

一种基于多维云模型的多属性综合评价方法

郭戎潇 夏靖波 董淑福 龙门

(空军工程大学电讯工程学院 西安 710077)

摘要 基于多维云能够表述复杂模糊概念的特性,提出一种基于正态多维云模型的多属性综合评价方法。将“属性概化”的概念引入系统评价中,利用一维云模型对单个属性进行多级描述;在此基础上,针对各级评语建立其对应的多维评判云和描述系统整体属性的多维属性云,并通过比较两类云模型的相似程度得出评价结果。实验结果表明,该方法能够在单一价值分类的基础上实现多重价值分类和排序,同时能够较为直观地反映出各属性值对综合评价结果的影响。

关键词 多维云模型,正态云,多属性评价

中图分类号 TP391.9 文献标识码 A

Multiple Attribute Evaluation Method Based on Multidimensional Cloud Model

GUO Rong-xiao XIA Jing-bo DONG Shu-fu LONG Men

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract Considering multidimensional cloud can describe complex fuzzy concept, a multiple attribute evaluation method based on multidimensional cloud model was proposed. The concept of “attribute conceptualizing” was introduced and each attribute was described using one-dimension cloud. Then, the multidimensional judging clouds of comments and the multidimensional attribute cloud of system were established. The evaluation result was achieved by comparing the similarity degree between the two kinds of cloud models. The experimental results show that this method can realize multi-classification and ranking and reflect the influence of each attribute on the synthetical evaluation result clearly.

Keywords Multidimensional cloud model, Normal cloud model, Multiple attribute evaluation

多属性综合评价与一般的统计活动一样,是一个“定性-定量……定性”的辩证认知过程^[1]。由于客观事物本身存在一定复杂性和不确定性,加之人类认知水平和思维方式带来的影响,使得评价过程中定性概念与其定量表示之间相互转换时亦产生不确定性。如何表示和处理这种不确定性,一直以来都是评估与决策领域的研究热点和重点。

不确定性主要表现为模糊性和随机性。在概率论和模糊理论的基础上,云模型将这两种不确定性集成在一起,实现了定性语言与定量数值之间的自然映射。文献[2,3]从不同角度研究了一维云模型和一维加权综合云模型对单个属性值以及系统总体属性的刻画,但由于无法消除权重设置的不确定性,使得这类方法对于复杂模糊概念的表示尚显不足;文献[4-6]让云权重参与综合评判,但无法解决不同属性值激活相同云模型时如何排序的问题;文献[7]将逆向云算法应用到射击评判中,使得评判结果不仅能够评价射击准确度,还能够反映运动员的心理素质,并说明了将一维云转化为二维云的方法,但对于算法如何推广到多维云并未具体说明;文献[8]提出了核空间高维云模型并将其应用于地形属性评价,它无需考虑属性赋权问题且通过判断各属性关于核空间的隶属程度即可实现样本分类,但该方法只是在单纯排序评价的基础上

实现了单一价值分类,并未说明评价结果的具体价值意义。

因此,本文在上述研究的基础上,提出一种新的基于多维云模型的综合评价方法,亦即将多维云模型用于系统整体属性的刻画和多级评语的描述,通过比较系统属性云和评语云的相似程度得出评价结果,以期实现多重价值分类基础上的价值排序,从而为多属性综合评价问题提供一种新的研究思路和方法。

1 正态云模型

云模型是用自然语言表示的某个定性概念与其定量表示之间的不确定性转换模型。在自然科学与社会科学的各个分支中,正态分布与正态隶属度函数的普遍性共同奠定了正态云具有普适性的理论基础^[9]。因此,正态云已经成为应用最为广泛的云模型。

1.1 一维正态云

设 U 是一个论域 $U = \{x\}$, T 是 U 上的定性概念, U 中的元素 x 对于 T 的隶属度 μ 是一个具有稳定倾向的随机数,其取值范围为 $[0, 1]$, 云是从 U 到区间 $[0, 1]$ 的映射, 即 $\mu: U \rightarrow [0, 1], \forall x \in U, x \rightarrow \mu$ 。云的数字特征用 (E_x, E_n, H_x) 来表示, E_x 为定性概念在论域中的中心值, 即“云”的分布中心; E_n 为

到稿日期:2009-12-23 返修日期:2010-03-09 本文受陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2009JM8001-1)资助。

郭戎潇(1981-),女,博士生,主要研究方向为军事通信网性能评估, E-mail: lzstella26@163.com; 夏靖波(1963-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为军事通信网管理与安全; 董淑福(1971-),男,副教授,主要研究方向为通信网组网与优化; 龙门(1982-),女,博士生,主要研究方向为网络安全评估。

定性概念的熵,即定性概念在论域中可被接受的数值范围; H_e 为定性概念的超熵,即熵的不确定性度量,由熵的随机性和模糊性共同决定。由期望 E_x 和熵 E_n 可确定云的数学期望曲线 MEC(Mathematical Expected Curve)方程:

$$MEC(x) = \exp\left[-\frac{(x-E_x)^2}{2E_n^2}\right] \quad (1)$$

1.2 多维正态云

将一维云模型推广至多维云模型,以此来反映多维定性概念。设 U 是一个 m 维论域 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, T 是 U 上的定性概念, U 中的元素 (x_1, x_2, \dots, x_m) 对于 T 的隶属度 μ 是一个具有稳定倾向的随机数,即:

$$\mu: U \rightarrow [0, 1], \forall (x_1, x_2, \dots, x_m) \in U, (x_1, x_2, \dots, x_m) \rightarrow \mu$$

设论域各维互不相关,则 m 维正态云可由 $3m$ 个数字特征量来描述: $(E_{x_1}, E_{n_1}, He_1, E_{x_2}, E_{n_2}, He_2, \dots, E_{x_m}, E_{n_m}, He_m)$ 。其中, $E_{x_1}, E_{x_2}, \dots, E_{x_m}$ 为期望, $E_{n_1}, E_{n_2}, \dots, E_{n_m}$ 为熵, He_1, He_2, \dots, He_m 为超熵。多维正态云的数学期望超曲面 MEHS(Mathematical Expected Hyper Surface)方程为:

$$MEHS(x_1, x_2, \dots, x_m) = \exp\left[-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{(x_i - E_{x_i})^2}{E_{n_i}^2}\right] \quad (2)$$

1.3 多维云发生器算法

云的生成算法称为云发生器,包括正向云发生器和逆向云发生器。正向云发生器又称基本云发生器^[7],对于 m 维正态云,简要描述其正向云发生器算法如下:

1)生成 k 个以 $(E_{x_1}, E_{x_2}, \dots, E_{x_m})$ 为期望、 $(E_{n_1}, E_{n_2}, \dots, E_{n_m})$ 为方差的 m 维正态随机数 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}), i=1, 2, \dots, k$;

2)生成 k 个以 $(E_{n_1}, E_{n_2}, \dots, E_{n_m})$ 为期望、 $(He_1, He_2, \dots, He_m)$ 为方差的 m 维正态随机数 $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}), i=1, 2, \dots, k$;

3)计算隶属度:

$$\mu_i = \exp\left[-\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \frac{(x_{ij} - E_{x_j})^2}{y_{ij}^2}\right], i=1, 2, \dots, k, \text{并令}(x_i, \mu_i) \text{为云滴。}$$

2 基于多维云模型的综合评价方法

方法的主要思想是,根据各属性本身特征建立其表示模型,在此基础上建立各级评语对应的多维综合云模型和描述样本属性的多维综合云模型,通过比较二者相似程度得出评价结果。

2.1 基于一维云模型的属性概化

设评价属性集为 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$,根据实际需要将评语划分为 n 个等级,则属性 u_i 的评价集为 $V_i=\{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$ 。针对每个属性,根据专家意见及数据库资料建立一组样本作为云滴,用逆向云发生器^[6]给出各属性对应于各级评语的概念云模型,且称其为“属性概化”。为简化计算,做以下假设:

假设1 各属性的评语等级以及综合评价评语等级均采用相同划分,记评价集为 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

假设2 各属性对应于各级评语的概念云模型均为正态云模型,记指标 u_i 对应于评语 v_j 的云模型表示为 $C_{ij}(E_{x_{ij}}, E_{n_{ij}}, He_{ij})$ 。

2.2 多维云模型的生成

设 x_j 为论域 U 中任一样本, $x_{ij}(i=1, 2, \dots, m)$ 为 x_j 的第 i 个属性,将 x_{ij} 分别输入其对应的概化云模型,得到一组

隶属度。检索其中的最大值并记为 $\mu_{ij}(i=1, 2, \dots, m)$ 。

隶属度表示定量值对于某定性概念的相容程度。文献[6]中对于不同样本激活相同云模型的情况未作考虑,因此为反映定量值对于相应云模型的激活程度,做出如下定义:

定义1 设 μ_{ij} 对应的云模型表示为 $C_{ij}(E_{x_{ij}}, E_{n_{ij}}, He_{ij})$,令 $E_{x_{ij}}^* = \mu_{ij} * E_{x_{ij}}, E_{n_{ij}}^* = \mu_{ij} * E_{n_{ij}}, He_{ij}^* = \mu_{ij} * He_{ij}$,则称 $C_{ij}^*(E_{x_{ij}}^*, E_{n_{ij}}^*, He_{ij}^*)$ 为 x_{ij} 的“属性云”。

由上述定义,并按照本文1.3节所述算法建立多维云模型 $C_j^*(E_{x_{1j}}^*, E_{n_{1j}}^*, He_{1j}^*, E_{x_{2j}}^*, E_{n_{2j}}^*, He_{2j}^*, \dots, E_{x_{mj}}^*, E_{n_{mj}}^*, He_{mj}^*)$,称其为样本 x_j 的“多维属性云”。类似地,设指标 u_i 对应于评语 $v_j(j=1, 2, \dots, n)$ 的云模型为 $C_{ij}(E_{x_{ij}}, E_{n_{ij}}, He_{ij})$,按照本文2.3节所述算法建立 n 个多维云模型,称 $C_j(E_{x_{1j}}, E_{n_{1j}}, He_{1j}, E_{x_{2j}}, E_{n_{2j}}, He_{2j}, \dots, E_{x_{mj}}, E_{n_{mj}}, He_{mj})$ 为 v_j 对应的“多维评判云”。

2.3 基于多维云模型的综合评价

关于多维云的比较尚不多见,借鉴文献[4]中关于关联度的阐述,做出如下定义:

定义2 设样本多维属性云为 $C_j^*(E_{x_{1j}}^*, E_{n_{1j}}^*, He_{1j}^*, E_{x_{2j}}^*, E_{n_{2j}}^*, He_{2j}^*, \dots, E_{x_{mj}}^*, E_{n_{mj}}^*, He_{mj}^*)$,评语 v_j 的多维评判云为 $C_j(E_{x_{1j}}, E_{n_{1j}}, He_{1j}, E_{x_{2j}}, E_{n_{2j}}, He_{2j}, \dots, E_{x_{mj}}, E_{n_{mj}}, He_{mj})$,称 k_j 为 C_j^* 对于 C_j 的相似度,计算方法如下:

$$\begin{cases} k_j = \frac{\sum_{i=1}^m |N_{ij}|}{\sum_{i=1}^m |M_{ij}|} \\ N_{ij} = \{ (E_{x_{ij}} - 3E_{n_{ij}}, E_{x_{ij}} + 3E_{n_{ij}}) \} \cap \{ (E_{x_{ij}}^* - 3E_{n_{ij}}^*, E_{x_{ij}}^* + 3E_{n_{ij}}^*) \} \\ M_{ij} = \{ (E_{x_{ij}} - 3E_{n_{ij}}, E_{x_{ij}} - 3E_{n_{ij}}) \} \cup \{ (E_{x_{ij}}^* - 3E_{n_{ij}}^*, E_{x_{ij}}^* + 3E_{n_{ij}}^*) \} \end{cases} \quad (3)$$

计算 x_j 属性云与各评判云的相似度,检索其中的最大值,则其对应的评语即为评价结果。同时,根据该值还可进行相同评语下不同样本的评价结果排序。

3 实例分析

以某通信网可靠性评价为例。通信网可靠性包括网络设备可靠性、网络抗毁性和网络有效性3方面。选取关键指标并建立评价属性集 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_m\}=\{\text{节点设备可靠性、端到端平均时延、平均可用带宽、端到端业务可用率}\}$ 。

基于本文2.1节的假设1,将各指标评语级别划分为五级评判标准,评价集记为 $V=\{\text{好、较好、一般、较差、差}\}$ 。根据专家意见及数据库资料,用逆向云发生器对各属性进行概化。基于假设2,概化云模型均为正态云。以节点设备可靠性为例,其概化云模型如图1所示。

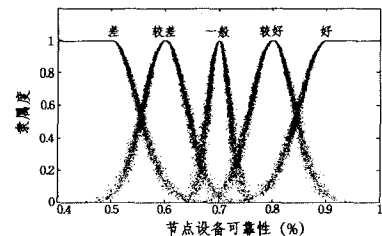


图1 节点可靠性概化云模型

各属性对应的各级评语及其概化云的期望值如表1所列。

表1 各属性概化云期望值

评语	$E_{x_1}(\%)$	$E_{x_2}(s)$	$E_{x_3}(\text{Mbps})$	$E_{x_4}(\%)$
----	---------------	--------------	------------------------	---------------

好	0.9	0.05	2	0.99
较好	0.8	0.35	1.75	0.95
一般	0.7	0.55	1.6	0.92
较差	0.6	0.7	1.45	0.89
差	0.5	1	1.2	0.85

根据本文 2.2 节多维云模型的生成算法,生成通信网可靠性四维综合云模型。由于二维云的概念可以表示为三维图形,为说明问题且便于表示,这里给出“节点设备可靠性、端到端平均时延”两个属性对应于评语“较好”的二维云模型,如图 2 所示。

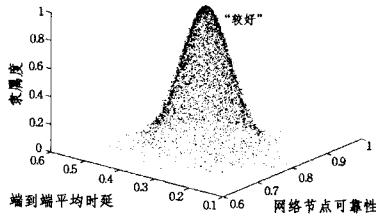


图 2 “较好”二维评判云

以某通信网某个时段性能数据作为样本进行实验。样本集为(0.85,0.04,1.68,0.9),将其分别输入各属性对应的概化云模型,计算结果如表 2 所列。

表 2 隶属度计算结果

属性	隶属度	激活云
0.85	0.5904	(0.9,0.05,0.003)(好)
0.04	0.9960	(0.05,0.1,0.003)(好)
1.68	0.3230	(1.75,0.05,0.003)(较好)
0.9	0.5449	(0.89,0.0089,0.001)(较差)

由表 1 和表 2 结果建立样本属性云和各级评语对应的综合云,按式(3)计算相似度,计算结果如表 3 所列。

表 3 相似度计算结果

评语	好	较好	一般	较差	差
相似度	0.7591	0.8341	0.8090	0.7826	0.8153

上述计算结果表明,样本的属性云与“较好”对应的评判云相似度最高,所以评价结果为“较好”。同时,从计算过程不难得出,虽然该通信网在某时段的节点设备可靠性和端到端平均时延趋于“好”,但由于业务可用性“较差”,使得系统整体可靠性只能用“较好”来评判。

为验证算法且便于表示,这里给出“节点设备可靠性、端到端平均时延”分别为 0.85 和 0.04 时,其二维属性云与二维评判云的相似度比较情况,如图 3 所示。

从云滴分布的情况可以看出,样本(0.85,0.04)与“好”所对应的评判云相似度更高,所以评价结果趋向于“好”。且表 2 中计算结果表明,两个属性激活的相应概化云模型均为“好”,表明评价结果符合实际。

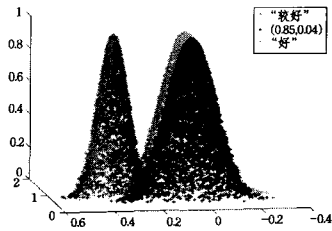


图 3 相似度比较

结束语 云模型作为知识表示和定性定量转换的有力工具,在诸多领域得到了广泛应用,然而关于多维云模型的应用研究尚不多见。本文提出了一种新的基于多维云模型的多属性综合评价方法,给出了“属性概化”的概念,首先用一维逆向云发生器给出各属性对应于各级评语的概念云模型,再用多维正向云发生器分别生成用于定量描述评语的“多维评判云”和定量刻画系统属性的“多维属性云”,最后通过比较两种云模型的相似程度得出综合评价结果,从而在单一价值分类的基础上实现多重价值分类和排序,以便更加直观地反映事物属性和评价结果。

出于简化计算过程的考虑,算法中存在一定假设,如假设所有属性的概化云模型均为正态云。而实际上,当某事物的属性值不是单一数值而是一个区间时,此时用梯形云描述更为合适。由于正态云是梯形云的一个特例,因此如何将算法进行扩展以适应更为一般的情况,从而更准确地反映事物属性并合理评价,是下一步的研究方向和重点。

参考文献

- [1] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2000
- [2] Li S H, Liu H, Wang J L. Research on evaluation method of graduates' comprehensive quality based on cloud model[C]// Proc. of the 2009 ICIA. 2009:815-820
- [3] Yan W Z, Niu J, Su H Y. A Study on program evaluation and review technology based on cloud model[C]// Proc. of the 2007 IEEE IEEM. 2007:1047-1051
- [4] 胡石元, 李德仁, 刘耀林. 基于云模型和关联度分析法的土地评价因素权重挖掘[J]. 武汉大学学报, 2006, 31(5): 423-427
- [5] Shi Y B, Zhang A, Gao X J. Cloud model and its application in effectiveness evaluation[C]// Proc. of the 15th ICMSE. Long Beach, 2008: 250-255
- [6] 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
- [7] 吕辉军, 王晔, 李德毅. 逆向云在定性评价中的应用[J]. 计算机学报, 2003, 26(8): 1009-1014
- [8] 张国英, 沙云, 刘旭红. 高维云模型及其在多属性评价中的应用[J]. 北京理工大学学报, 2004, 24(12): 1065-1069
- [9] Li Deyi, Liu Changyu. Study on the universality of the normal cloud model[J]. Engineering Science, 2004, 6(8): 28-34

(上接第 69 页)

- [11] 诸葛建伟, 王大为, 陈显, 等. 基于 DS 理论的网络异常检测方法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 463-471
- [12] 朱明. 数据挖掘[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 2002: 132-136
- [13] Dempster A. Upper and lower probabilities induced by multivalued mapping[J]. Annals of Mathematical Statistics, 1967, 38(2): 325-339
- [14] Frincke D. Balancing cooperation and risk in intrusion detection[J]. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC), 2000, 3(1): 1-29
- [15] 林作铨, 牟克典, 韩庆. 基于未知扰动的冲突证据合成方法[J].

软件学报, 2004, 15(8): 1150-1156

- [16] Stolfo S J, Fan W, Wenke L, et al. KDD Cup 1999 Intrusion Detection[EB/OL]. <http://www.ics.uci.edu/~kdd/databases/kddcup99>, 2008
- [17] Salerno J, Blasch E, Hinman M, et al. Evaluating algorithmic techniques in supporting situation awareness[C]// Proceedings of SPIE-Multisensor, Multisource, Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications. Orlando, FL, USA, 2005
- [18] Sabata B, Ornes C. Multisource evidence fusion for cyber-situation assessment[C]// Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering. Kissimmee, Florida, USA, 2006 (6242): 1-9