

控制与决策

Control and Decision

基于情绪感知的语言多属性决策方法

周剑, 肖甫, 杜宁, 严筱永, 孙力娟

引用本文:

周剑, 肖甫, 杜宁, 等. 基于情绪感知的语言多属性决策方法[J]. *控制与决策*, 2020, 35(8): 1945–1952.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1435>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

犹豫模糊语言PROMETHEE方法在川酒品牌评价中的应用

A hesitant fuzzy linguistic PROMETHEE method and its application in Sichuan liquor brand evaluation

控制与决策. 2019, 34(12): 2727–2736 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.0335>

一种基于区间信度结构的混合型多属性决策方法

A hybrid multi-attribute decision-making method based on interval belief structure

控制与决策. 2019, 34(1): 180–188 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1007>

基于广义Choquet积分的Pythagorean不确定语言TODIM方法及其应用

Pythagorean uncertain linguistic TODIM method based on generalized Choquet integral and its application

控制与决策. 2018, 33(7): 1303–1311 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0364>

基于前景理论的犹豫模糊TOPSIS多属性决策方法

Hesitant fuzzy TOPSIS multi-attribute decision method based on prospect theory

控制与决策. 2017, 32(5): 864–870 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.0259>

基于云相似度的语言偏好信息多属性大群体决策方法

Linguistic multi-attribute large group decision-making method based on similarity measurement of cloud model

控制与决策. 2017, 32(3): 459–466 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.0164>

基于情绪感知的语言多属性决策方法

周 剑[†], 肖 甫, 杜 宁, 严筱永, 孙力娟

(1. 南京邮电大学 计算机学院, 南京 210003; 2. 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 南京 210003)

摘 要: 情绪对于决策有着重要影响, 由于缺乏有效的决策者情绪状态获取方法, 当前考虑情绪状态的语言多属性决策方法研究偏少. 随着物联网技术的发展, 通过可穿戴传感器能够便捷地获取决策者脑电信号, 进而可感知其情绪状态. 为此, 研究基于情绪感知的语言多属性决策方法. 首先, 提出基于 SVM 概率输出模型的情绪感知方法, 根据决策者脑电信号, 实时、准确感知决策者情绪状态的概率分布; 其次, 提出基于云模型的语言评价量化方法, 一方面考虑语言评价的模糊性与随机性, 另一方面考虑决策者情绪状态因素, 量化语言评价; 然后, 提出基于前景理论的方案排序方法, 在情绪泛化假设下, 根据综合前景值将各方案排序; 最后, 通过实例验证该决策方法的可行性和有效性.

关键词: 语言多属性决策; 情绪感知; SVM; 云模型; 前景理论; 决策支持

中图分类号: TN911.22

文献标志码: A

Linguistic multi-criteria decision-making method based on emotion perception

ZHOU Jian[†], XIAO Fu, DU Ning, YAN Xiao-yong, SUN Li-juan

(1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China; 2. Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Nanjing 210003, China)

Abstract: Emotions have an important influence on decision-making. However, due to the limitation of acquisition methods for emotional state, there is little research currently about the linguistic multi-criteria decision-making method considering the influence of emotion state. With the development of Internet of things technology, wearable sensors can easily acquire decision makers' electroencephalogram (EEG) signals and then perceive their emotion states. Therefore, a linguistic multi-attribute decision-making method based on emotion perception is studied. Firstly, an emotion perception method based on the SVM probability output model is proposed. According to the EEG signals of decision makers, the emotional state probability distribution can be obtained accurately in real time. On this basis, a quantitative method of linguistic assessment based on a cloud model is proposed. Considering the fuzziness and randomness of linguistic assessment as well as emotional factors, the linguistic assessment is quantified. Then, the scheme sorting method based on the prospect theory is proposed. On the basis of affective generalization hypothesis, the comprehensive prospect values are calculated and the schemes are sorted. Finally, the feasibility and effectiveness of the proposed method are illustrated by examples.

Keywords: linguistic multi-attribute decision-making; emotion perception; SVM; cloud model; prospect theory; decision support

0 引 言

多属性决策 (multi-criteria decision-making, MCDM) 是与多个属性有关的有限方案选择或排序问题^[1], 在现实生活中具有非常广泛的应用背景. 在实际决策中, 决策者更倾向于给出定性的语言评价, 而不是定量的数值评价.

语言变量由 Zadeh^[2] 提出, 基于该变量的语言

MCDM 方法已在诸多领域被研究与应用^[3-5]. Martínez 等^[6-7] 认为语言 MCDM 主要分为以下 3 种类型: 1) 基于符号的方法^[8-9], 是将语言变量变换为一些实数, 没有考虑语言变量的模糊性; 2) 基于隶属函数的方法^[10-11], 是根据隶属函数将语言变量变换为一些模糊数, 然而在变换过程中会引起信息丢失; 3) 基于二元语义模型的方法^[12-13], 可以在一定程度上

收稿日期: 2018-10-22; 修回日期: 2019-05-27.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71301081, 61972210, 61873131); 江苏省高校自然科学基金项目 (18KJB520034, 17KJB520027).

[†]通讯作者. E-mail: zhoujian@njupt.edu.cn.

减少信息丢失,但仍是将语言变量变换为一些实数.

以上3种类型的方法一方面没有兼顾语言变量的模糊性与随机性,另一方面没有考虑情绪状态的影响.随着决策理论的发展,情绪状态已经作为决策的重要组成部分^[14-16],决策总是在某一情绪状态下作出的.Zajonc^[17]于1980年最早考虑情绪状态在决策中的作用.Lerner等^[18]认为情绪状态对人们的判断和选择有显著的影响.Loewenstein等^[19]提出在决策模型中加入情绪状态因素可以提高模型的准确性.Luce等^[20]和Dan等^[21]研究了消极情绪对决策的影响.Isen等^[22]研究了积极情绪对决策的影响.Lewinsohn^[23]探讨了情绪状态对于MCDM过程的影响.潘煜等^[24]认为情绪和认知是影响决策的重要因素,并指出情绪状态可通过脑电信号进行测量.Loewenstein等^[25]提出了风险即情绪理论,明确了情绪状态在风险决策中的影响.Johnson等^[26]提出了情绪泛化假设,认为决策者会倾向作出与情绪状态一致的判断,积极情绪会对风险作出乐观估计,从而低估风险;消极情绪会对风险作出悲观估计,从而高估风险.本文基于情绪泛化假设,考虑情绪状态对决策的影响,研究语言MCDM问题.

当前决策者的情绪状态通常根据调查问卷获取或者人为假定.但是,调查问卷实时性不高,且会影响决策的连续性;假定的情绪状态缺乏依据,且无法验证.随着信息技术水平不断提高,通过语音、文本、行为、脑电等识别情绪的技术方法相继被提出^[27-29].脑电信号不易伪装,并且通过脑电信号感知情绪准确度更高^[30].目前,物联网技术日趋成熟,通过可穿戴传感器可以实时、准确、便捷地获取脑电信号.为此,本文根据决策者的脑电信号,实时感知决策者的情绪状态.

本文研究基于情绪感知的语言多属性决策方法.建立支持向量机(support vector machine, SVM)概率输出模型,通过可穿戴传感器获得决策者脑电信号,根据脑电信号得到实时的情绪状态概率分布;通过云模型,考虑语言变量的模糊性与随机性,以及情绪状态对语言评价的影响,将语言变量量化;基于前景理论,在情绪泛化假设下,考虑情绪状态影响,将各方案排序.通过实例验证本文决策方法能够提高语言MCDM的准确性.

1 预备知识

1.1 SVM基本概念

SVM由Vapnik^[31]提出,是最常用、有效的分类学习算法之一.为了推广误差界,SVM找寻具有最大类

间间隔的分类面^[32],其优化方程如下:

$$\begin{aligned} \max_{\alpha} \quad & \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j Y_i Y_j k(X_i, X_j); \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^N \alpha_i Y_i = 0, \alpha_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (1)$$

其中: α_i 为拉格朗日乘子, X_i 为特征向量, Y_i 为标签值, (X_i, Y_i) 为样本对, i 为样本序号, N 为样本总数, $k(X_i, Y_i)$ 为核函数(本文采用径向基核函数).通过优化方程能够将分类函数转换为

$$f(X_F) = w(X_F) + b = \sum_{i=1}^N \alpha_i Y_i k(X_i, X_F) + b. \quad (2)$$

通过训练可以获得 α_i ,从而获得基于SVM的二分类模型.

1.2 云模型基本概念

云模型由李德毅等^[33-34]在模糊理论与概率理论基础提出,是进行定性和定量转换的有效方法.云模型通过期望(Ex)、熵(En)、超熵(He)来表征一个概念.Ex为数域空间中最能表示该概念的点,表征了云滴群的重心.En一方面表征了数域空间中各点可以表示该概念的概率,反映了随机性;另一方面表征了数域空间中能够被该概念接受的范围,反映了模糊性.He为En的不确定度量,表征了数域空间中表示该概念的各点不确定度的凝聚性.通过这3个数字特征表征定性概念,记为 $c(\text{Ex}, \text{En}, \text{He})$.

定义1^[34] 设 U 为精确数值表示的定量论域, \tilde{A} 为 U 上的定性概念.如果定量值 $x \in u$,并且 x 为 \tilde{A} 的一次随机实现,若 x 满足 $x \sim N(\text{Ex}, \text{En}^2)$,其中 $\text{En}' \sim N(\text{En}, \text{He}^2)$,且 x 对 \tilde{A} 的确定度满足 $\mu(x) = e^{-\frac{(x-\text{Ex})^2}{2\text{En}^2}}$,则 x 在论域 U 上的分布称为正态云.

正态云由左半云和右半云组成,半云 $\text{HC}_h(\text{Ex}_h, \text{En}_h, \text{He}_h)$ 用来表征定性概念的单侧特征.

定义2^[34] 正向云发生器 $\text{FCG}(\text{Ex}, \text{En}, \text{He})$ 能够实现从定性到定量的转换.通过 $\text{FCG}(\text{Ex}, \text{En}, \text{He})$ 生成云滴的具体算法如下:

- 1) 分别将En和He作为期望和标准差,产生一个正态分布随机数 En' ;
- 2) 再分别将Ex和 En' 作为期望和标准差,产生一个正态分布随机数 x ;
- 3) 计算 $y = e^{-\frac{(x-\text{Ex})^2}{2(\text{En}')^2}}$, (x, y) 即为FCG的一个云滴;
- 4) 重复1)~3),直至产生的云滴数量满足要求为止.

定义3^[34] Y 条件云发生器 $\text{FCG}_Y(C(\text{Ex}, \text{En}, \text{He}), \mu)$ 能够根据 $(\text{Ex}, \text{En}, \text{He})$ 以及确定度 μ ,得到符合条件的云滴.通过 $\text{FCG}_Y(\text{Ex}, \text{En}, \text{He}, \mu)$ 得到定量

值 x 的算法如下:

- 1) 分别将 En 和 He 作为期望值和标准差, 产生一个正态分布随机数 R ;
- 2) 计算 $x = Ex \pm (-2\ln(\mu))^{0.5} R$.

1.3 前景理论基本概念

前景理论由 Kahneman 等^[35] 提出, 可以考虑决策者心理行为, 有效解决风险型 MCDM 问题^[36]. 前景值是决策者心理行为对风险型 MCDM 影响的结果.

定义 4^[35] 前景值 $V = \sum_{i=1}^Z \pi(p_i)v(x_i - e_j)$, 由价值函数和概率权重函数共同决定. 其中 $\pi(p_i)$ 为概率权重, 一般采用对数函数形式; $v(x_i - e_j)$ 是决策者主观感受所形成的价值, 一般采用幂函数形式.

$$\pi(p_i) = \begin{cases} \frac{p_i^\gamma}{(p_i^\gamma + (1 - p_i)^\gamma)^{1/\gamma}}, & \text{收益;} \\ \frac{p_i^\delta}{(p_i^\delta + (1 - p_i)^\delta)^{1/\delta}}, & \text{损失.} \end{cases} \quad (3)$$

$$v(x_i - e_j) = \begin{cases} (x_i - e_j)^\alpha, & \Delta x \geq 0; \\ -\lambda(-(x_i - e_j))^\beta, & \Delta x < 0. \end{cases} \quad (4)$$

其中: p_i 为方案在相应状态下的概率; $\gamma > 0$ 与 $\delta > 0$ 分别为收益与损失概率权重函数的弯曲程度; e_j 为选取的参考点; $\lambda > 1$ 为决策者的损失规避程度; $0 < \alpha < 1$ 与 $0 < \beta < 1$ 分别为收益与损失区域价值幂函数的凹凸程度, α 与 β 越大表示决策者越倾向于冒险.

2 基于情绪感知的语言多属性决策方法

2.1 问题描述

对某一语言 MCDM 问题, 设 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 为方案集, a_i 为第 i 个方案, n 为方案总数; 设 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 为属性集, 属性间相互独立, b_j 为第 j 个属性, m 为属性总数. $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ 为属性权重集, w_j 为属性 b_j 的权重, 且 $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

设决策者在情绪状态 s_k 下, 对某一方案的某一属性给出语言评价 h_i , 其中 $s_k \in S, h_i \in H. S = \{s_1, s_2, \dots, s_k, \dots, s_z\}$ 为情绪状态集, z 为情绪状态总数. $H = \{h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_g\}$ 为语言评价集, g 为语言变量总数且为奇数. H 具有如下性质:

- 1) 若 $i > j$, 则 $h_i > h_j$;
- 2) 存在负算子 $\text{neg}(h_i) = h_{g+1-i}$;
- 3) 若 $h_i \geq h_j$, 则 $\max(h_i, h_j) = h_i$;
- 4) 若 $h_i < h_j$, 则 $\min(h_i, h_j) = h_i$.

设 h_{ij}^k 为决策者对方案 a_i 的属性 b_j 在情绪状态 s_k 下给出的语言评价, 且 $h_{ij}^k \in H$, 则 $X_H = [h_{ij}^k]_{n \times m}$ 为语言评价决策矩阵.

2.2 基于 SVM 概率输出模型的情绪感知

本节建立 SVM 概率输出模型, 通过可穿戴传感器获得决策者脑电信号, 根据脑电信号感知情绪状态. 由于情绪状态不止两类, 因此情绪感知是个多分类问题. 此外, 决策者情绪状态以一定概率属于某一类相较于完全属于某一类, 更为合理.

考虑情绪状态 $S = \{s_1 = \text{“悲观”}, s_2 = \text{“平静”}, s_3 = \text{“乐观”}\}$, 将三分类问题转化为 3 个二分类问题, 分别为 $\{C_1 = (s_1, s_2), C_2 = (s_1, s_3), C_3 = (s_2, s_3)\}$. 对于每个二分类问题, 在第 1.1 节中基于 SVM 的二分类模型基础上, 引入带有参数 A, B 的 Sigmoid 函数, 实现基于 SVM 的二分类概率输出模型. 设 X_F 为决策者脑电信号的特征向量, 则 $p(s_k|X_F)$ 为 X_F 属于情绪状态 s_k 的概率, 其计算公式如下:

$$p(s_k|X_F) \approx \frac{1}{1 + \exp(Af + B)}, \quad (5)$$

其中 f 为分类函数. 参数 A, B 通过如下方程获得:

$$\min_{z=(A,B)} F(A, B) = - \sum_{i=1}^N [t_i \lg(p_i) + (1 - t_i) \lg(1 - p_i)]. \quad (6)$$

其中

$$p_i = \frac{1}{1 + \exp(Af(X_i) + B)};$$

$$t_i = \begin{cases} \frac{N_+ + 1}{N_+ + 2}, & Y_i = +1; \\ \frac{1}{N_- + 2}, & Y_i = -1. \end{cases}$$

N_+ 和 N_- 分别为正分类和负分类的样本数目.

决策者头戴脑电信号采集传感器设备获得当前脑电信号, 本文将脑电信号的 6 种统计特征(原始序列均值, 原始序列标准差, 原始序列一阶差分均值, 归一化序列的一阶差分均值, 原始序列的二阶差分均值, 归一化序列的二阶差分均值)作为特征向量 X_F , 情绪状态作为标签. 通过训练好的概率输出模型, 将当前脑电信号特征向量 X_F 作为输入, 分别获得 3 个二分类情绪状态的概率 $\{C_1 = (p_{C_1}(s_1), p_{C_1}(s_2)), C_2 = (p_{C_2}(s_1), p_{C_2}(s_3)), C_3 = (p_{C_3}(s_2), p_{C_3}(s_3))\}$, 则当前情绪状态为悲观、平静、乐观的概率分别为

$$\begin{cases} p(s_1) = \frac{1}{3}(p_{C_1}(s_1) + p_{C_2}(s_1)); \\ p(s_2) = \frac{1}{3}(p_{C_1}(s_2) + p_{C_3}(s_2)); \\ p(s_3) = \frac{1}{3}(p_{C_2}(s_3) + p_{C_3}(s_3)). \end{cases} \quad (7)$$

2.3 基于云模型的语言评价量化

首先,考虑语言评价的模糊性与随机性,通过云模型来表示语言评价;然后,考虑情绪状态的概率分布,根据FCG_Y计算语言评价的定量值.

定义5 设语言评价集为 $H = \{h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_g\}$, 数域空间为 $[U_{\min}, U_{\max}]$, 将语言评价集映射到数域空间, 则为

$$H = \{h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_g\} = \{(D_{\min}^1, D_{\max}^1), (D_{\min}^2, D_{\max}^2), \dots, (D_{\min}^i, D_{\max}^i), \dots, (D_{\min}^g, D_{\max}^g)\}.$$

其中

$$D_{\min}^i = (D_{\min}^{i-1} + D_{\max}^{i-1})/2,$$

$$D_{\max}^i = (D_{\min}^{i+1} + D_{\max}^{i+1})/2,$$

$$\text{Length}(D_{\min}^i, D_{\max}^i) = 2(U_{\min}, U_{\max})/(g + 1).$$

根据指标近似法^[37], 将映射到数域空间的语言评价 $h_i \in H$ 用云 $c_{h_i}(Ex_i, Ex_n, He_i)$ 表示, 定义如下:

$$\begin{cases} Ex_i = \frac{(D_{\min}^i + D_{\max}^i)}{2}; \\ Ex_n = \frac{(D_{\max}^i + D_{\min}^i)}{6}; \\ He_i = \theta. \end{cases} \quad (8)$$

其中 θ 为常数, 允许根据具体语言评价的模糊性与随机性进行微调.

以语言评价集 $H = \{h_1 = \text{“较差”}, h_2 = \text{“差”}, h_3 = \text{“一般”}, h_4 = \text{“好”}, h_5 = \text{“很好”}\}$ 为例, 数域空间为 $[0, 1]$, 则

$$H = \left\{ \left(D_{\min}^1 = 0, D_{\max}^1 = \frac{2}{6} \right), \left(D_{\min}^2 = \frac{1}{6}, D_{\max}^2 = \frac{3}{6} \right), \left(D_{\min}^3 = \frac{2}{6}, D_{\max}^3 = \frac{4}{6} \right), \left(D_{\min}^4 = \frac{3}{6}, D_{\max}^4 = \frac{5}{6} \right), \left(D_{\min}^5 = \frac{4}{6}, D_{\max}^5 = 1 \right) \right\}.$$

当 $He = 0.0625$ 时, 根据定义5将语言评价集用云表示为:

$$C_H = \left\{ c_{h_1} \left(\frac{1}{6}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right), c_{h_2} \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right), c_{h_3} \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right), c_{h_4} \left(\frac{2}{3}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right), c_{h_5} \left(\frac{5}{6}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right) \right\}.$$

采用对各云产生1000个云滴, 如图1所示.

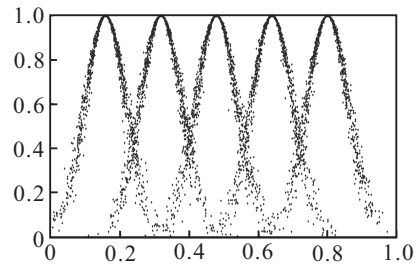


图1 通过云表示语言评价集

决策者给出的语言评价会受当前情绪状态的影响. 悲观情绪时决策者偏向保守型评价, 乐观情绪时决策者偏向激进型评价. 为此, 本文对于不同情绪状态下的语言评价采用不同的云表示. 正常情绪下的语言评价通过正态云表示(如图1所示); 悲观情绪下的语言评价本文通过正态云的左半对偶云表示; 乐观情绪下的语言评价本文通过正态云的右半对偶云表示.

定义6 c_{h_i} 的左半云 $hc_{h_i}^L$ 和 $c_{h_{i-1}}$ 的右半云 $hc_{h_{i-1}}^R$ 互为对偶关系(如图2中矩形框中的两个半云), c_{h_i} 的右半云 $hc_{h_i}^R$ 和 $c_{h_{i+1}}$ 的左半云 $hc_{h_{i+1}}^L$ 互为对偶关系. c_{h_i} 的左半对偶云为 $hc_{h_{i-1}}^R$, c_{h_i} 的右半对偶云为 $hc_{h_{i+1}}^L$.

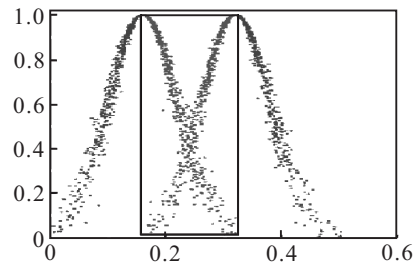


图2 对偶云示例图

根据第2.2节中SVM概率输出模型计算决策者当前情绪状态的概率 $p(s_k)$, 并将 $p(s_k)$ 作为FCG_Y的输入, 计算当前情绪状态下语言评价的定量值. 不同情绪状态下, 同一语言评价的定量值不同.

定义7 设当前情绪状态的概率为 $p(s_k)$, 决策者给出的语言评价为 h_i , 则该语言评价的定量值为

$$x = \begin{cases} x^1 = \text{FCG}_Y(hc_{h_{i-1}}^R, p(s_1)), s_k = s_1; \\ x^2 = \text{FCG}_Y(c_{h_i}, p(s_2)), s_k = s_2; \\ x^3 = \text{FCG}_Y(hc_{h_{i+1}}^L, p(s_3)), s_k = s_3. \end{cases} \quad (9)$$

考虑情绪状态的概率分布, 正常情绪状态时(即 $s_k = s_2$ 时), h_i 通过其正态云 c_{h_i} 根据FCG_Y($c_{h_i}, p(s_2)$) 计算定量值; 悲观情绪状态时(即 $s_k = s_1$ 时), 决策者偏向保守评价, 因此 $h_{i,j}$ 通过其左半云对偶云 $hc_{h_{i-1}}^R$ 根据FCG_Y($hc_{h_{i-1}}^R, p(s_3)$) 计算定量值; 乐观情绪状态时(即 $s_k = s_3$ 时), 决策者偏向激进评价, 因此

h_i 通过其右半对偶云 $hc_{h_{i+1}}^L$ 根据 $FCG_Y(c_{h_i}, p(s_2))$ 计算定量值.

2.4 基于前景理论的方案排序

本节考虑情绪状态的影响, 基于情绪泛化假设, 根据前景理论对方案进行排序. 语言评价转换为定量值后, 将其他方案的评价作为参考点, 进行比较, 低于参考点的部分作为损失, 超过参考点的部分作为收益. 决策者的情绪状态对损失与收益有着不同的作用. 正常情绪状态时, Tversky 等^[38] 认为 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$, 与经验数据较为一致; 悲观情绪状态时, 决策者易高估风险, α 和 β 的取值较低, 决策者的损失规避程度较高, λ 的取值较大, 故本文设 $\alpha = \beta = 0.81, \lambda = 2.45, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$; 乐观情绪状态时, 决策者易低估风险, α 和 β 的取值较高, 决策者的损失规避程度较低, λ 的取值较小, 故本文设 $\alpha = \beta = 0.96, \lambda = 2.05, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$.

定义8 综合前景值是进行方案评价的依据, 通过属性权重和属性前景值加权计算. 设有 n 个方案, m 个属性, 则第 i 个方案 a_i 的综合前景值为

$$Q(a_i) = \sum_{j=1}^m V_{ij} w_j. \quad (10)$$

其中: w_j 为第 j 个属性的权重, V_{ij} 为方案 a_i 第 j 个属性的前景值. 根据定义4, 将其他方案的评价作为参考点, 并考虑决策者的情绪状态, 本文前景值计算公式如下:

$$V_{ij} = \sum_{1 \leq p \leq n, p \neq i} \left(\sum_{k=1}^z \pi_{ij}(s_k) v_{ij}(x_{ij}^k - x_{pj}^k) \right), \quad (11)$$

其中 x_{ij}^k 为方案 a_i 的第 j 个属性在情绪状态 s_k 下语言评价的定量值.

3 实例分析

3.1 情绪感知实验

本文 SVM 概率输出模型的训练与验证, 通过脑电信号数据集 DEAP^[39] 完成. DEAP 中每个测试者观看用以诱发不同情绪状态的 40 个视频, 分别得到其脑电信号数据和效价. 对于脑电信号数据, 如第 2.2 节所述提取 6 个统计特征作为特征向量 X_F . 对于效价 (valence), 按如下公式:

$$S = \begin{cases} s_1, & 1 \leq \text{valence} < 4; \\ s_2, & 4 \leq \text{valence} \leq 6; \\ s_3, & 6 < \text{valence} \leq 9 \end{cases} \quad (12)$$

进行预处理, 得到情绪状态, 并作为标签 Y .

选取 DEAP 中 16 个测试者数据验证本文方法.

每个视频的数据按时间平均分成 2 份, 因此对于每个测试者有样本 80 个, 将其中 24 个作为验证样本, 56 个作为训练样本.

如果情绪感知结果为概率最大的情绪状态, 则可以得到如表 1 所示的情绪感知准确率. 由表 1 可以得出, 16 位测试者中准确率最低为 70.83%, 最高为 87.5%, 平均准确率为 79.17%. 因此, 本文通过脑电信号感知情绪状态具有可行性.

表 1 情绪感知准确率

测试者序号	准确率 / %	测试者序号	准确率 / %
01	79.17	02	83.33
03	83.33	04	75
05	70.83	06	79.17
07	79.17	08	83.33
09	70.83	10	87.5
11	79.17	12	87.5
13	79.17	14	83.33
15	70.83	16	75

3.2 决策步骤

以一个水污染治理方案排序问题为例, 设共有 3 个治理方案 $A = \{a_1, a_2, a_3\}$, 决策者从及时性 (b_1)、可操作性 (b_2) 和有效性 (b_3) 3 个属性对方案进行评价. 属性权重为 $W = \{w_1 = 0.35, w_2 = 0.25, w_3 = 0.4\}$, 均为效益型属性. 决策者的语言评价集为 $H = \{h_1 = \text{“较差”}, h_2 = \text{“差”}, h_3 = \text{“一般”}, h_4 = \text{“好”}, h_5 = \text{“很好”}\}$, 情绪状态为 $S = \{s_1 = \text{“悲观”}, s_2 = \text{“平静”}, s_3 = \text{“乐观”}\}$. 本文使用 EMOTIV Epc+ 脑电头盔, 决策者头戴该头盔, 采集脑电信号的同时, 对 3 个方案各属性给出语言评价, 得到如表 2 所示的决策矩阵.

表 2 语言评价决策矩阵

方案	属性		
	b_1	b_2	b_3
a_1	h_4	h_5	h_2
a_2	h_3	h_5	h_3
a_3	h_4	h_3	h_4

1) 根据第 2.2 节中的方法, 计算脑电头盔采集的脑电信号的统计特征, 以获得特征向量 X_F . 将 X_F 分别输入训练完成的 3 个基于 SVM 的二分类概率输出模型, 根据式 (5) 得到 $\{C_1 = (p_{C_1}(s_1), p_{C_1}(s_2)), C_2 = (p_{C_2}(s_1), p_{C_2}(s_3)), C_3 = (p_{C_3}(s_2), p_{C_3}(s_3))\}$. 再根据式 (7) 得到当前决策者情绪状态概率分布 $p(s_1) = 0.17, p(s_2) = 0.5, p(s_3) = 0.33$.

2) 根据定义 5 中式 (8), 将语言评价集 H 用云表

示为

$$C_H = \left\{ c_{h_1} \left(\frac{1}{6}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right), c_{h_2} \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right), c_{h_3} \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right), c_{h_4} \left(\frac{2}{3}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right) \right\},$$

$$c_{h_5} \left(\frac{5}{6}, \frac{1}{18}, 0.0625 \right) \},$$

结果如图1所示.

3) 根据定义7中式(9),考虑决策者情绪状态,将决策者针对每个方案各属性的语言评价转化为定量值,结果如表3所示.

表3 各语言评价的定量值

方案	b ₁			b ₂			b ₃		
	p(s ₁)	p(s ₂)	p(s ₃)	p(s ₁)	p(s ₂)	p(s ₃)	p(s ₁)	p(s ₂)	p(s ₃)
a ₁	0.6322	0.6667	0.3749	0.7360	0.8333	0.9260	0.2828	0.3333	0.7860
a ₂	0.4165	0.5	0.5681	0.7860	0.8333	0.9260	0.4165	0.5	0.5681
a ₃	0.6322	0.6667	0.7360	0.4165	0.5	0.5681	0.6322	0.6667	0.7360

4) 根据定义8中式(11),计算各方案每个属性的前景值,结果如表4所示.

表4 各方案属性的前景值

方案	b ₁	b ₂	b ₃
a ₁	0.2168	0.3922	-1.3703
a ₂	-1.0091	0.3922	-0.3139
a ₃	0.2168	-1.8183	0.6053

5) 根据定义8中式(10),计算每个方案的综合前景值,结果如表5所示.以综合前景值为依据进行排序,得到 a₃ > a₁ > a₂. 因此, a₃ 为最佳水污染治理方案.

表5 各方案的综合前景值

方案	综合前景值
a ₁	-0.37419
a ₂	-0.380695
a ₃	-0.136575

3.3 对比分析

采用第3.2节中的实例,文献[40]、文献[41]以及本文的方案排序结果如表6所示.本文方法和文献[40]的排序结果不同,而与文献[41]的排序结果相同.文献[41]考虑了一定的决策者主观因素,将语言评价通过区间数表示,根据语言加权平均算子进行方案排序,然而该方法中主观因素是人为假定的,缺乏依据.文献[40]将语言评价通过三角模糊数表示,根据累积前景理论进行方案排序,然而该方法没有考虑决策者情绪状态对决策的影响,因此排序结果并非最优.

表6 不同决策方法的方案排序结果

决策方法	方案排序
基于累积前景理论的语言短语多属性决策方法 ^[40]	a ₃ > a ₂ > a ₁
语言变量多属性决策的目标规划模型 ^[41]	a ₃ > a ₁ > a ₂
基于情绪感知的语言多属性决策方法	a ₃ > a ₁ > a ₂

本文方法根据脑电信号对决策者情绪状态进行实时感知,并考虑情绪状态的影响,将语言评价通过云模型表示并计算其定量值,根据前景理论进行方案排序.最后对比分析验证了本文方法排序结果的有效性.

4 结论

语言MCDM是决策领域的经典问题,已经在许多领域被研究和应用.情绪状态对于决策有着重要影响,然而情绪状态通常根据调查问卷获取或者人为假定,具有局限性,因此考虑情绪状态影响的语言MCDM方法较少.随着物联网技术的发展,通过可穿戴传感器可便捷地获取决策者脑电信号,进而感知其情绪状态.为此,本文提出了基于情绪感知的语言多属性决策方法.首先,为了能够实时、准确地获取决策者情绪状态的概率分布,建立了SVM概率输出模型,根据决策者脑电信号进行情绪感知.在此基础上,通过云模型考虑语言评价的模糊性与随机性,并考虑情绪因素,将语言评价定量化.然后,基于情绪泛化假设,根据综合前景值将各方案排序.最后,通过实例及对比分析,验证了本文决策方法的可行性和有效性.下一步,将对本文决策方法进行更全面的对比分析,并进一步提高情绪感知的准确率.

参考文献(References)

- [1] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decision making: methods and applications[M]. New York: Springer Verlag, 1981.
- [2] Zadeh L A. The concept of a linguistic variable and its application approximate reasoning[J]. Information Sciences, 1976, 9(1): 43-58.
- [3] Yu S M, Zhang H Y, Wang, J Q. Hesitant fuzzy linguistic maclaurin symmetric mean operators and

- their applications to multi-criteria decision-making problem[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2018, 33(5): 953-982.
- [4] Xu Y, Ma F, Xu W, et al. An incomplete multi-granular linguistic model and its application in emergency decision of unconventional outburst incidents[J]. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2015, 29(2): 619-633.
- [5] 廖虎昌, 杨竹, 徐泽水, 等. 犹豫模糊语言 PROMETHE 方法在川酒品牌评价中应用[J]. *控制与决策*, 2019, 34(12): 2727-2736.
(Liao H C, Yang Z, Xu Z H, et al. A hesitant fuzzy linguistic PROMETHEE method and its application in Sichuan liquor brand evaluation[J]. *Control and Decision*, 2019, 34(12): 2727-2736.)
- [6] Martínez L, Ruan D, Herrera F. Computing with words in decision support systems: an overview on models and applications[J]. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2010, 3(4): 382-395.
- [7] Herrera F, Alonso S, Chiclana F, et al. Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects[J]. *Fuzzy Optimization & Decision Making*, 2009, 8(4): 337-364.
- [8] Xu Z S. A method based on fuzzy linguistic assessments and linguistic ordered weighted averaging (OWA) operator for multi-attribute group decision-making problems[J]. *Systems Engineering*, 2002, 20(5): 79-82.
- [9] Xu J, Wu Z, Zhang Y. A consensus based method for multi-criteria group decision making under uncertain linguistic setting[J]. *Group Decision & Negotiation*, 2014, 23(1): 127-148.
- [10] Delgado M, Verdegay J L, Vila M A. Linguistic decision-making models[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 2010, 7(5): 479-492.
- [11] Yu S M, Wang J, Wang J Q. An interval type-2 fuzzy likelihood-based MABAC approach and its application in selecting hotels on a tourism website[J]. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2017, 19(1): 1-15.
- [12] Wang J, Wang J Q, Zhang H Y, et al. Multi-criteria group decision-making approach based on 2-tuple linguistic aggregation operators with multi-hesitant fuzzy linguistic information[J]. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2016, 18(1): 81-97.
- [13] Dong Y, Li C C, Herrera F. Connecting the linguistic hierarchy and the numerical scale for the 2-tuple linguistic model and its use to deal with hesitant unbalanced linguistic information[J]. *Information Sciences*, 2016, 367(13): 259-278.
- [14] Shukla M, Rasmussen E C, Nestor P G. Emotion and decision-making: Induced mood influences IGT scores and deck selection strategies[J]. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 2019, 41(4): 341-352.
- [15] Sanfey A G, Loewenstein G, McClure S M, et al. Neuroeconomics: Cross-currents in research on decision-making[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2006, 10(3): 108-116.
- [16] 陈璟, 姜金栋, 汪为, 等. 决策中情绪作用机制的理论研究述评[J]. *心理科学*, 2014, 37(6): 1346-1353.
(Chen J, Jiang J D, Wang W, et al. A review of theories on the mechanism of emotion in decision making[J]. *Journal of Psychological Science*, 2014, 37(6): 1346-1353.)
- [17] Zajonc R B. Feeling and thinking: Preferences need no inferences[J]. *American Psychologist*, 1980, 35(2): 151-175.
- [18] Lerner J S, Keltner D. Fear, anger, and risk[J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2001, 81(1): 146-159.
- [19] Loewenstein G, Lerner J S. The role of affect in decision making in handbook of affective sciences[M]. New York: Oxford University Press, 2003: 619-642.
- [20] Luce M F, Bettman J R, Payne J W. Choice processing in emotionally difficult decisions[J]. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory & Cognition*, 1997, 24(23): 384-405.
- [21] Dan N S, Kadous K. The joint effects of task-related negative affect and task difficulty in multiattribute choice[J]. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 1997, 70(2): 159-174.
- [22] Isen A M, Patrick R. The effect of positive feelings on risk taking: When the chips are down[J]. *Organizational Behavior and Human Performance*, 1983, 31(2): 194-202.
- [23] Lewinsohn S M H. Multi-attribute choice and affect: The influence of naturally occurring and manipulated moods on choice processes[J]. *Journal of Behavioral Decision Making*, 1993, 6(1): 33-51.
- [24] 潘煜, 万岩, 陈国青, 等. 神经信息系统研究: 现状与展望[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(5): 1-21.
(Pan Y, Wan Y, Chen G Q, et al. Current situation and prospects of neuro information systems[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(5): 1-21.)
- [25] Loewenstein G F, Weber E U, Hsee C K, et al. Risk as feelings[J]. *Psychological Bulletin*, 2001, 127(2): 267-286.
- [26] Johnson E J, Tversky A. Affect, generalization, and the perception of risk[J]. *Journal of Personality & Social Psychology*, 1983, 45(1): 20-31.
- [27] 赵国联, 宋金晶, 葛燕, 等. 基于生理大数据的情绪识别研究进展[J]. *计算机研究与发展*, 2016, 53(1): 80-92.
(Zhao G Z, Song J J, Ge Y, et al. Research progress of emotion recognition based on physiological big data[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2016,

- 53(1): 80-92.)
- [28] 张迪, 万柏坤, 明东. 基于生理信号的情绪识别研究进展[J]. 生物医学工程学杂志, 2015, 32(1): 229-234.
(Zhang D, Wan B K, Ming D. Research progress of emotion recognition based on physiological signals[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2015, 32(1): 229-234.)
- [29] Kratzwald B, Ilic S, Kraus M, et al. Deep learning for affective computing: Text-based emotion recognition in decision support[J]. Decision Support Systems, 2018, 115(9): 24-35.
- [30] Tripathi S, Acharya S, Sharma R D, et al. Using deep and convolutional neural networks for accurate emotion classification on DEAP dataset[C]. Proceedings of the 29th IAAI Conference. San Francisco, 2017: 4746-4752.
- [31] Vapnik V N. The nature of statistical learning theory[M]. New York: Springer, 1995: 138-167.
- [32] Burges C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 2(2): 121-167.
- [33] 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展, 1995, 32(6): 15-20.
(Li D Y, Meng H J, Shi X M. Affiliation cloud and affiliation cloud generator[J]. Journal of Computer Research and Development, 1995, 32(6): 15-20.)
- [34] 李德毅. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 40-91.
(Li D Y. Artificial intelligence with uncertainty [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005: 40-91.)
- [35] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk title[J]. Econometrica, 1979, 47(2): 263-291.
- [36] 王世磊, 屈绍建, 马刚. 基于前景理论和模糊理论的在线多属性采购拍卖供应商选择决策[J]. 控制与决策, DOI: 10.13195/j.kzyjc.2018.1768.
(Wang S L, Qu S J, Ma G. Decision method of supplier selection for online multi-attribute procurement auction based on prospect theory and fuzzy theory[J]. Control and Decision, DOI: 10.13195/j.kzyjc.2018.1768.)
- [37] 宋远骏, 李德毅, 杨孝宗, 等. 电子产品可靠性的云模型评价方法[J]. 电子学报, 2000, 28(12): 74-76.
(Song Y J, Li D Y, Yang X Z, et al. Reliability evaluation of electronic products based on cloud models[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(12): 74-76.)
- [38] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty[J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1992, 5(4): 297-323.
- [39] Koelstra S, Muhl C, Soleymani M, et al. DEAP: A database for emotion analysis: Using physiological signals[J]. IEEE Transactions on Affective Computing, 2012, 3(1): 18-31.
- [40] 樊治平, 陈发动, 张晓. 基于累积前景理论的混合型多属性决策方法[J]. 系统工程学报, 2012, 27(3): 295-301.
(Fan Z P, Chen F D, Zhang X. Mixed multiple attribute decision making method based on cumulative prospect theory[J]. Journal of Systems Engineering, 2012, 27(3): 295-301.)
- [41] 徐泽水. 语言多属性决策的目标规划模型[J]. 管理科学学报, 2006, 9(2): 9-17.
(Xu Z S. Goal programming model of linguistic multi-attribute decision making[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(2): 9-17.)

作者简介

周剑(1984—), 男, 副教授, 博士, 从事决策支持、传感器网络研究, E-mail: zhoujian@njupt.edu.cn;

肖甫(1980—), 男, 教授, 博士生导师, 从事传感器技术等研究, E-mail: xiaof@njupt.edu.cn;

杜宁(1993—), 女, 硕士生, 从事决策支持技术的研究, E-mail: 83331248@qq.com;

严筱永(1977—), 男, 副教授, 博士, 从事传感器技术等研究, E-mail: xiaoyong_yan@126.com;

孙力娟(1963—), 女, 教授, 博士生导师, 从事传感器技术等研究, E-mail: sunlj@njupt.edu.cn.

(责任编辑: 孙艺红)