

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.08.043

云制造环境下知识云能力量化评估方法研究

阴艳超 牛红伟

(昆明理工大学机电工程学院, 昆明 650500)

摘要: 云制造是一种智能化制造新模式,知识是支撑云制造服务系统运行的核心。但对知识云及其服务能力、影响因素和评估方法的研究尚不够深入。在建立知识云能力整体特征评估体系基础上,提出了一种基于云推理的量化评估方法。通过对知识能力评估指标的云化处理,采用知识能力云的期望和超熵对服务效能满意度进行定量评价,并构建了知识能力服务效能评估云推理发生器,实现通过知识能力变化云描述服务满意度的变化情况,为最大限度保障云制造系统知识资源与知识能力共享和按需使用提供智能化支持。实验表明,该方法较好地实现了知识云能力的最大效能服务过程,对云制造环境下知识云能力服务效能综合评估进行了有益的探索。

关键词: 云制造; 知识云能力; 服务效能; 量化评估; 云推理

中图分类号: TP391; TH166 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)08-0325-08

Quantitative Evaluation Approach of Cloud Capability Service for Knowledge in Cloud Manufacturing

Yin Yanchao Niu Hongwei

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Cloud manufacturing is a new service-oriented intelligent manufacturing model, which contains plentiful knowledge to support service system operating, and the manufacturing resources and capabilities are shared (as services) through the internet. However, there is a lack of in-depth research in knowledge cloud capability service, influence factors and its evaluation approach. The comprehensive evaluation system of the whole features was established for knowledge cloud capability service, and a new quantificational knowledge cloud capability evaluation approach was presented based on cloud reasoning. The expected value and hyper entropy of knowledge capability cloud were used to evaluate the satisfaction of service performance by cloud processing the evaluation indicators, and a cloud reasoning controller was designed to depict the satisfaction change style of knowledge capability, which provided support for the intelligent shared service of manufacturing resources and capability in cloud manufacturing system, e. g. design as a service, simulation as a service, production as a service, assembling as a service, and testing as a service. The result of simulating experiments showed that the validity and effectiveness of the presented approach provided beneficial exploration for evaluating knowledge cloud capability service of cloud manufacturing.

Key words: cloud manufacturing; cloud capability service of knowledge; service performance; comprehensive evaluation; cloud reasoning

引言

云制造是信息化制造技术、新兴信息技术与制

造业集成化、敏捷化、服务化和智能化的发展需求相融合而出现的一种基于网络的制造模式,体现了制造即服务的理念^[1-2]。智能化服务能力是最大限度

收稿日期: 2015-12-28 修回日期: 2016-02-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51365022)和云南省教育厅重点项目(2014Z032)

作者简介: 阴艳超(1977—),女,副教授,博士,主要从事智能化制造、制造业信息化和知识工程研究, E-mail: yinye@163.com

保障云制造系统制造资源与制造能力共享和按需使用的基础,支撑云制造平台高效运行的核心^[3]。但知识作为一种动态资源流动于制造生命周期活动的各个环节,云制造环境下海量、分布、形式多样的动态知识资源与云用户需求复杂多变。因此,针对知识云能力的随机性、模糊性和不可预测等特性,实现知识云能力服务量化评估是增强知识资源在制造生命周期业务活动中的渗透能力,建立知识资源的顺畅流动通道,完成知识服务与业务流程的柔性集成的关键。云制造环境下,研究基于知识云能力本质属性的知识服务评估方法以保证云制造平台的服务效率和质量已成为一个基础性的命题。

目前国内外关于知识服务的研究主要集中在知识密集型服务业和图书情报领域,大量文献从该领域知识服务的内涵、服务模式、过程及服务效能等角度展开研究^[4-7],但不能解决云制造中知识资源的共享和利用问题,更无法量化评估云制造环境下知识服务的效率和质量。近年来,关于网络服务风险和能评问题的研究吸引了国内外众多研究者,加速了云制造环境下知识服务云能力评估体系的建立^[8-12],在风险与能评方法方面,提出多种基于概率的不同主观信任能评和预测方法,但这些评估方法的不足之处在于没有考虑信任的客观、随机等本质属性,建立在纯粹概率模型基础上的评估与预测偏离了信任评估的实际;考虑到信任能力和风险的模糊性,构建基于模糊逻辑的主观信任能评模型,但模糊数学通过定义精确、不变的隶属度函数来描述模糊概念,无法解决主观信任能评本质属性的模糊性和不确定性。部分学者研究了基于聚类的^[13]、基于图论的^[11]、基于AHP以及基于符号验证^[14]的能评方法,但这些方法通常从评估方法本身技巧角度考虑,很少研究知识云能力本身属性及其影响因素的客观与随机特性。

云模型是定性定量间转换的不确定性模型,是我国学者李德毅教授在传统模糊集理论和概率统计的基础上提出的,它通过均值(E_x)、熵(E_n)和超熵(H_e)3个数字特征,将定性概念的模糊性和随机性进行统一量化描述^[15]。

本文针对知识云能力的随机性、模糊性和不可预测性,引入云模型理论,通过对云制造环境下知识云能力、影响因素及综合评估机制等问题研究,构建能够反映知识云能力整体特征的评估体系,提出基于云推理的知识云能力服务效能量化评估方法,实现知识云能力评估定性定量的转换,客观反映知识云能力及其影响因素的复杂性和耦合性,为云制造环境下知识云能力服务效能客观合理的评估探索

新思路和方法。

1 知识云服务能力

本文所研究的知识云服务能力着重讨论针对云制造环境下集团企业的知识服务系统,其知识服务更注重内部知识的共享和重用,需要结合内部业务流程、经验知识、软件工具和方法等知识资源,提供智能的知识服务而不是知识服务的交易^[16-19]。集团企业云制造利用云和虚拟化技术,将集团企业内部海量、分布、异构的知识资源虚拟化和网络化,通过建立自治合理的知识云,为集团企业用户提供按需动态组合的知识服务。

1.1 知识云构成及特点

定义1:知识云。知识云是集团企业在论证、设计、生产加工、实验、仿真和经营管理等制造全生命周期的业务活动中,提供的经过虚拟化描述和服务化封装的知识资源和知识能力。其中知识资源是一种智力资源,其种类繁多,包括标准规范、专利、设计原理、设计实例、设计模型、仿真分析模型、经验参数和典型流程等参数、模型、工具和方法。知识能力是指基于知识资源提供满足制造全生命周期中某项特定业务的能力。知识云类型多样,包括设计知识云、计算知识云、加工工艺知识云、仿真分析知识云,以及试验检测知识云等。

云制造环境下集团企业产品研制过程涉及多个技术领域和企业主体,整个过程错综复杂,知识云在汇集各种制造资源和能力的同时,也汇集了各种知识并构建了跨领域多学科知识库,这些知识、资源和数据具有海量、分布、多态等特性,所有这些因素使得知识云具有如下特点:

(1)分布性。云制造环境下集团企业知识资源分别存储在各子公司的异构业务系统中,分布式多源多领域知识资源通过动态组合形成的知识云属于各个子公司。

(2)异构性。知识资源分布在各异构业务系统中,其组织管理方式不同、存储处理方式各异,虚拟化、服务化封装形式异构,知识能力的应用服务模式异构。

(3)多样性。知识云作为云制造平台运行的智力资源,其种类繁多,包括标准专利云、方法工具云、设计云、诊断云、计算预测云、加工工艺云、仿真分析云,以及试验检测知识云等。

(4)动态性。云环境下服务主体与客体之间的业务交互活动是由任务驱动的,随着任务的形成而形成,随着任务的发展而变化,并且任务随时可能随着市场需求情况进行收缩、拓展和转移。同时服务

主客体之间的协作交互是以产品的形成和使用过程为主线,跨越整个制作生命周期,而知识云的形成和演化发生在制作生命周期的各个阶段,在服务主体与客体协作过程中不断更新、丰富和完善。

(5)不确定性。云制造知识服务涉及到各类跨越领域多学科多专业知识资源和多个复杂研制生产协作环节,动态知识资源与云用户需求复杂多变。知识资源/能力与制造业务流程之间的耦联性与复杂性使得知识云具有亦此亦彼的不确定性。

1.2 知识云服务能力

定义 2:知识云服务能力。知识云服务能力(以下称知识云能力)是通过跨领域知识资源动态集成成为制造生命周期的各环节、各层面提供系统的智能化支持的能力。知识云能力包括设计、分析、制造、销售和维护等过程中的业务活动主动提供相关知识资源,或者以动态服务的形式为产品研制过程中具体业务功能和过程提供智能化服务。

云制造模式下产品的研制是一个理念、目标、技术和效率不断跃升的过程,以产品研制需求为导向,在产品数据、实物状态、研制计划、产品质量等信息和过程中交互协同,而知识资源流动于不同的业务活动节点与研制过程之间。知识云能力服务模式如图 1 所示,集团企业各子公司的诸多知识资源难以直接提供给其他集团内部用户使用,而是通过知识资源的动态集成与虚拟化封装以云能力的形式提供,云能力通过智能化组合形成高效能、多类型和低成本的服务,并按需提供给集团内部用户,知识云能力表征了对业务活动和研制过程的智能化支持程度。因此要实现知识云能力服务效能最大化,需要明确影响和制约知识云能力和效能的因素和条件,

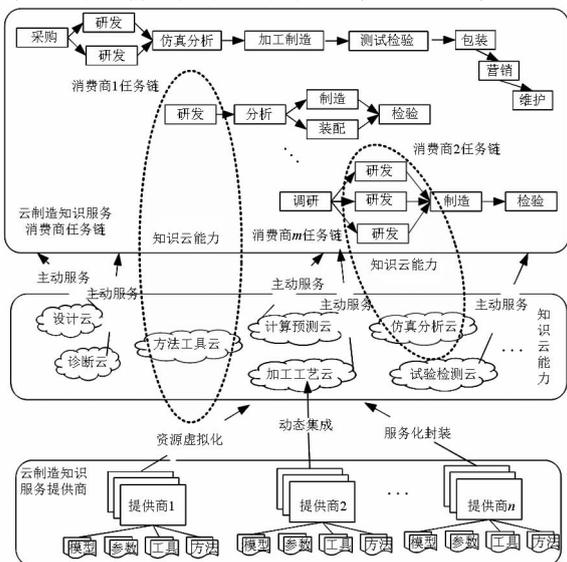


图 1 知识云能力服务模式

Fig. 1 Cloud capability service mode for knowledge

进而建立既能反映知识云能力本质属性,又能反映知识云能力整体特征的量化评估体系。

2 知识云能力综合评估体系

云制造环境下,知识云能力服务效能评估是建立知识资源畅通流动服务通道,提高云制造平台智能化服务能力,最大限度保障制造资源与制造能力共享与按需使用的关键。云模式下有诸多不确定因素会对知识云能力服务效率和质量产生一定影响,主要因素有:①知识云能力本质属性。云制造知识资源服务具有多样性、不确定性和按需使用的特点,知识云能力服务成本、可用性、准确和可靠性等是其本身属性,是能否实现云制造全方位智能化支持的关键。②协作主体。知识云能力服务提供者、消费者和平台运营者均是智能协作主体,如何满足自身利益需求并达到集团企业利益最大化是各主体协作的目标,他们之间的知识资源/能力交付的时间、各方服务及其创新性将对知识云能力服务效能产生较大影响。③交互过程。知识云能力服务具有多态性和动态性特点,知识资源/能力交互复杂多变,使得云用户无法确认知识云能力服务是否能可靠可信地实现;另外,云制造过程需要在相关智能资源的长期积累下实现,智能资源的动态性和长期性是交互过程顺利完成的重要影响因素。因此,交互过程的可信性和可持续性也是提高知识云能力服务效能的重要保证和体现。

综上所述,云制造环境下集团企业知识云能力服务效能不仅需要考虑成本、可用性、准确性等评价指标,还应考虑及时性、创新性、可信性和可持续性等重要影响因素,因此建立如表 1 所示的云制造知识云能力服务效能综合评估指标体系。其中,知识云能力服务成本 $C(s_i)$ 是针对某个服务任务的 n 次服务交互后,云能力服务消费者支付的知识资源服务费用 R_c 和知识能力服务费用 C_c 平均值,即 $C(s_i) = \frac{R_{ci} + C_{ci}}{n}$ 。服务时间 $T(s_i)$ 是指某个服务任务中 n 次服务交互的执行时间 T_{ex} 、延迟时间 T_{de} 和处理时间 T_{han} 的平均值,即 $T(s_i) = \frac{T_{exi} + T_{dei} + T_{hani}}{n}$ 。可用性 $A(s_i)$ 是指单位时间内知识云能力服务可用的运行时间,即 $A(s_i) = \frac{T_u(s_i)}{t}$ 。准确性是指推送的知识资源及知识能力与云用户业务需求的相符程度,由云用户结合服务情况进行综合评价,包括推送的及时性指标等级评价 T_i 和相符性指标等级评价 C_i ,即准确性的值 $A_c(s_i) = T_{ii} + C_{ii}$ 。创新性的值

$I(s_i)$ 主要指对服务需求提供知识资源和能力的原理创新层次评价价值 P_{ri} 和结构创新层次评价价值 S_{tri} , 以及能够提供的评估性和预测性知识评价价值 E_{pi} , 即

$$I(s_i) = \left[\sum_{j=1}^N (P_{r1}^j + S_{t1}^j + E_{p1}^j + \dots + P_{rn}^j + S_{tn}^j + E_{pn}^j) \right] / n$$

式中 n ——评价次数 N ——评价指标个数
可信性值 $C_{onf}(s_i)$ 包括服务安全性指标评价等级 S_{afi} 和可靠性指标评价等级 R_{eli} , 即知识资源及能力在制造生命周期的各环节、各层面所提供服务的评估性, 以及在规定的任务条件或环境下提供高效能服务的能力, 知识云能力可信性评价由用户根据定义的评判标准给出, 即

$$C_{onf}(s_i) = \frac{\sum_i^n (S_{afi} + R_{eli})}{n}$$

由于各评估指标数据来源不同, 主观评估指标值可通过云用户对服务使用情况进行评价获得, 客观评估指标值可通过平台运营过程中各类数据统计分析或第三方测试工具获得, 各评估指标之间相互耦合、模糊难以量化。

设某任务服务效能评估指标因素为 $I_1(C(s_i))$ 、 $I_2(T(s_i))$ 、 $I_3(A(s_i))$ 、 $I_4(A_c(s_i))$ 、 $I_5(I(s_i))$ 、 $I_6(C_{onf}(s_i))$ 。包含不同子任务的服务任务各评估指标变量计算公式如表 1 所示。

表 1 云制造知识云能力服务效能综合评估指标体系

Tab.1 Quantitative evaluation system of cloud capability service for knowledge in cloud manufacturing

评估指标	计算公式
服务成本 I_1	$\sum_{i=1}^n C(s_i) = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ci} + C_{ci}}{n}$
服务时间 I_2	$\sum_{i=1}^n T(s_i) = \frac{\sum_{i=1}^n T_{exi} + T_{dexi} + T_{hani}}{n}$ 或者 $\max(T(s_i))$ (并行)
可用性 I_3	$\prod_{i=1}^n A(s_i) = \prod_{i=1}^n \frac{T_u(s_i)}{t}$ 或者 $\min(A(s_i))$ (并行)
准确性 I_4	$A_c(s_i) = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{ui} + C_{si})}{n}$
创新性 I_5	$I(s_i) = \left[\sum_{j=1}^N (P_{r1}^j + S_{t1}^j + E_{p1}^j + \dots + P_{rn}^j + S_{tn}^j + E_{pn}^j) \right] / n$
可信性 I_6	$C_{onf}(s_i) = \frac{\sum_i^n (S_{afi} + R_{eli})}{n}$

3 基于云推理的知识云能力量化评估

3.1 云推理

云模型是一种定性定量不确定转换模型, 它的数字特征^[15-16]记为 $C(E_x, E_n, H_e)$, 期望值 E_x 是模糊概念在论域中的中心值, 它隶属于该模糊概念的程度为 1, 是最能代表此定性概念的值; 熵 E_n 是定性概念模糊度的度量, 它的大小反映了在论域中可被模糊概念所接受的数值范围, E_n 越大, 概念越模糊; 超熵 H_e 即熵 E_n 的熵, 反映了云模型的云滴离散程度, H_e 越大, 云滴离散度越大, 隶属度的随机性越大, 云的“厚度”也越大, 云模型通过 3 个数字特征将概念的模糊性和随机性融为一体, 实现了定性与定量的自然转换。

云推理由规则前件 (X 条件) 和规则后件 (Y 条件) 两部分组成。在给定论域的数域空间中, 当已知云的 3 个数字特征 (E_x, E_n, H_e) 后, 如果还有特定的输入 $x = x_0$ 条件, 则由此产生的云模型为 X 条件云模型, 记为 CGx , 如果给定的输入是隶属度值 $\mu = v_1$, 则由此产生的云模型称为 Y 条件云模型, 记为 CGy 。

一维 X 条件云模型为

$$P_i = R_i(E_n, H_e) \quad (1)$$

$$\mu_i = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - E_x}{P_i} \right)^2} \quad (2)$$

一维 Y 条件云模型为

$$P_i = R_i(E_n, H_e) \quad (3)$$

$$y_i = E_y \pm \sqrt{-2 \ln \mu} P_i \quad (4)$$

一维云模型的不确定性规则推理过程, 仅考虑一条推理规则, 当特定的输入值 x 多次刺激 CGx 时, CGx 随机地产生一组 u_i 值。这些值反映了对定性规则的激活强度, 而这组 u_i 又刺激 CGy 定量地产生一组随机云滴 $drop(y_i, u_i)$, 多规则推理部分实际上是由多个一维单规则推理结构组成的。基于云推理的知识服务量化评估是在构建量化评估体系的基础上, 对评估指标进行云化处理, 建立知识云能力服务效能评价指标前件云和评价规则后件云, 通过前后件云的多元组合构建知识云能力效能评估云推理发生器, 并给出推理算法。

3.1.1 知识云能力评估指标的前件云模型

通过给定评估指标前件云的 n 组数字特征 $(E_{x11}, E_{n11}, H_{e11}), \dots, (E_{xn1}, E_{nn1}, H_{en1}), \dots, (E_{xij}, E_{nij}, H_{eij}), \dots, (E_{xnm}, E_{nmm}, H_{enm})$ 和特定的 (x_1, x_2, \dots, x_n) 值, $x_i = u_i$, 产生满足服务需求的知识资源云滴 $(u_1, u_2, \dots, u_n, y_i)$, 则称为 n 维 X 条件评估指标云模型。即

$$\begin{aligned}
 & (P_{x_{1i}}, P_{x_{2i}}, \dots, P_{x_{ni}}) = \\
 & R_n(E_{nx_{1i}}, E_{nx_{2i}}, \dots, E_{nx_{ni}}, H_{e1i}, H_{e2i}, \dots, H_{eni}) \quad (5) \\
 & \mu_i = \\
 & e^{-\frac{1}{2}} \left[\frac{(x_1 - E_{x_{1i}})^2}{P_{x_{1i}}^2} + \frac{(x_2 - E_{x_{2i}})^2}{P_{x_{2i}}^2} + \dots + \frac{(x_n - E_{x_{ni}})^2}{P_{x_{ni}}^2} \right] \quad (6)
 \end{aligned}$$

依据第2节的服务效能综合评估指标体系,采用服务成本 I_1 、服务时间 I_2 、可用性 I_3 、准确性 I_4 、创新性 I_5 和可信性 I_6 6个评估指标来构建服务效能综合评估前件云模型。本文以云制造环境下新产品开发知识服务平台上某企业对其汽车尾灯反求设计开发为例^[20],该开发过程中所需智能化服务包括三维坐标扫描、点云处理、三维模型设计、尾灯造型设计、模具设计和模具加工6个子任务,依据服务过程中相关指标参数给出等级区间如表2所示,将最终服务效能评估结果分为优、良好、中等、合格和不合格5个等级区间,其中第*i*等级区间为 $[I_{imin}, I_{imax}]$ 。

表2 评估指标等级区间划分

Tab.2 Grade partition for evaluation indicator

评估等级	评估指标等级区间					
	I_1 /万元	I_2 /h	I_3	I_4	I_5	I_6
1	≤2.120	≤480	≥0.96	≥4.65	≥4.32	≥4.68
2	≤2.245	≤520	≥0.94	≥4.46	≥4.21	≥4.60
3	≤2.535	≤573	≥0.92	≥4.34	≥4.05	≥4.45
4	≤2.680	≤586	≥0.90	≥4.13	≥3.88	≥4.30
5	>2.680	>600	<0.88	<4.13	<3.88	<4.30

注: I_4 、 I_5 、 I_6 为5分制打分。

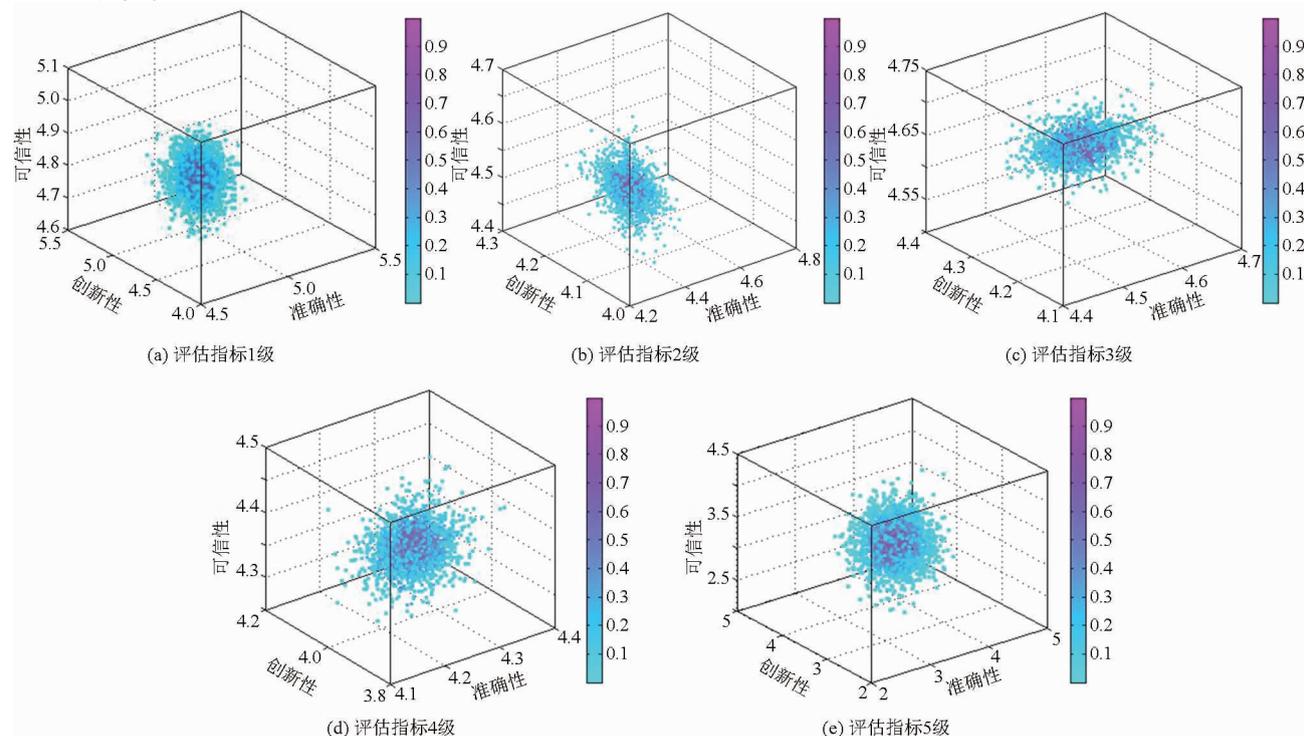


图2 知识云能力评估指标等级的云模型描述

Fig.2 Cloud models description of evaluation indicators in cloud capability service for knowledge

根据各评估区间的极限值计算各区间的 E_{x_i} ,由云模型的 $3E_n$ 原则计算 E_{n_i} ,完成对表1中的双边约束数据空间的云化处理,前件云模型的特征参数计算式为

$$E_{x_i} = \begin{cases} I_{imin} & (i=1) \\ (I_{imin} + I_{imax})/2 & (1 < i < 5) \\ I_{imax} & (i=5) \end{cases} \quad (7)$$

$$E_{n_i} = \frac{I_{imax} - I_{imin}}{6} \quad (8)$$

$$H_e = k \quad (9)$$

式中 I_{imin} 、 I_{imax} ——评估指标的约束边界
 k ——常数

反映了知识云能力服务效能评估值的随机性,可信性、创新性、准确性3个主观评价打分评估指标的云模型描述如图2所示。

3.1.2 知识云能力评估规则的后件云模型

云模型中如给定已知任务信息是隶属度值 $\mu = v_1$,且评估规则后件的 n 维云模型数字特征为 $E_{y_{ni}}$ 、 $E_{ny_{ni}}$ 、 $H_{ey_{ni}}$,产生满足条件的评估规则云滴组 $(x_{1j}, x_{2j}, x_{ij}, \dots, x_{nj}, v_1)$,则称为 n 维 Y 条件评估规则云模型。即

$$\begin{aligned}
 & (P_{y_{1i}}, P_{y_{2i}}, \dots, P_{y_{ni}}) = \\
 & R_n(E_{ny_{1i}}, E_{ny_{2i}}, \dots, E_{ny_{ni}}, H_{ey_{1i}}, H_{ey_{2i}}, \dots, H_{ey_{ni}}) \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$y_i = nE_y \pm \sqrt{-2\ln\mu}(P_{y_{1i}} + P_{y_{2i}} + \dots + P_{y_{ni}}) \quad (11)$$

表3 知识云能力各评估指标等级约束云模型

Tab.3 Grade cloud models of evaluation indicators in cloud capability service for knowledge

指标	等级区间云					
	1级	2级	3级	4级	5级	
I_1	E_{xi}	2.060 0	2.182 5	2.390 0	2.607 5	2.840 0
	E_{ni}	0.020 0	0.020 8	0.048 3	0.024 2	0.053 3
	H_e	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
I_2	E_{xi}	456	486	520	546	642
	E_{ni}	36.67	9.333	14	6	26
	H_e	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
I_3	E_{xi}	0.950	0.920	0.900	0.880	0.860
	E_{ni}	0.013 0	0.013 3	0.025 0	0.011 7	0.016 7
	H_e	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
I_4	E_{xi}	4.820	4.555	4.400	4.235	3.315 0
	E_{ni}	0.056 7	0.031 7	0.020 0	0.035 0	0.271 7
	H_e	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
I_5	E_{xi}	4.655	4.265	4.130	3.965	3.190
	E_{ni}	0.111 7	0.018 3	0.026 7	0.028 3	0.230 0
	H_e	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
I_6	E_{xi}	4.835	4.640	4.525	4.375	3.400
	E_{ni}	0.051 7	0.013 3	0.025 0	0.025 0	0.300 0
	H_e	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1

由3.1.1节知,将知识云能力的评估结果分为优良、良好、中等、合格、不合格共5个等级,其对应的云模型为1级(1,0.3,0.1)、2级(2,0.45,0.1)、3级(3,0.75,0.1)、4级(4,0.45,0.1)、5级(5,0.3,0.1)。

因此若输入 x_i 刺激不同评估指标部分,产生不同的 $\mu_{M_{ij}}$,再由评估规则处理产生大量服务效能评价云滴,最终经加权平均处理后输出与 x_i 对应的定量输出值 y_i 。若将知识云能力的每个评价指标分为5个语言描述等级“较低(较差)、低(短)、一般、好(高、强)、较好(较高、较强)”,用云制造环境下某新产品开发知识服务平台的多个 n 维 X 条件评估指标前件云模型和多个 n 维 Y 条件评估规则后件云模型,可以构成如下多元规则组合的知识云能力综合评估云推理过程。

规则1:IF 服务成本较低 AND 服务时间较短 AND 可用性较好 AND 准确性较好 AND 创新性较强 AND 可信性较高,THEN 知识云能力服务效能等级为优良。

规则2:IF 服务成本一般 AND 服务时间短 AND 可用性较好 AND 准确性较好 AND 创新性强 AND 可信性高,THEN 知识云能力服务效能等级为良好。

规则3:IF 服务成本一般 AND 服务时间一般 AND 可用性较好 AND 准确性好 AND 创新性一般 AND 可信性高,THEN 知识云能力服务效能等级

为中等。

规则4:IF 服务成本高 AND 服务时间长 AND 可用性较好 AND 准确性好 AND 创新性一般 AND 可信性一般,THEN 知识云能力服务效能等级为合格。

规则5:服务成本较高 AND 服务时间较长 AND 可用性一般 AND 准确性较低 AND 创新性较差 AND 可信性一般,THEN 知识云能力服务效能等级为不合格。

3.2 知识云能力综合评估的云推理算法

根据3.1节知识云能力综合评估云推理的多元组合规则,建立其云推理算法如下:

输入: n 个知识云能力评价指标的数字特征值 $(E_{xb11}, E_{nb11}, H_{eb11}), \dots, (E_{xbn1}, E_{nbn1}, H_{ebn1}) \dots (E_{xbij}, E_{nbij}, H_{ebij}), \dots, (E_{xbnm}, E_{nbnm}, H_{ebnm})$,知识云能力评估规则的 n 个数字特征值 $(E_{xu11}, E_{nu11}, H_{eu11}), \dots, (E_{xun1}, E_{nun1}, H_{eun1}) \dots (E_{xuij}, E_{nuij}, H_{euij}), \dots, (E_{xunm}, E_{nunm}, H_{eunm})$,给定输入 $x_i = \mu_i, i = 1, 2, \dots, n$,生成云滴的个数 n 。

输出:知识云能力综合评估等级值 E_c 。

算法:知识云能力综合评估的云推理算法:

步骤1:判断给定输入 x_i 激活几条云推理规则。

步骤2.1:若激活一条规则,产生以 E_{nbni} 为期望值、 H_{ebni} 为标准差的一维正态随机数 E'_{nbni} ,然后根据给定条件值,计算隶属度 μ

$$\mu = e^{-\left(\frac{(x_1 - E_{xb11})^2}{2E'_{nb11}^2} + \frac{(x_2 - E_{xb21})^2}{2E'_{nb21}^2} + \dots + \frac{(x_n - E_{xbn1})^2}{2E'_{nbn1}^2}\right)}$$

采用文献[18]的主客观综合赋权法来确定各评估指标的权重系数,如表4所示。

表4 各评估指标权重分配

Tab.4 Weight distribution of evaluation indicators

类型	评估指标权重					
	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6
综合	0.366	0.320	0.248	0.015 2	0.022 6	0.029 5

加权隶属度 $\tilde{\mu}$

$$\tilde{\mu} = e^{-\left(\frac{\omega_1(x_1 - E_{xb11})^2}{2E'_{nb11}^2} + \frac{\omega_2(x_2 - E_{xb21})^2}{2E'_{nb21}^2} + \dots + \frac{\omega_n(x_n - E_{xbn1})^2}{2E'_{nbn1}^2}\right)}$$

步骤2.2:再由获取的知识云能力评估规则后件,产生以 E_{nu1i} 为期望值、 H_{eu1i} 为标准差的 n 维正态值 E'_{nu1i} ,计算 y_i

$$y_i = E_{U1i} \pm \sqrt{-2\ln \tilde{\mu}} E'_{nu1i}$$

步骤2.3:令 $(y_i, \tilde{\mu})$ 为服务效能综合评估云滴。

步骤2.4:返回步骤2.1,循环若干次,最终以所有云滴期望值的平均值输出。

步骤3.1:若激活两条规则,对每一条单规则,

重复步骤 2.1, 得到激活两条单规则的评估指标加权后隶属度 $\tilde{\mu}$ 。

步骤 3.2: 取 $\tilde{\mu}_i$ 中 μ_1 和 μ_2 , 根据给定评估规则后件的 (E_{nU11}, H_{eU11}) 随机生成以 E_{nU11} 为期望, H_{eU11} 为方差的一维正态随机值 E_{nU111}, E_{nU112} ; 由

$$\mu_1 = e^{-\frac{(y_1 - E_{xU11})^2}{2E_{nU111}^2}} \quad \mu_2 = e^{-\frac{(y_2 - E_{xU11})^2}{2E_{nU112}^2}}$$

反求得到在 μ_1, E_{nU111} 条件下的两个 y_1 值和 μ_2, E_{nU112} 条件下的 y_2 值。

步骤 3.3: 取最外侧 2 个云滴 (y_1, μ_1) 和 (y_2, μ_2) , 构建以 (E_x, E_n, H_e) 为数字特征的虚拟云, 通过几何方法求解方差组可得虚拟云的期望为

$$E_x = \frac{y_1 \sqrt{-2 \ln \mu_2} + y_2 \sqrt{-2 \ln \mu_1}}{\sqrt{-2 \ln \mu_2} + \sqrt{-2 \ln \mu_1}}$$

熵为

$$E_n = \frac{|y_1 - y_2|}{\sqrt{-2 \ln \mu_2} + \sqrt{-2 \ln \mu_1}}$$

步骤 4: 若激活多条规则, 则每一条单规则, 依据步骤对 2.1 到 2.3 输出多个云滴, 然后返回步骤 2.1, 循环步骤 2.1 到 2.3 若干次, 最终以所有云滴期望值的平均值输出。或依据步骤 3.1 到 3.2 获得每条规则的激活强度即隶属度 $\tilde{\mu}_i$, 然后取 $\tilde{\mu}_i$ 中最大 μ_1 和次大 μ_2 , 依据步骤 3.3 到 3.4, 算出虚拟云的期望值。

步骤 5: 重复步骤 1 ~ 4, 直到输出值满足知识云能力服务效能综合评估的要求。

4 应用实例

以重庆市汽摩零部件新产品开发云服务平台的某服务任务为例, 对其知识云能力服务效能评估过程进行阐述。该服务过程包括激光扫描资源服务、点云处理方法服务、模型设计及产品造型知识服务、模具设计及加工过程云服务 6 个子任务, 云平台通过搜索引擎获取各子任务所需服务资源, 采用与文献[16]相同的服务资源评价指标样本数据, 如表 5 所示。其服务效能评估过程如下:

(1) 确定知识云能力服务效能评估属性及关键影响因素, 建立如表 1 所示的知识云能力服务效能评估指标体系。

(2) 对待评估指标数据进行预处理。云平台通过搜索引擎获取各子任务所需服务资源, 将服务成本、服务时间、可用性、准确性、创新性和可信性 6 个评估指标分为 5 个等级, 由式(3)计算得到各指标区间云化处理后数字特征如表 3 所示。

(3) 评估等级云化处理。评估结果分为优良

(1 级)、良好(2 级)、中等(3 级)、合格(4 级)、不合格(5 级)共 5 个等级, 其对应的云模型如图 3 所示。

表 5 服务过程实测数据

Tab. 5 Experimental data for service processing

服务任务	服务过程实测数据						评估结果/级
	I_1 /万元	I_2 /h	I_3	I_4	I_5	I_6	
1	2.080	564	0.93	4.37	4.10	4.53	2.10
2	2.575	452	0.94	4.42	4.07	4.50	3.42
3	2.330	516	0.94	4.33	4.15	4.48	3.36
4	2.240	516	0.92	4.28	4.13	4.52	3.23
5	2.145	560	0.915	4.40	4.05	4.50	3.24
6	2.390	496	0.918	4.03	4.11	4.13	4.24
7	2.150	540	0.923	4.50	4.05	4.57	3.18
8	2.345	476	0.910	4.57	4.05	4.48	4.13
9	2.185	512	0.893	4.50	4.17	4.45	3.25
10	2.450	532	0.932	4.07	4.10	4.12	4.45

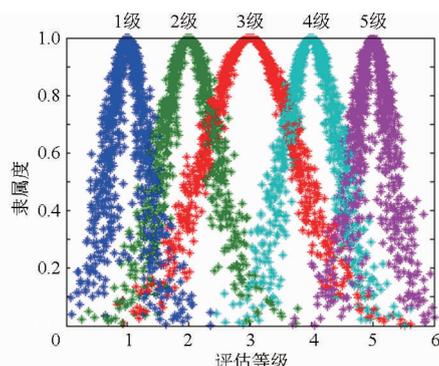


图 3 综合评估等级云化处理

Fig. 3 Cloud processing of synthetic evaluation grade

(4) 评估等级值计算。将表中第 2 行数据作为知识服务云能力推理算法的输入, 它将激活定性规则的规则 3, 激活强度为 $\mu = 0.1852$, 依据 3.2 节步骤 2.2 可得 $y = 3.42$, 则该任务条件下知识云能力服务效能等级为 3 级, 对应语言描述值为一般。若输入表 5 中第 1 行数据, 则激活规则 1 和规则 3, 激活强度为最大 $\mu_1 = 0.1235$ 和次大 $\mu_2 = 0.1621$, 对应到评估规则后件云中产生 A、B、C、D 4 个云滴, 选取最外侧的 A(2.8780, 0.6875) 和 D(4.2319, 0.3080) 2 个云滴, 依据云推理算法步骤 3 计算可得 $E_x = 2.10$, 即知识云能力服务效能评估等级为 2 级, 对应语言描述值为良。此外评估结果还表明, 知识资源匹配方案 1 的服务效能较好, 属于良好等级, 而方案 6、8、10 服务效能仅为合格, 需要进一步优化组合知识资源来提高服务效能, 满足用户需求。

同时对云平台的 100 次服务任务进行效能评估, 图 4 显示了综合服务效能评估结果的变化曲线。仿真分析表明评估结论与预期结果基本一致, 且准确度更高, 证明了本文所提知识云能力服务效能量化评估方法是合理有效的。

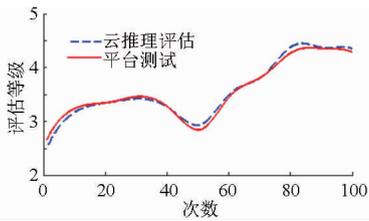


图4 云平台知识服务效能评估与平台测试结果对比

Fig.4 Comparison of knowledge cloud service evaluation and platform testing results

5 结束语

针对云环境下知识服务的复杂情况,分析了影响和制约知识云能力服务效能的关键因素和条件,在此基础上建立了既能反映知识云能力本质属性,

又能反映其整体特征的综合评估体系,提出了基于云推理的知识云能力量化评估方法。通过对知识云能力服务效能评估指标的不确定描述以及云对象处理,得到了评估指标云模型表达的数字特性,并建立了知识云能力服务效能评价指标前件云和评价规则后件云,通过前后件云的多元组合构建知识云能力效能评估云推理发生器,并给出推理算法,完成了评估等级边界的不确定划分,在一定程度上兼顾了服务效能评估存在的模糊性和随机性特征,实现了服务效能评估和特征周期的连续化,克服了在评估等级边界处易出现等级跳跃等不合理现象,基本实现了知识云能力服务效能评估规范在等级划分方面的统一,应用实例也表明了此方法的有效性。

参 考 文 献

- 李伯虎,张霖,王时龙,等. 云制造一面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2010,16(1):1-7.
LI Bohu, ZHANG Lin, WANG Shilong, et al. Cloud manufacturing: a new service-oriented networked manufacturing model [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010, 16(1):1-7. (in Chinese)
- CHEN Toly, WANG Yucheng. Estimating simulation workload in cloud manufacturing using a classifying artificial neural network ensemble approach[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2016,38:42-51.
- YU Chunyang, XU Xun, LU Yuqian. Computer-integrated manufacturing, cyber-physical systems and cloud manufacturing-concepts and relationships[J]. Manufacturing Letters, 2015,6:5-9.
- 李伯虎,张霖,任磊,等. 云制造典型特征关键技术与应用[J]. 计算机集成制造系统,2012,18(7):1345-1356.
LI Bohu, ZHANG Lin, REN Lei, et al. Typical characteristics, technologies and applications of cloud manufacturing [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2012, 18(7):1345-1356. (in Chinese)
- ASANEE Kawtrakul. Beyond knowledge management: knowledge services innovation[J]. Data Engineering and Management, 2012,64(11):9-15.
- ANNA-LEENA Asikainen. Innovation modes and strategies in knowledge intensive business services [J]. Service Business, 2013, 12:219-235.
- 张昕宇. 图书情报界的知识服务研究[J]. 图书情报工作, 2012, 56(2):19-22.
ZHANG Xinyu. Knowledge service research in library and information science community [J]. Library and Information Service, 2012, 56(2):19-22. (in Chinese)
- 袁巍,李津生,洪佩琳. 一种P2P网络分布式信任模型及仿真[J]. 系统仿真学报, 2006,18(4):938-942.
YUAN Wei, LI Jinsheng, HONG Peilin. Distributed peer-to-peer trust model and computer simulation [J]. Journal of System Simulation, 2006,18(4):938-942. (in Chinese)
- 柳世考,刘兴堂. 一种有效评估大型复杂仿真系统可信度的新方法[J],系统仿真学报,2001,13(5):666-669.
LIU Shikao, LIU Xingtang. A new method of elevation of confidence level of large-scale perplexing simulation system[J]. Journal of System Simulation, 2001,13(5):666-669. (in Chinese)
- 王守信,张莉,李鹤松. 一种基于云模型的主观信任评价方法[J]. 软件学报, 2010,21(6):1341-1352.
WANG Shouxin, ZHANG Li, LI Hesong. Evaluation approach of subjective trust based on cloud model [J]. Journal of Software, 2010,21(6):1341-1352. (in Chinese)
- NAGHAM Alhadad, YANN Busnel. Trust evaluation of a system for an activity with subjective logic[J]. Trust, Privacy, and Security in Digital Business, 2014,8647:48-59.
- DU Ruizhong, ZHAO Pengyuan. Subjective trust evaluation model based on preferences[J]. Advances in Computer Science, Environment, Ecoinformatics, and Education, 2011,215:466-472.
- CHEN Chunhao, HONG Tzung Pei. A cluster-based genetic-fuzzy mining approach for items with multiple minimum supports[J]. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining,2008,50(12):864-869.
- PAN Wenyan, WANG Kefei. The research of e-commerce site evaluation based on AHP and cluster analysis means [J]. Education and Management, 2011,21:458-463.
- 刘晶晶,孙永海,陈莉,等. 基于云模型的玉米饮料感官鉴评[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1):113-118.
LIU Jingjing, SUN Yonghai, CHEN Li, et al. Sensory evaluation of corn juices based on cloud model [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1):113-118. (in Chinese)
- 李德毅. 知识表示中的不确定性[J]. 中国工程科学,2000,2(10):73-79.
LI Deyi. Uncertainty in knowledge representation [J]. Engineering Science, 2000,2(10):73-79. (in Chinese)

- 11 SUN B, YANG D. Experimental study on the heat transfer characteristics of nanorefrigerants in an internal thread copper tube [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, 64: 559 – 566.
- 12 SUN B, YANG D. Flow boiling heat transfer characteristics of nano-refrigerants in a horizontal tube [J]. *International Journal of Refrigeration*, 2014, 38: 206 – 214.
- 13 BAQERI S, AKHAVAN-BEHABADI M A, GHADIMI B. Experimental investigation of the forced convective boiling heat transfer of R – 600a/oil/nanoparticle [J]. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2014, 55: 71 – 76.
- 14 YANG D, SUN B, LI H W, et al. Experimental study on the heat transfer and flow characteristics of nanorefrigerants inside a corrugated tube [J]. *International Journal of Refrigeration*, 2015, 56: 213 – 223.
- 15 LAZAREK G M, BLACK S H. Evaporative heat transfer, pressure drop and critical heat flux in a small vertical tube with R – 113 [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1982, 25(7): 945 – 960.
- 16 GUNGOR K E, WINTERTON R H S. A general correlation for flow boiling in tubes and annuli [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1986, 29(3): 351 – 358.
- 17 TRAN T N, WAMBSGANSS M W, FRANCE D M. Small circular- and rectangular-channel boiling with two refrigerants [J]. *International Journal of Multiphase Flow*, 1996, 22(3): 485 – 498.
- 18 SUN L, MISHIMA K. An evaluation of prediction methods for saturated flow boiling heat transfer in mini-channels [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2009, 52(23 – 24): 5323 – 5329.
- 19 BERTSCH S S, GROLLE E A, GARIMELLA S V. A composite heat transfer correlation for saturated flow boiling in small channels [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2009, 52(7 – 8): 2110 – 2118.
- 20 LI W, WU Z. A general correlation for evaporative heat transfer in micro/mini-channels [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, 53(9 – 10): 1778 – 1787.
- 21 KIM S M, MUDAWAR I. Universal approach to predicting saturated flow boiling heat transfer in mini/micro-channels—Part II. two-phase heat transfer coefficient [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, 64: 1239 – 1256.
- 22 QU W L, MUDAWAR I. Flow boiling heat transfer in two-phase micro-channel heat sinks—I. Experimental investigation and assessment of correlation methods [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2003, 46(15): 2755 – 2771.
- 23 ALAWI O A, SIDIK N A C, MOHAMMED H A. A comprehensive review of fundamentals, preparation and applications of nanorefrigerants [J]. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2014, 54: 81 – 95.
- 24 KAKAÇ S, PRAMUANJAROENKIJ A. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2009, 52(13 – 14): 3187 – 3196.
- 25 SITPRASERT C, DECHAUMPHAI P, JUNTASARO V. A thermal conductivity model for nanofluids including effect of the temperature-dependent interfacial layer [J]. *Journal of Nanoparticle Research*, 2009, 11(6): 1465 – 1476.
- 26 MAHBUBUL I M, FADHILAH S A, SAIDUR R, et al. Thermophysical properties and heat transfer performance of Al₂O₃/R – 134a nanorefrigerants [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, 57(1): 100 – 108.
- 27 DENG D X, TANG Y, LIANG D J, et al. Flow boiling characteristics in porous heat sink with reentrant microchannels [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2014, 70: 463 – 477.
- 28 MOFFAT R J. Describing the uncertainties in experimental results [J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1988, 1(1): 3 – 17.
- 29 LEE H, PARK I, MUDAWAR I, et al. Micro-channel evaporator for space applications—2. Assessment of predictive tools [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2014, 77: 1231 – 1249.

(上接第 332 页)

- 17 尹超, 张云, 钟婷. 面向新产品开发的云制造服务资源组合优选模型[J]. *计算机集成制造系统*, 2012, 18(7): 1368 – 1378.
YIN Chao, ZHANG Yun, ZHONG Ting. Optimization model of cloud manufacturing services resource combination for new product development [J]. *Computer Integrated Manufacturing System*, 2012, 18(7): 1368 – 1378. (in Chinese)
- 18 江伟光, 武建伟, 潘双夏, 等. 面向知识工程的产品信息模型[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(7): 133 – 138.
JIANG Weiguang, WU Jianwei, PAN Shuangxia, et al. Product information model oriented to KBE [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(7): 133 – 138. (in Chinese)
- 19 张太华, 顾新建, 白福友. 基于产品知识模块本体的产品知识集成[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(5): 214 – 221.
ZHANG Taihua, GU Xinjian, BAI Fuyou. Product integration of product knowledge based on modular ontologies of product knowledge [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(5): 214 – 221. (in Chinese)
- 20 庄万玉, 凌丹, 赵瑾, 等. 关于敏捷性评价指标权重的研究[J]. *电子科技大学学报*, 2006, 35(6): 985 – 988.
ZHUANG Wanyu, LING Dan, ZHAO Jin, et al. Research on weights of agility appraisal indexes [J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2006, 35(6): 985 – 988. (in Chinese)