

基于混合型模糊指标的云制造资源选择决策方法研究^①

刘建胜^② 刘中生^③ 涂海宁 熊君星

(南昌大学机电工程学院 南昌 330031)

摘 要 针对云资源优选决策过程中存在定性指标模糊性,以及定量指标以区间性度量为代表的决策难点问题,提出了一种不确定性环境下基于 OWA 算子的混合型多指标云制造资源优势度决策方法。该方法首先运用标度法将不可量化的模糊性定性指标转化为区间数定量指标;其次利用基于相对优势度的区间数排序,结合 OWA 算子对云服务的优势度进行集结,得到云制造资源的综合优势度,给出云制造资源集合的优先排序,从而为用户选择出最需要的制造服务资源。通过在数控机床设备优选过程中的应用,验证了该方法的可行性和实用性。

关键词 云制造资源,混合型指标,区间数,OWA 算子,相对优势度

0 引 言

云制造是一种运用网络将制造企业可扩展的制造资源、制造能力以及 IT 资源、数据及应用等以服务的形式提供给用户的制造新模式。它是由计算领域最新的研究技术(云计算、物联网、虚拟化、嵌入式及管理信息系统等)与先进制造理论、模式(虚拟制造、网络制造、全球制造、智慧制造等制造模式)高度融合而形成的^[1]。云制造将海量的高度虚拟化的制造业生产所依赖的各种资源管理起来,组成资源池,用来统一提供服务。因此,如何从云制造资源池(制造云)中选择最适合的制造业资源以服务的形式提供给用户是云制造研究领域的一个关键问题。

近年来,国内外学者对云服务选择问题开展了一系列研究,取得了显著研究成果,推动了云制造领域研究不断深入发展,如:李研等^[2]提出一种基于 QoS 数据可信的服务选择方法;胡业发等^[3]基于服

务资源的信任评价,建立了制造网格资源服务 Trust-Qos 评估模型,而且还给出了量化的评估算法,以有效地选择用户最佳需要的服务;Tao 等^[4]在网格制造模式中开发了一个综合的 QoS 信息矩阵,并通过对服务时间、成本、可信任度、可维护性、满意度等指标综合评估得到一个加权值,并用此加权值作为优选服务的依据;马文龙等^[5]提出了一种基于服务质量感知的云服务选择模型,建立了云制造业务的 QoS 评价指标采集、量化和信息校正方法,并基于可变粗糙集的多指标决策方法推选出最佳的服务。这些现有研究成果大多数是从多角度基于 QoS 的服务选择,缺乏针对模糊性指标以及区间定量指标的研究。因此,本文提出了一种不确定性信息环境下基于 OWA 算子的云制造资源优势度计算方法。该方法是考虑用户需求,结合决策者的模糊偏好以及区间数不确定信息提出的不确定性指标的度量方法,并基于相对优势度给出候选云制造服务资源的优先排列次序,从而为云制造服务决策选择提供了一种有效方法。

① 国家自然科学基金(51565036),江西省科技厅科技支撑(20123BBE50083)和江西省教育厅青年基金(GJJ13002)资助项目。
 ② 男,1978 年生,博士,硕士生导师,副教授;研究方向:制造过程管理与控制,物流管理与优化技术,设施布局与优化等;E-mail: victorljs@163.com
 ③ 通讯作者,E-mail: 790396397@qq.com
 (收稿日期:2016-01-13)

1 问题描述

云制造平台中的用户^[6]有云制造服务提供者 (cloud service provider, CSP) 和云制造服务需求者 (cloud service demander, CSD)。CSP 在基于以服务为导向的云制造平台上动态性地发布自己的制造业资源 (制造资源、制造能力及 IT 资源等), 以所用所付的方式出售制造应用、业务。而 CSD 以生产任务的需求, 从云制造平台中筛选出基本符合其要求的待选制造云服务, 从中选择最佳的云服务或组合云服务去执行该制造任务。一般将云服务选择过程分为二个阶段: 第一阶段是功能匹配, 而依据去制造服

务需求者 (CSD) 详细的制造功能需求 (如制造设备、零件的数量、生产成本、精度要求等), 筛选出能够满足制造功能要求及生产能力要求的候选云制造服务资源集; 第二阶段是优选, 即设计优选算法从候选云服务集中为用户选择出最佳的制造服务。对于第一阶段, 功能匹配这一环节已有许多学者研究了, 他们研究用到的技术方法可分为两类: (1) 关键字搜索技术, 如文献[7]开发的一种基于内容关键字搜索服务的方法; (2) 基于语义的服务发现技术, 如文献[8]用建立的制造资源本体来搜索功能相似的制造服务。本文研究的内容是云服务优选的第二阶段: 优选, 设计优选算法并运用该优选方法从候选服务集中选择出用户最佳的云服务, 如图 1 所示。

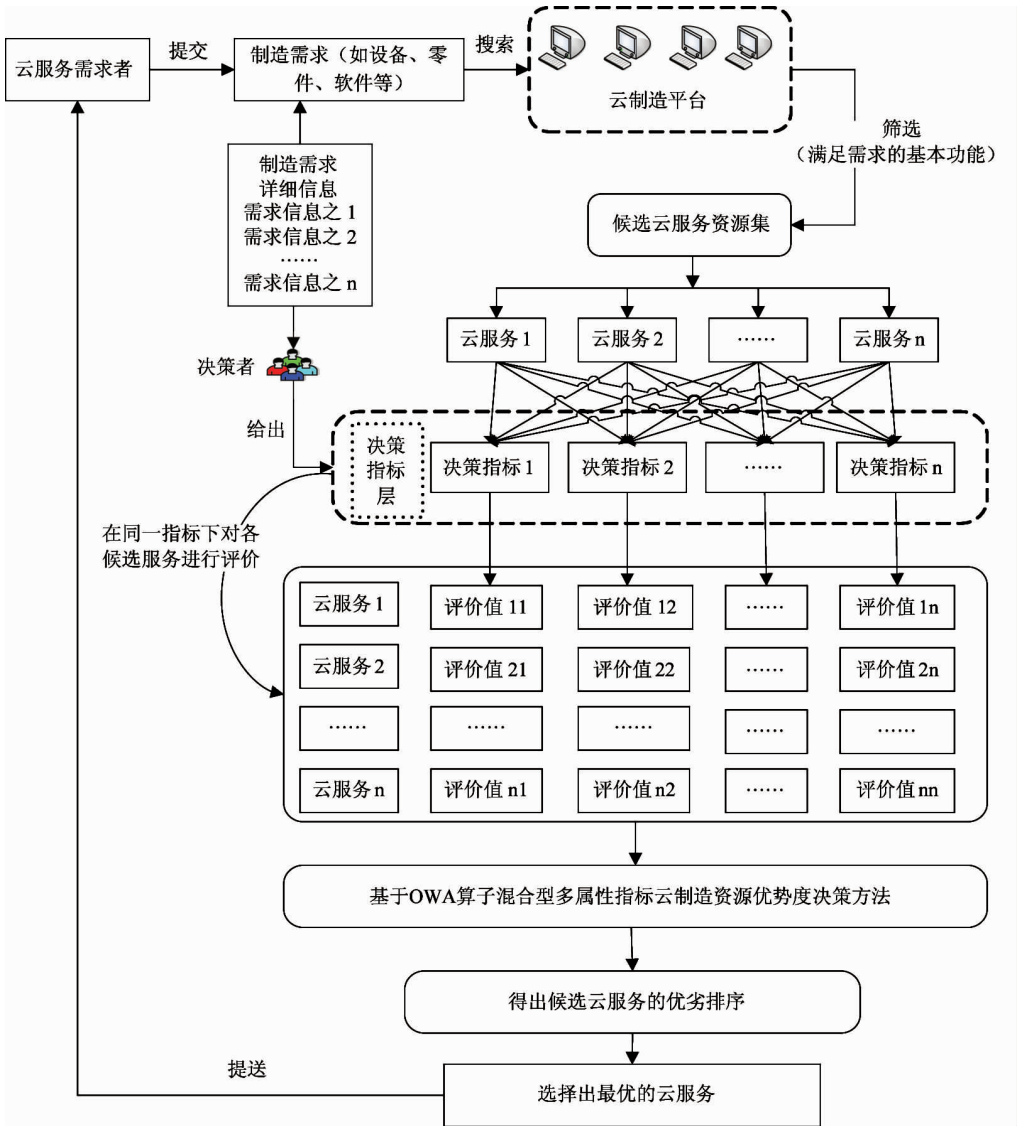


图 1 云制造资源优化过程

在云制造资源优选过程中,由于决策者偏好或决策属性指标本身的不确定性,导致难以对决策指标准确赋值,针对决策过程中存在的模糊语言和区间数形式表达现状,将此问题归结为基于语言变量和区间数的混合多属性指标决策问题:设云制造资源 x_i 按第 j 个指标 u_j 进行测度,得到 x_i 关于 u_j 的属性指标值是 x_{ij} (即第 i 个备选方案的第 j 个指标的指标值),其属性指标值为区间数或语言变量,如 $x_{ij} = [x_{ij}^L, x_{ij}^U]$ (区间数)或者 $x_{ij} = [\text{一般}, \text{好}]$ (语言变量),最终得到 x_i 的优先排序结果。

2 模糊属性定义

在云制造服务优选过程中,决策者在进行决策时可能会使用区间数评估或者用适当的语言评估标度。因此,区间数、不确定语言变量均体现了属性指标的不确定性和模糊性。

2.1 区间数的定义

设 R 是实数域,对 R 中任意两个实数 a^L, a^U ($a^L \leq a^U$),那么 R 上的一个区间数 a 可表示为 $a = [a^L, a^U]$,其中 a^L 是上极限, a^U 是下极限。

2.2 语言变量区间表示

定义语言变量前先设定语言评估标度 $S = \{s_i | i = 1, 2, \dots, n\}$,针对云服务优选问题,本文选定 7 标度 $-S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7\} = \{\text{很好}, \text{好}, \text{较好}, \text{一般(中)}, \text{较差}, \text{差}, \text{很差}\}$ 。

在 S 域内,当 $s_\alpha, s_\beta \in S$,则不确定语言变量可表示为 $s = [s_\alpha, s_\beta]$,其中 s_α 和 s_β 分别表示其下限与上限。对具有不确定性语言、区间数特征的多指标决策服务优选问题,本文为了方便计算,在优选服务的过程中先将语言变量转换成区间数,然后再进行规范化处理,之后对候选服务进行比较、排序。

3 模糊属性计算方法

3.1 语言变量转化成区间数的方法

(1) 参考文献[9]将不同粒度的模糊语言转成对应关系的区间数(见表 1)。

表 1 模糊语言变量与区间数转化关系

模糊语言	区间数
很好(极好、优、很高)	$[0.875, 1]$
好(高)	$[0.741, 0.875]$
较好(较高)	$[0.571, 0.741]$
中(一般)	$[0.429, 0.571]$
较差(较低)	$[0.286, 0.429]$
差(低)	$[0.143, 0.286]$
很差(很低)	$[0, 0.143]$

(2) 按照表 1 将模糊语言转换成对应的区间数后,将不确定语言变量转换为区间数。具体步骤如下:

(i) 对不确定语言变量 $s = [s_\alpha, s_\beta]$,按照 7-标度法将其模糊语言转化成区间数,如下式所示:

$$s = [s_\alpha, s_\beta] = [[a^{L(\alpha)}, a^{U(\alpha)}], [a^{L(\beta)}, a^{U(\beta)}]] \quad (1)$$

(ii) 当 $a^{U(\alpha)} = a^{L(\beta)}$ 时,将其转化成的区间数,如下式所示

$$s = [(a^{L(\alpha)} + a^{U(\alpha)})/2, (a^{L(\beta)} + a^{U(\beta)})/2] \quad (2)$$

(iii) 当 $a^{U(\alpha)} \neq a^{L(\beta)}$ 时,将语言变量表示为 $s = [[a^{L(\alpha)}, a^{U(\alpha)}], [a^{L(m)}, a^{U(m)}], [a^{L(\beta)}, a^{U(\beta)}]]$,则转化成的区间数为

$$s = [[a^{L(\alpha)}, a^{U(\alpha)}], [a^{L(m)}, a^{U(m)}], [a^{L(\beta)}, a^{U(\beta)}]] = [(a^{L(\alpha)} + a^{L(m)})/2, (a^{U(m)} + a^{U(\beta)})/2] \quad (3)$$

3.2 决策矩阵规范化处理

对云服务优选时,因考虑云服务需求者的制造需求,决策者对评价服务优劣的指标进行测度时可能存在不同的物理量纲,所以要消除不同量纲对决策结果的影响。本文选用向量规范法^[10]对决策矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 进行处理得到归一化的矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$,其中 $y_{ij} = [y_{ij}^L, y_{ij}^U]$ 。指标类型常常可以分为 2 种,即效益型(I_1)和成本型(I_2),因而有

$$\begin{cases} y_{ij}^L = x_{ij}^L / \sqrt{\sum_1^m (x_{ij}^U)^2} \\ y_{ij}^U = x_{ij}^U / \sqrt{\sum_1^m (x_{ij}^L)^2} \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j \in I_1) \quad (4)$$

$$\begin{cases} y_{ij}^L = \frac{1}{x_{ij}^U} / \sqrt{\sum_1^m \left(\frac{1}{x_{ij}^L}\right)^2} \\ y_{ij}^U = \frac{1}{x_{ij}^L} / \sqrt{\sum_1^m \left(\frac{1}{x_{ij}^U}\right)^2} \end{cases} \quad (i = 1, 2, \cdots, m; j \in I_2)$$

(5)

3.3 区间数转化成精确数的方法

本文在对候选云制造资源服务进行综合优势度评价时,仍须将区间数转化成实数。因此,采用文献[11]提供的公式

$$D_i = \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{j=1}^m p_{ij} + \frac{m}{2} - 1 \right) \quad (6)$$

实现区间数到精确数的映射。

3.4 OWA 算子

设 $OWA^{[12]}: R^n \rightarrow R$, 若

$$OWA_w(a_1, a_2, \cdots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (7)$$

说明 $w = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 是和函数 OWA 有关联的加权向量, $w_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$; b_j 是一组数据 $(a_1, a_2, \cdots, a_n)$ 中第 j 大的元素;则将函数 OWA 称为有序加权平均算子或者 OWA 算子。

OWA 算子可以把一组数据 $(a_1, a_2, \cdots, a_n)$ 按从大到小重新进行排序,并可以加权集结(权重 w_i 与元素 a_i 没有关系,只与集结过程中第 i 处位置有关)。

3.5 相对优势度计算方法

基于区间数的相对优势度的计算方法如下^[13]：
设 $a = [a^L, a^U]$, $b = [b^L, b^U]$ 是任意 2 个区间数,则区间数 a 与区间数 b 相比较, $a > b$ 的相对优势度按照下式进行计算：

$$p(a > b) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{2e^{c-0.5}}, \text{ 则 } c = \frac{a^U - b^L}{a^U - a^L + b^U - b^L} \geq 0.5 \\ \frac{1}{2e^{0.5-c}}, \text{ 则 } c = \frac{a^U - b^L}{a^U - a^L + b^U - b^L} < 0.5 \end{cases} \quad (8)$$

4 云制造资源决策方法

进行云制造资源决策有以下步骤：

- (1) 决策者对云服务优选问题进行分析,确定评价云服务优劣的评价指标及各个指标权重；
 - (2) 给出评价云服务指标及确定指标的比重后,决策者根据需求并结合自己的偏好给出各候选云服务评价指标值,并建立决策矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ ；
 - (3) 依据式(2)和(3)将决策矩阵中语言型的评价指标值转化为区间数的形式；
 - (4) 运用式(4)与(5)将决策矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 进行规范化处理,得出无量纲的归一化的矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ ；
 - (5) 在同一决策指标下,运用式(8)计算出候选云服务两两比较的优势度矩阵后,依据公式(6)计算 D_i , 把区间数转换成精确数；
 - (6) 运用 OWA 算子对候选云服务的优势度值进行集结,求得综合优势度值 V_i , 即
- $$V_i = \sum_{j=1}^n w_j D_{ij};$$
- (7) 根据综合优势度数值的大小对候选云服务进行优劣排序并择优。

5 案例分析

因生产需要某一齿轮零件加工厂需购买一台数控机床设备。现从云制造平台中筛选出能满足该厂要求的功能的 4 台候选数控机床,用 A、B、C、D 来表示。需求者需要对候选数控机床的工艺、精度、质量等方面的详细调查,而且还组织采购、生产及质检部等各领域的专家(即决策者)对候选数控机床的定性指标和定量指标进行评价(见表 2)。

根据模糊属性定义和云制造资源决策计算方法,采用 Matlab2014a 编程实现(如图 2)。

- 具体工作步骤如下：
- (1) 决策者给出评价数控机床优劣的指标及指标值,并确定各个指标权重。各指标的权重,如表 3 ~ 表 7 所示。

表 2 候选数控机床的指标评估值

一级指标	二级指标		A	B	C	D
质量属性	尺寸精度	C1(10 分)	[6,9]	[4,8]	[5,8]	[7,10]
	形状精度	C2(10 分)	[6,8]	[7,9]	[5,7]	[6,9]
	粗糙度	C3(10 分)	[7,9]	[6,7]	[7,8]	[6,8]
经济属性	设备成本	C4(万)	[4.5,6]	[5,6.5]	[4,5.8]	[5,6]
	生产成本	C5(万)	[0.4,0.6]	[0.5,0.6]	[0.45,0.5]	[0.48,0.6]
	维护成本	C6(万)	[0.15,0.2]	[0.18,0.25]	[0.2,0.3]	[0.2,0.28]
环境属性	油液污染	C7(%)	[10,20]	[15,20]	[12,15]	[10,18]
	噪声污染	C8(%)	[8,15]	[10,15]	[12,16]	[10,12]
人机属性	舒适性	C9	[一般,好]	[较好,好]	[较好,优]	[一般,好]
	安全性	C10	[较好,好]	[好,很好]	[较好,优]	[较好,好]
	维修性	C11	[较好,好]	[一般,好]	[好,很好]	[较好,好]



图 2 算法程序界面图

表 3 一级指标的判断矩阵及权重

	质量属性	经济属性	环境属性	人机属性	W	一致性检验
质量属性	1	1	3	4	0.39	$\lambda_{\max} = 4.02$
经济属性	1	1	4	3	0.39	$C.I. = 0.067$
环境属性	1/3	1/4	1	2	0.13	$C.R. = 0.075$
人机属性	1/4	1/3	1/2	1	0.09	< 0.1

表 4 质量属性指标的判断矩阵及权重

	C1	C2	C3	W	一致性检验
C1	1	2	2	0.49	$\lambda_{\max} = 3.054$
C2	1/2	1	1/2	0.20	$C.I. = 0.027$
C3	1/2	2	1	0.31	$C.R. = 0.052 < 0.1$

表 5 经济属性指标的判断矩阵及权重

	C4	C5	C6	W	一致性检验
C4	1	1/3	1/2	0.16	$\lambda_{\max} = 3$
C5	3	1	2	0.54	$C.I. = 0$
C6	2	1/2	1	0.30	$C.R. = 0 < 0.1$

表 6 环境属性指标的判断矩阵及权重

	C7	C8	W	一致性检验
C7	1	1/2	0.33	$\lambda_{\max} = 1.995$
				$C.I. = -0.005$
C8	2	1	0.67	$C.R. = 0 < 0.1$

表 7 人机属性指标的判断矩阵及权重

	C9	C10	C11	W	一致性检验
C9	1	1/4	1/2	0.14	$\lambda_{\max} = 2.993$
C10	4	1	2	0.57	$C.I. = -0.007$
C11	2	1/2	1	0.29	$C.R. = 0.013 < 0.1$

将求出的一级权重和二级权重集结,得到最终的权重向量:

$$W = (0.19, 0.078, 0.12, 0.062, 0.21, 0.12, 0.043, 0.087, 0.013, 0.051, 0.026)$$

(2) 根据候选数控机床的指标评估值,建立如下决策矩阵 X :

$$X = \begin{bmatrix} [6,9] & [6,8] & [7,9] & [4.5,6] \\ [4,8] & [7,9] & [6,7] & [5,6.5] \\ [5,8] & [5,7] & [7,8] & [4,5.8] \\ [7,10] & [6,9] & [6,8] & [5,6] \\ [0.4,0.6] & [0.15,0.2] & [10,20] & \\ [0.5,0.6] & [0.18,0.25] & [15,20] & \\ [0.45,0.5] & [0.2,0.3] & [12,15] & \\ [0.48,0.6] & [0.2,0.28] & [10,18] & \\ [8,15] & [一般,好] & [较好,好] & [较好,好] \\ [10,15] & [较好,好] & [好,很好] & [一般,好] \\ [12,16] & [较好,优] & [较好,优] & [好,很好] \\ [10,12] & [一般,好] & [较好,好] & [较好,好] \end{bmatrix}$$

(3) 按照式(2)和(3)将决策矩阵中的语言变量转化成区间数后,再用式(4)与(5)对决策矩阵进行规范化:

$$Y = \begin{bmatrix} [0.341,0.802] & [0.362,0.662] & [0.436,0.690] \\ [0.228,0.713] & [0.422,0.745] & [0.374,0.537] \\ [0.284,0.713] & [0.302,0.579] & [0.436,0.614] \\ [0.398,0.891] & [0.362,0.745] & [0.374,0.614] \\ [0.381,0.673] & [0.377,0.712] & [0.447,0.828] \\ [0.351,0.606] & [0.377,0.570] & [0.357,0.690] \\ [0.394,0.757] & [0.453,0.633] & [0.298,0.621] \\ [0.381,0.606] & [0.377,0.593] & [0.319,0.621] \\ [0.272,0.838] & [0.274,0.743] & [0.297,0.693] \\ [0.408,0.838] & [0.343,0.743] & [0.389,0.693] \\ [0.327,0.629] & [0.412,0.792] & [0.389,0.804] \\ [0.272,0.755] & [0.343,0.594] & [0.297,0.693] \\ [0.375,0.580] & [0.389,0.608] \\ [0.462,0.673] & [0.297,0.608] \\ [0.375,0.673] & [0.480,0.706] \\ [0.375,0.580] & [0.389,0.608] \end{bmatrix}$$

(4) 在同一指标下,运用式(8)对 4 台候选机床进行两两比较得到优势度后,再利用式(6)算出 D_i ,把优势度的属性值是区间数转换成精确数:

$$D = \begin{bmatrix} 0.254 & 0.248 & 0.269 & 0.253 & 0.260 & 0.275 \\ 0.238 & 0.265 & 0.229 & 0.239 & 0.237 & 0.251 \\ 0.242 & 0.230 & 0.257 & 0.265 & 0.263 & 0.236 \\ 0.266 & 0.257 & 0.245 & 0.243 & 0.241 & 0.238 \\ 0.253 & 0.246 & 0.242 & 0.238 & 0.246 \\ 0.265 & 0.253 & 0.252 & 0.270 & 0.234 \\ 0.237 & 0.265 & 0.263 & 0.254 & 0.275 \\ 0.246 & 0.235 & 0.242 & 0.238 & 0.246 \end{bmatrix}$$

(5) 运用 OWA 算子对候选数控机床的优势度值进行集结,求得综合优势度: $V_1 = 0.257, V_2 = 0.245, V_3 = 0.251, V_4 = 0.247$ 。根据综合优势度的大小对候选数控机床进行排序,并选择出最适合的数控机床: $V_1 > V_3 > V_4 > V_2$ 。由优势度的大小可知,第一台数控机床是最好的。

6 结 论

本研究针对云制造环境下制造资源优化配置问题,提出了一种基于混合型模糊指标的云制造资源决策方法。该方法考虑了云制造资源决策问题的复杂性和不确定性,以及决策指标的模糊性和多样性,使得云制造资源优选具备混合型多指标决策特性。首先将指标类型区分为模糊定性指标和区间定量指标,并设计出 7-标度法将模糊语言变量转化为区间数;其次提出了基于相对优势度的云制造资源优劣排序方法,并结合 OWA 算子对云服务的优势度进行集结,得到云制造资源的综合优势度,从而为用户选择出自己最需要的制造服务资源。算例表明,本研究提出的云制造资源优势度方法由于充分考虑了用户需求、决策者的模糊偏好信息以及不确定信息,因而能够为用户优选出较优的云服务资源。本研究有利于云制造资源优先问题的理论与实践发展,且也丰富了多指标决策理论的外延。对于用户的并行-混合任务需求的制造资源调度,以及制造加工中生产成本优惠等问题,是后续研究亟待解决的内容。

参考文献

- [1] 李伯虎, 张霖, 王时龙. 云制造——面向服务的网络化制造新模式. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 1-16
- [2] 李研, 周明辉, 李瑞超等. 一种考虑 QoS 数据可信性的服务选择方法. 软件学报, 2008, 19(10): 2620-2627
- [3] 胡业发, 陶飞, 周祖德. 制造网格资源服务 Trust-Qos 评估及其应用. 机械工程学报, 2007, 43(12): 203-211
- [4] Tao F, Hu Y F, Zhou Z D. Study on manufacturing grid and its resource service optimal-selection system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, 37(9): 1022-1041
- [5] 马文龙, 朱李楠, 王万良. 云制造环境下基于 QoS 感知的云服务选择模型. 计算机集成制造系统, 2014, 20(5): 1246-1254
- [6] 李伯虎, 张霖, 任磊等. 再论云制造. 计算机集成制造系统, 2011, 17(3): 449-457
- [7] Lee C, Helal S. Context attributes: an approach to enable context-awareness for service discovery. In: *Proceeding of the 2003 Symposium on Application and the Internet*, Orlando, USA, 2003. 22-30
- [8] 尹胜, 尹超, 刘飞等. 云制造环境下外协加工资源集成服务模式及语义描述. 计算机集成制造系统, 2011, 17(3): 525-532
- [9] 王武平. 面向群评价的混合多属性群决策方法研究: [博士学位论文]. 天津: 天津大学管理与经济学院, 2008. 34-35
- [10] 慈铁军, 刘晓瑜. 基于决策者偏好的区间数多属性决策属性值规范化方法. 统计与决策, 2015, 03: 36-38
- [11] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法. 系统工程学报, 2001, 16(4): 311-314
- [12] 王煜, 徐泽水. OWA 算子赋权新方法. 数学的实践与认识, 2008, 38(3): 51-61
- [13] 王中兴, 邵翠丽, 唐芝兰. 基于相对优势度的区间数排序及其在多属性决策中的应用. 模糊系统与数学, 2013, 27(2): 142-148

Study on a decision method for selection of cloud manufacturing resources based on hybrid fussy criteria

Liu Jiansheng, Liu Zhongsheng, Tu Haining, Xiong Junxing

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031)

Abstract

Aiming at the problem in cloud manufacture that selection of cloud manufacturing resources is difficult because attribute indexes may be fuzzy and attribute parameter values could be in the form of interval numbers or language values, a hybrid method for deciding the selection of cloud manufacturing services using the OWA operator in the condition of fussy or uncertain criteria is presented. Firstly, the method converts fuzzy qualitative indexes into interval quantitative indexes by using the scale method, and then, it uses the ranking of interval numbers based on the relative superiority as well as the OWA operator to aggregate the derived superiority of cloud services to obtain the final comprehensive superiority of cloud manufacturing resources. Finally, the priority sequence of cloud manufacturing resource sets is given, thus the most requisite service resources for cloud manufacturing can be selected for users. The feasibility and practicability of the proposed method were verified by applying it to a numerical control machine tool.

Key words: cloud manufacturing resource, hybrid criteria, interval number, OWA operator, relative superiority