

文章编号: 1001-0920(2013)01-00152-05

基于云模型的 Agent 联盟评价

田敬北^{1a,2}, 蒋建国^{1a}, 张国富^{1a,1b}, 苏兆品^{1a,1c}, 刘扬^{1a}

(1. 合肥工业大学 a. 计算机与信息学院, b. 信息与通信工程博士后流动站, c. 管理科学与工程博士后流动站, 合肥 230009; 2. 广西工学院 电子信息与控制工程系, 广西柳州 545006)

摘要: 针对多 Agent 系统中影响联盟功效的因素存在较强的模糊性和不确定性的问题, 将定性定量转换模型——云模型引入 Agent 联盟评价中, 提出一种新的基于云模型的联盟评价方法. 与已有方法相比, 该方法简单有效, 易于工程实现, 可较好地处理评价指标的模糊性和不确定性, 从而为复杂控制系统中的最佳联盟选择提供更科学、更合理的决策.

关键词: 复杂控制与决策; 多 Agent 系统; 联盟评价; 云模型

中图分类号: TP18

文献标志码: A

Evaluation of agent coalition based on cloud model

TIAN Jing-bei^{1a,2}, JIANG Jian-guo^{1a}, ZHANG Guo-fu^{1a,1b}, SU Zhao-pin^{1a,1c}, LIU Yang^{1a}

(1a. School of Computer and Information, 1b. Postdoctoral Research Station for Management Science and Engineering, 1c. Information and Communication Engineering Postdoctoral Research Station, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Electronic Information and Control Engineering Department, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China. Correspondent: JIANG Jian-guo, E-mail: szp@hfut.edu.cn)

Abstract: To solve the problem that the factors, which affect the coalition efficiency in multi-agent systems(MAS), have strong ambiguity and uncertainty, a novel method for the evaluation of agent coalition is proposed based on the cloud model which is introduced as a transforming model between qualitative and quantitative. Contrast to the existing works, the proposed method is more simple and effective, and easy to work in projects, which can deal with the ambiguity and uncertainty in evaluation indicators, thus can provide more scientific and reasonable decision for choosing the best coalition in some complex control systems.

Key words: complex control and decision making; multi-agent systems; evaluation of agent coalition; cloud model

0 引言

控制、决策与系统复杂性属于交叉学科领域, 而复杂系统作为系统科学中的一个前沿方向, 近年来一直是人们关注的一个热点. 文献[1-2]的一些研究表明, 仿真方法已逐渐成为复杂系统应用研究的一个重要手段. 其中基于智能体(Agent)的观点^[3]更是提供了一种强有力的工具、技术和途径来提高人们概念化和实现各种复杂控制和决策系统的能力, 也提供了一种自然和艺术的方式来表述一系列多样化的控制与决策问题, 并提供了很好的机会来处理由于工业正在向更加模块化、分布和开放系统的发展趋势而引起的一系列新类型应用. 特别是随着智能控制和分布式控

制两大工业控制技术的不断发展, 基于多 Agent 系统(MAS)的分布式智能控制与决策正在蓬勃兴起, 以适应计算机支持的协同工作等应用需求^[4], 因此, 对 MAS 中的联盟研究也变得越来越重要.

在 MAS 中, 当某个资源有限的 Agent 遇到其自身无法完成的任务时, 它不得不与系统中的其他 Agent 进行交互和协作, 组成一个团队来共同承担这个任务, 这样的团队即为联盟. 联盟问题作为控制理论的前沿课题, 一直受到国内外学者的普遍关注, 并已在联盟结构生成^[5-6]、联盟形成^[7-8]、效用分配^[9-10]等方面取得了丰硕的研究成果. 然而, 在一些复杂控制和决策系统中, 联盟功效的优劣直接关系到任务

收稿日期: 2011-06-23; 修回日期: 2011-08-08.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61004103, 61174170, 61100127); 国家教育部博士点基金项目(20100111110005); 安徽省自然科学基金项目(090412058, 11040606Q44); 中国博士后科学基金项目(20090460742).

作者简介: 田敬北(1975—), 男, 讲师, 博士生, 从事分布式智能控制、多 Agent 系统等研究; 蒋建国(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 从事智能控制系统、进化计算等研究.

完成的好坏,形成的联盟能否真正高效、顺利地各自的任务(即对当前联盟工作情况的实时跟踪和评价,用以反馈决策效果并指导后续任务执行)也是需要考虑的一个重要问题^[11]. 联盟的优劣与成员 Agent 的能力强弱、协调配合的性能、通信开销、Agent 之间的熟悉度等因素密切相关,这些因素难以用定量的数值表示,只能用一些模糊性、概略性和不确定性的自然语言值表示,这给评价带来了一定的困难,再加上评价专家意见的不一致性,采用常规的评判方法(如简单加权、模糊评判等)难以产生合理的结果. 为此,苏兆品等^[11]基于 D-S 证据理论对不确定性和不完全性的标值进行信息融合以实现联盟评价,克服了不同评价专家的主观不确定和不完全的差异. 但是,该方法建立在纯粹的概率模型之上,表现出一种“过度”形式化的趋势,并没有考虑到联盟中 Agent 固有特性也会引起评价指标的不确定性和模糊性,偏离了综合评价的工程实际;其次,该方法在评价过程中对于不确定信息的描述,通常是由专家根据一定的评价等级给出评价结果,不能自动实现定性和定量的合理转换,而且当评价专家间的标值有明显冲突时,权重大的评价专家对最终评价结果的影响较大,会引起评价的偏向性,从而导致合作联盟的不稳定.

针对上述问题,本文引入云模型^[12]这一定性定量转换模型,实现用自然语言值表示的定性概念与定量表示之间的不确定性转换,并兼顾 Agent 自身的一些固有特性,试图探索一种更有利于工程实际的联盟评价方法.

1 Agent 联盟评价

在 MAS 中,存在 Agent 集 $N = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 联盟 C 是 N 的一个非空子集. $V(C)$ 表示联盟 C 完成任务所能获得的收益评价价值. 它不仅受 Agent 的能力和通信开销的影响,还受 Agent 之间相互协调和配合的性能、熟悉度等因素的影响.

定义 1 对于任务 t , 备选联盟 $C \subset N$ 具有评价指标集 $S_C = \{s_1^C, s_2^C, \dots, s_m^C\}$, 其中 $s_1^C, s_2^C, \dots, s_m^C$ 分别表示影响联盟收益评价价值 $V(C)$ 的各种因素,称为评价指标^[11], m 为评价指标个数. $W(s_k^C)$ 表示评价指标 s_k^C ($k = 1, 2, \dots, m$) 对 $V(C)$ 影响的权重,满足 $\sum_{k=1}^m W(s_k^C) \leq 1$. 联盟 C 收益的综合评价由评价指标集 S_C 和其相应的权重共同决定,即

$$V(C) = \sum_{k=1}^m W(s_k^C) P(s_k^C), \quad (1)$$

其中 $P(s_k^C)$ 为指标 s_k^C 对应的评价期望值.

Agent 联盟评价问题是指面向任务 t , 根据评价指标集对联盟收益 $V(C)$ 进行综合评价,给出各指标

的 $P(s_k^C)$. 由于 Agent 具有一定的自主性、交互性、协作性和持续性等性质,联盟由这些具有固有特征的 Agent 组成. 联盟评价指标存在较强的模糊性和不确定性,联盟好坏的评价难以量化,运用“精确”的数学方法来评价几乎是不可能的. 采用模糊的定性概念(如:很好,好,一般,…)来描述便显得必要也更为合理,因为模糊的定性概念之间不存在绝对分明的界限,更符合人脑的思维表达方式. 因此,本文引入云模型^[12]这一定性定量转换模型,用以构成定性定量相互间的映射关系,从而更好地处理具有模糊和不确定信息的联盟评价问题.

2 云模型简介

云模型^[12]是在随机数学和模糊数学的基础上发展起来的、用于统一刻画语言值随机性、模糊性和二者间关联性的方法,可以实现语言值表述的定性概念与其定量数值描述间的不确定性转换,已广泛应用于进化计算^[12]、网上交易信任评价^[13]、决策分析^[14-15]、数据挖掘^[16]等领域.

定义 2 设 U 是一个用精确数值表示的定量论域, C 是 U 上的定性概念,若参数 $x \in U$ 是定性概念 C 的一次随机出现, x 对 C 的确定度 $\mu(x) \in [0, 1]$ 是有稳定倾向的随机数

$$\mu: U \rightarrow [0, 1], x \in U, x \rightarrow \mu(x),$$

则 x 在论域 U 上的分布称为云,记为云 $C(X)$. 每一个 $(x, \mu(x))$ 称为一个云滴^[13].

一般而言,云具有如下重要性质^[13]: 云是一个随机变量 X 在定量论域 U 上的分布,对于 X 的任意一次实现 $\forall x \in U, x$ 有一个确定度. 该确定度是一个随机变量,不是一个固定的数值;云由云滴组成,一个云滴只是定性概念在数量上的一次实现,云滴整体才能反映出概念的特征. 云滴数目越多,越能反映这个定性概念的整体特征;云滴的确定度可以理解为云滴能够代表该定性概念的程度. 云滴出现的概率越大,云滴的确定度应当越大,这与人脑思维相一致.

云模型采用期望 Ex 、熵 En 、超熵 He 这 3 个数字特征来整体表征一个概念: Ex 是云滴在论域空间分布的期望; En 是定性概念不确定性的度量; He 是熵的不确定性度量,即熵的熵,反映云滴离散程度以及隶属度的随机变化. 通常,这 3 个数字特征满足^[13]

$$x = \text{NORM}(Ex, En), \quad (2)$$

$$En' = \text{NORM}(En, He), \quad (3)$$

$$\mu(x) = \exp\left(-\frac{(x - Ex)^2}{2En'^2}\right). \quad (4)$$

其中: $\text{NORM}(\cdot)$ 表示服从正态分布的随机函数;数据 (x, μ) 为 x 在论域 U 上的分布,称为正态云. 云可以根

据不同的条件来生成,若给定特定的值 x_0 ,则产生满足上述条件的云滴称为带 X 条件的云发生器.若给定特定的隶属度 μ_0 ,则产生满足上述条件的云滴称为带 Y 条件的云发生器.定性概念与定量数值间的互转换可由正向云发生器和逆向云发生器来完成^[13].

3 基于云的 Agent 联盟评价

定义 3 评价度空间 ED 是定量论域区间 $[x_1, x_2]$ 的一个有序数值集合,序数值集合可以由连续或离散单调数值构成.其中:有序集合中每个数值表示对指标的评价度, x 为任意正整数, x_1 和 x_2 分别为 ED 的评价度下限和上限.

定义 4 评价空间 ES 是一个评价等级的集合,每一个评价等级可表示一个定性评价概念,评价等级由自然语言值表示.例如,联盟中 Agent 能力的评价空间为 $ES = \{\text{“很好”}, \text{“好”}, \text{“一般”}, \text{“差”}\}$.

定义 5 用云模型表示评价的定性概念,由若干云滴组成,评价度空间 $ED = [x_1, x_2]$ 作为云的定量论域 U , $e \in ES$ 是评价空间上的定性概念, $x \in ED$ 是定性概念 e 的一次定量评价, x 对 e 的确定度 $\mu(x) \in [0, 1]$ 是有稳定倾向的随机数

$$\mu: ED \rightarrow [0, 1], \forall x \in ED, x \rightarrow \mu(x),$$

x 在论域 U 上的分布称为评价云,记为云 $EC(x)$,每一个 x 称为一个云滴.

根据上述定义,基于云的 Agent 联盟评价方法步骤如下.

Step 1: 根据联盟系统要求,设定各评价指标的评价度空间 ED 下限和上限,选择评价度的离散性或连续性.

Step 2: 设计各评价指标的评价云数字特征值,一般由领域专家根据自身知识并结合实验数据验证得出,也有理论上的取法,即评价云的熵值取云有效论域区间的 $1/3$ 左右^[14].

Step 3: 输入备选联盟 C 的某个特定评价指标值 x ,触发带 X 条件评价云 EC_A ,并由 EC_A 随机产生确定度 μ_i ,有

$$\mu_i = \exp\left(-\frac{(x - Ex_A)^2}{2En_A^2}\right), \quad (5)$$

其中 Ex_A, En_A 为评价云 EC_A 的期望值和熵.

Step 4: 选取确定度最大的 μ 作为条件,触发带 Y 条件评价云 EC_B ,并根据

$$y_i = Ex_B \pm \sqrt{-2 \ln(\mu)} En_B' \quad (6)$$

计算在 Ex_B, En_B 条件下的值 y_i ,其中 Ex_B 和 En_B 为 EC_B 的输出云期望值和熵.

Step 5: 返回 Step 3,循环若干次(通常,云滴数较少时,误差会较大;云滴数较多时,误差会减少,但计

算量大,实时性差,具体实施时需要权衡利弊,根据实验效果综合考虑),得到 N 个云滴 y_i .

Step 6: 根据 N 个云滴 y_i 计算其样本平均值 $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$,一阶样本绝对中心矩 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \bar{y}|$,样本方差 $\delta^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$.

Step 7: 求逆向云的数字特征值,根据 E_y 的估计值 $E_{\hat{y}} = \bar{y}$, E_n 的估计值 $E_{\hat{n}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \bar{y}|$, H_e 的估计值 $H_{\hat{e}} = \sqrt{|\delta^2 - E_{\hat{n}}^2|}$,即可得到备选联盟 C 的对应评价指标的评价期望值 $P(s_k^C)$.

Step 8: 返回 Step 3,得到备选联盟 C 的其他评价指标的 $P(s_k^C)$.

Step 9: 根据式 (1) 计算备选联盟 C 收益的最终评价.

值得注意的是,根据评价云的定义,不同的评价度空间 ED 和不同评价空间 ES 有不同的评价云,评价云的数字特征值设计得好坏直接关系到联盟评价的结果,如果设计不合理则会影响联盟形成后的稳定.因此,Step 2 评价云的设计是问题的关键,在实际系统中,通常领域专家会根据自身知识并结合实验数据验证得以确定各评价云的数字特征值.

4 实验与分析

为了验证本文方法的有效性,与文献 [11] 进行对比分析.实验采用文献 [11] 的评价指标: Agent 能力、通信开销、熟透度、可持续发展性.评价指标集记为 $S_C = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$,其中联盟的可持续发展性是指该联盟在满足当前任务需求的前提下还能承担后续任务的能力.通常评价只能在联盟满足当前任务需求前提下进行,不能完成当前任务的联盟不予评判(因为没有意义).

实验的基本设置:任务 t 的能力需求为 200,备选联盟集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{10}\}$,联盟中各评价指标特定值见表 1.其中联盟能力值越接近任务 t 的能力需求,通信开销值越小,熟透度越大,可持续发展性越好,相应的评价值就越高.设各评价指标对联盟收益 $V(C)$ 影响的权重为 $W = (0.3, 0.25, 0.25, 0.2)$,评价专家集合 $N^E = \{A_1^E, A_2^E, A_3^E\}$,评价专家的权重 $W(N^E) = (0.5, 0.3, 0.2)$.

本文方法对备选联盟 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_{10}\}$ 的综合评价过程如下.

Step 1: 设定各个评价指标的评价度空间 ED 的下限和上限,见表 2.

Step 2: 设计评价云的数字特征值,不妨设各评

表 1 评价指标特定值

联盟	评价指标			
	s_1	s_2	s_3	s_4
C_1	205	5	2	3
C_2	210	2	6	8
C_3	300	2	8	5
C_4	280	3	5	7
C_5	260	7	6	8
C_6	220	2	4	3
C_7	275	9	8	1
C_8	245	9	5	1
C_9	278	6	1	5
C_{10}	210	1	9	8

表 2 评价度空间

评价指标	评价度空间 ED
s_1	$[200, \infty]$
s_2	$[0, 10]$
s_3	$[0, 10]$
s_4	$[0, 10]$

价指标的评价空间均为 $ES = \{“很好”, “好”, “一般”, “差”, “很差”\}$. 表 3 是在理论取法上^[14]结合多次实验选取评价效果最好的一组经验参数. 其中: EC_1, EC_2, EC_3, EC_4 为带 X 条件的评价云, EC_B 为带 Y 条件的评价云.

Step 3: 输入待评价的评价指标特定值, 由表 3 中的评价云可得到联盟收益的最终综合评价, 根据各联盟收益情况可得到任务 t 的最终备选联盟, 见表 4.

从实验中可以发现, 对于任务 t , 当联盟中 Agent 能力浪费较多、通信开销大、熟悉度很弱、可持续性差时, 备选联盟较差; 当 Agent 能力浪费较少、通信开销小、熟悉度强、可持续性好时, 备选联盟较优, 这与实际工程是完全相符的. 而且, 从表 4 可以看出, 本文方法与文献 [11] 的方法虽然均得到 C_{10} 为最佳联盟, C_7 为最差联盟, 但文献 [11] 的方法无法摆脱评价专家的主观性, 对各个联盟的评价结果过于接近, 使决策者很难区分联盟间的优劣, 这便对实际工程中决策者的能力要求较高, 不具有普适性. 本文方法对各个联盟的评价区别明显, 更有利于决策者的判断.

当评价过程中各评价专家的标值 (专家根据评价指标对联盟收益的贡献率给出的评判值^[11]) 有明显冲突时, 即各评判专家认为某项评价指标对联盟收益的贡献率意见不一致, 出现分歧较大的评判值时, 文献 [11] 容易出现误判, 如表 5 所示. 当评价专家具有偏向性, 对 C_9, C_{10} 的评价出现冲突时, 权重大的评价专家对最终评价结果的影响较大, 导致 C_2 为最佳联盟. 本文方法由于不需要考虑评价专家的取值, 评价冲突并没有引起云模型数据的变化, 最终结果仍然是 C_{10} 为最佳联盟.

综上所述, 联盟评价属于模糊和不确定的信息处理, 与文献 [11] 的方法相比, 本文采用的云模型可以更加直观地刻画这些特性, 将评价指标的量值与定性评价指标概念科学合理的关联在一起. 而且, 本文方法在评价过程中可以有效避免人为因素引起的主观性评价误差, 更适合工程实际的设计需求.

表 3 评价云的数字特征值

评价空间	评 价 云				
	EC_1	EC_2	EC_3	EC_4	EC_B
很好	(207.5, 5.0, 0.5)	(1.0, 0.7, 0.07)	(9.5, 0.5, 0.05)	(9.5, 0.5, 0.05)	(0.975, 0.017, 0.0017)
好	(222.5, 5.0, 0.5)	(3.0, 0.7, 0.07)	(8.0, 0.7, 0.07)	(8.0, 0.7, 0.07)	(0.875, 0.05, 0.005)
一般	(240, 6.0, 0.6)	(5.0, 0.7, 0.07)	(6.5, 0.33, 0.033)	(6.5, 0.33, 0.033)	(0.7, 0.07, 0.007)
差	(260, 6.0, 0.6)	(7.0, 0.7, 0.07)	(5.0, 0.7, 0.07)	(5.0, 0.7, 0.07)	(0.5, 0.07, 0.007)
很差	(280, 6.0, 0.6)	(9.0, 0.7, 0.07)	(2.0, 1.3, 0.13)	(2.0, 1.3, 0.13)	(0.2, 0.13, 0.013)

表 4 专家评价标值无冲突时的评价结果

方法	联 盟									
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
本文	0.559	0.852	0.584	0.587	0.602	0.634	0.258	0.412	0.377	0.95
文献 [11]	0.241	0.274	0.258	0.253	0.257	0.254	0.226	0.229	0.239	0.281

表 5 专家评价标值有冲突时的评价结果

方法	联 盟									
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
本文	0.559	0.852	0.584	0.587	0.602	0.634	0.258	0.412	0.377	0.95
文献 [11]	0.241	0.274	0.258	0.253	0.257	0.254	0.226	0.229	0.246	0.264

5 结 论

云模型可以轻松实现用自然语言值表示的定性概念与定量表示之间的不确定性转换. 本文提出了一种基于云模型的 Agent 联盟评价方法, 该方法使用云模型对一些具有随机性和模糊性的联盟属性信息进行评价. 通过与文献 [11] 所提方法的对比实验分析, 本文方法能够有效地解决人为因素引起的主观性评价误差, 更好地解决联盟评价中的模糊性和不确定性难题. 但随着控制与决策系统的复杂化, 在并发多任务环境中, 一些 Agent 可能同时参与了多个联盟, 一个联盟可能同时承担了多个任务, 因此, 如何刻画联盟角色的多重性以及如何对重叠联盟进行综合评价均有待进一步深入研究.

参考文献(References)

- [1] Bohannon J. Counterterrorism's new tool: Metanetwork analysis[J]. *Science*, 2009, 325(5939): 409-411.
- [2] Schweitzer F, Fagiolo G, Sornette D, et al. Economic networks: The new challenges[J]. *Science*, 2009, 325(5939): 422-425.
- [3] 傅闯, 叶鲁卿, 刘永前, 等. 基于多 Agent 的智能控制-维护-管理系统的研究[J]. *控制与决策*, 2003, 18(3): 371-374.
(Fu C, Ye L Q, Liu Y Q, et al. Intelligent control-maintenance-management system(ICMMS) based on multi-agent system[J]. *Control and Decision*, 2003, 18(3): 371-374.)
- [4] Shima J P, Warkentina M, Courtney J F, et al. Past, present and future of decision support technology[J]. *Decision Support Systems*, 2002, 33(2): 111-126.
- [5] Service T C, Adams J A. Constant factor approximation algorithms for coalition structure generation[J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2011, 23(1): 1-17.
- [6] Rahwan T, Ramchurn S, Jennings N, et al. An anytime algorithm for optimal coalition structure generation[J]. *J of Artificial Intelligence Research*, 2009, 34(1): 521-567.
- [7] 尹翔, 蒋建国, 夏娜. 基于直觉模糊关系的多主体联盟机制[J]. *控制与决策*, 2008, 23(7): 799-802.
(Yin X, Jiang J G, Xia N. An MAS coalition mechanism based on intuitionistic fuzzy relation[J]. *Control and Decision*, 2008, 23(7): 799-802.)
- [8] Zhang G F, Jiang J G, Lu C H, et al. A revision algorithm for invalid encodings in concurrent formation of overlapping coalitions[J]. *Applied Soft Computing*, 2011, 11(2): 2164-2172.
- [9] 夏娜, 蒋建国, 于春华, 等. 一种基于利益均衡的联盟形成策略[J]. *控制与决策*, 2005, 20(12): 1426-1428.
(Xia N, Jiang J G, Yu C H, et al. A coalition formation strategy based on benefit equilibrium[J]. *Control and Decision*, 2005, 20(12): 1426-1428.)
- [10] Jiang J G, Zhang G F, Su Z P, et al. Strategy of coalition formation based on distribution according to work and non-reducing utility[J]. *Chinese J of Electronics*, 2007, 16(4): 573-577.
- [11] 苏兆品, 蒋建国, 夏娜, 等. 一种基于 D-S 证据理论的 Agent 联盟评价方法[J]. *模式识别与人工智能*, 2007, 20(5): 624-629.
(Su Z P, Jiang J G, Xia N, et al. An evaluation method for agent coalition based on D-S evidence theory[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2007, 20(5): 624-629.)
- [12] 刘禹, 李德毅, 张光卫, 等. 云模型雾化特性及在进化算法中的应用[J]. *电子学报*, 2009, 37(8): 1651-1658.
(Liu Y, Li D Y, Zhang G W, et al. An evaluation method for agent coalition based on D-S evidence theory[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2009, 37(8): 1651-1658.)
- [13] 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 S X, Zhang L, Li H S. Evaluation approach of subjective trust based on cloud model[J]. *J of Software*, 2010, 21(6): 1341-1352.)
- [14] 王洪利, 冯玉强. 基于云模型具有语言评价信息的多属性群决策研究[J]. *控制与决策*, 2005, 20(6): 679-681.
(Wang H L, Feng Y Q. On multiple attribute group decision making with linguistic assessment information based on cloud model[J]. *Control and Decision*, 2005, 20(6): 679-681.)
- [15] 柳炳祥, 李海林, 杨丽彬. 云决策分析方法[J]. *控制与决策*, 2009, 24(6): 957-960.
(Liu B X, Li H L, Yang L B. Cloud decision analysis method[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(6): 957-960.)
- [16] 李海林, 郭崇慧. 基于云模型的时间序列分段聚合近似方法[J]. *控制与决策*, 2011, 26(10): 1525-1529.
(Li H L, Guo C H. Piecewise aggregate approximation method based on cloud model for time series[J]. *Control and Decision*, 2011, 26(10): 1525-1529.)