价指标的计算方法:MAHP 通过构建 AHP 理论中的两两比较矩阵,来计算不同类型的评价指标,该方法简单高效,但不能准确地刻画个性化需求;MVFT 引入可变模糊理论,以需求方期望的 QoS 属性为分界线,与最优、最劣点分别

建立吸引域和拒绝域,设计相对隶属度的计算方法,与MAHP相比,该方法提高了描述个性化需求的精度,但增加了时间开销;MCMS设计基于云模型的度量方法,通过期望、熵和超熵来描述需求方对不同评价指标的满意度的边界域,相对于MAHP而言,该方法更为全面地刻画了个性化需求具有的随机性和模糊性,但同时也增加了时间开销。

(2)权重系数的计算方法:MAHP和MVFT均依据主观经验,直接给不同评价指标分配对应的权重系数,该方式高效,但对主观经验的依赖性较大;MCMS通过标准离差法确定不同指标的权重系数,与上述两种方法相比,该方法可以更客观地表征评价指标的差异性,但所需时间开销也随之增加。

从上述两个案例和测试数据集的测试结果来看,本文提出的模型可以较为准确地刻画用户的个性化需求,在合理的时间开销范围内,帮助用户选择满意度高的云制造服务。但是,考虑到本文所采用的测试数据集的局限性,在应用到云制造服务的实际环境之前,需要对本文模型的有效性和准确性进行进一步优化。

**结束语** 本文设计的多层次的、具有多粒度评价标准的云制造服务可信评价框架,有效地解决了现有评价体系存在的可扩展性弱、无法满足多粒度信任需求的问题;并且本文提出的基于云模型的可信评价方法,可以较为准确地描述个性化需求的随机性和模糊性,帮助用户选择满意度高的云制造服务。仿真实验结果表明,本文提出的云制造服务可信评价模型,可以有效地提高用户的满意度;在时间开销方面,具有合理性。但是,鉴于本文测试数据集的局限性,后续进一步的工作是尽可能获得更多符合云制造服务环境的测试数据集,并根据测试结果,对本文模型进行改进和优化,以确保其在实际应用中的高效性和准确性,进而达到提高用户满意度、推动云制造服务健康发展的目的。

## 参 考 文 献

- [1] YAO J, XING B, ZENG J, et al. Survey on Cloud Manufacturing Service Composition[J]. *Computer Science*, 2021, 48(7): 245-255.
- [2] HU Y J, WU L Z, ZHANG L, et al. Review on theory and method of cloud manufacturing service evaluation[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2017, 23(3): 640-649.
- [3] OOI K B, LEE V H, TANG W H, et al. Cloud computing in manufacturing: the next industrial revolution in Malaysia[J]. *Expert Systems with Applications*, 2018, 93: 376-394.
- [4] FENG Y, HUANG B Q. Hierarchical and configurable trust evaluation model of cloud manufacturing services [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2017, 23(10): 2291-2303.
- [5] HE K T, ZHU D Y. Quality evaluation of cloud manufacturing service [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2018, 24(1): 53-62.
- [6] CHEN Y L, HUANG D, ZHANG Y Y, et al. Evaluation and selection for knowledge Resources in cloud manufacturing environment[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2018, 39(8): 1169-1174.
- [7] ZHANG Z J, ZHANG Y M, XU X S, et al. Manufacturing service composition self-adaptive approach based on dynamic matching network[J]. *Journal of Software*, 2018, 29(11): 3355-3373.
- [8] LIU J, CHEN Y. HAP: A Hybrid QoS Prediction Approach in Cloud Manufacturing Combining Local Collaborative Filtering and Global Case-based Reasoning [J]. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2019: 1-14.
- [9] SIMEONE A, DENG B, CAGGIANO A. Resource efficiency enhancement in sheet metal cutting industrial networks through cloud manufacturing[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2020, 107(7): 1-21.
- [10] ALABOOL H, KAMIL A, ARSHAD N, et al. Cloud service evaluation method-based multi-criteria decision-making: A systematic literature review[J]. *Journal of Systems and Software*, 2018, 139: 161-188.
- [11] MOURAD M H, NASSEHI A, SCHAEFER D, et al. Assessment of interoperability in cloud manufacturing[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2020, 61: 101832.
- [12] CARNEGIE M. The Cloud Service Measurement Initiative Consortium, Service Measurement Index (SMI) [OL]. <http://www.cloudcommons.com/about-smi/>.
- [13] YANG Y L, LIU R, CHEN Y L, et al. Normal cloud model-based algorithm for multi-attribute trusted cloud service selection[J]. *IEEE Access*, 2018, 6: 37644-37652.
- [14] LI D, LIU C, GAN W. A new cognitive model: Cloud model[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2009, 24(3): 357-375.
- [15] ZHAO J H, WANG X H. Two-sided matching model of cloud service based on QoS in cloud manufacturing environment [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016, 22(1): 104-112.
- [16] YADAV N, GORAYA M S. Two-way ranking based service mapping in cloud environment[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2018, 81: 53-66.



**YANG Yu-li**, born in 1979, Ph.D, is a member of China Computer Federation. Her main research interests include cloud manufacturing service, cloud computing and trust management.