

一类面向多目标决策的分层情感认知模型

李宏光, 代凯峰, 刘振娟, 宿 翀

(北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 决策者的情感认知对于复杂多目标决策具有关键的作用, 为了能使计算机掌握决策者的决策情感认知规律, 提升计算机辅助多目标决策的能力, 提出一种融合了性格特征、心境状态和情感状态的多层情感认知模型. 描述决策者在处理复杂决策问题时的情感状态量化关系, 运用分层情感认知模型构建集感性和理性于一身的虚拟人, 代替决策者完成对多目标优化问题的交互决策求解. 实例分析验证了所提出模型的有效性.

关键词: 多目标决策; 情感计算; 认知

中图分类号: TP182

文献标志码: A

A kind of layered affective cognition model for multi-objective decision-making

LI Hong-guang, DAI Kai-feng, LIU Zhen-juan, SU Chong

(School of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China.

Correspondent: LI Hong-guang, E-mail: lihg@mail.buct.edu.cn)

Abstract: It is acknowledged that the affective cognition of decision-makers plays an important role during the course of multi-objective decision-making. Aiming to enhance the decision-making ability of computers by enabling them with human's affective cognition, layered affective model is proposed, which merges personality, mood and emotional states and is able to describe the quantified affective cognition of decision-makers in solving complex decision-making problems. This layered affective cognitive model can be applied to the creation of virtual human decision-makers incorporated with human's perceptual and rational characteristics. Instead of human decision-makers, the virtual ones participate in solving multi-objective optimization problems by means of interactive decision-making approaches. Numerical examples are employed to demonstrate the effectiveness of the proposed model.

Keywords: multiple-objective decision-making; affective computing; cognition

0 引 言

许多复杂的多目标决策问题往往难以建立准确的数学模型^[1], 因而需要依赖决策者对于问题的认知. 此类决策问题通常采用交互式的决策方法, 如刘鹏等^[2]提出的基于专家动态权重的群组 AHP 交互式决策方法, 研究了在交互式决策中专家动态权重的确定, 综合多个专家意见进行决策求解; 张欣莉^[3]提出了一个基于目标满意度的交互式多目标决策方法, 通过与决策者直接交互实现了多目标决策问题求解. 然而, 这类交互式决策方法需要人的决策参与, 决策者的劳动强度大.

自 2000 年 MIT 的 Picard 教授^[4]提出情感计算以来, 关于情感建模和应用的研究便得了广泛重视^[5-8].

特别是, Ahn 等^[6-7]应用玻尔兹曼选择机制, 提出了情感认知学习与决策模型, 将情感因素作为内在影响, 外部环境作为外在影响, 通过计算决策后内在和外在影响概率来实现情感认知学习和决策; 张惠娣等^[8]在情感认知学习与决策模型的基础上, 实现了机器人的行为协调控制. 然而, 由于情感模型采用了符号形式的认知状态和决策行为, 使得其应用受到了限制. Su 等^[9]在隐马氏链模型和人工应激模型基础上提出了一个改进的情感交互模型, 但仍没有考虑到个体的性格特性对情感模型的影响, 因而用于解决决策问题时仍受到限制.

为此, 本文构建一个分层情感认知模型, 通过人机交互、模糊认知评价描述性格特性、心境状态和情

收稿日期: 2014-10-23; **修回日期:** 2015-01-27.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (YS1404).

作者简介: 李宏光(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 从事智能控制与决策等研究; 代凯峰(1988—), 男, 硕士, 从事情感计算、认知决策的研究.

感状态间的量化关系,在此基础上提出集感性和理性于一身的虚拟人,进而给出一个基于分层情感认知模型的多目标决策问题求解方法,以代替真实决策者进行决策.首先给出分层情感认知模型的结构和各模块构建方法;然后在分层情感认知模型的基础上,给出一个面向多目标决策的情感认知决策算法;最后通过一个实例来验证所提出模型的有效性.

1 分层情感认知模型

建立一个分层情感认知模型,它包括性格特性层、心境状态层、情感状态层和认知评价模块,如图1所示.

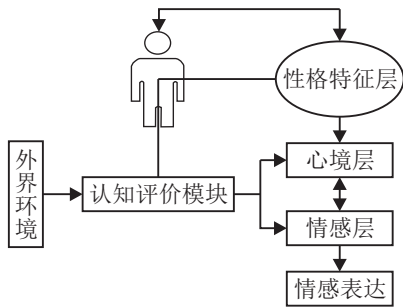


图1 分层情感认知模型结构

图1中:性格特性层通过人机交互实现人格特性数据获取,并通过映射、性格参数影响下层心境状态的变化过程;认知评价模块使得外界激励信号对情感模型的影响程度得到量化并得到评价,然后传递给情感模型的心境层.在情感的更新过程中,心境层与情感层相互影响,性格特性层、心境层、情感层的稳定性依次降低,性格特性层最稳定,情感层最容易发生变化.

1.1 性格特性层

性格特性是一个人受遗传和后天环境共同影响而形成的非常稳定的能够表征人员性格特性参量.性格特性是情感模型的重要参数,它直接反映个体的性格特点,在情感模型中,性格特性直接影响心境状态各分量的大小和状态变迁速度,因此准确的个体性格特性数据是情感建模的先决条件.性格特性以Costa和McCrae的NEO五因素性格特性(简称大五模型)最为典型,其中的五因素分别为神经质(neuroticism)、外向性(extraversion)、开放性(openness)、尽责性(conscientiousness)和宜人性(agreeableness).

定义1 (性格特性向量) 性格特性向量为

$$P_p = [P_N, P_E, P_O, P_C, P_A],$$

$$P_X \in [0, 1], X \in \{N, E, O, C, A\}.$$

其中 P_N, P_E, P_O, P_C, P_A 分别表示神经质、外向性、开放性、尽责性和宜人性,各个特性的含义如表1所示.

表1 性格特性因素的意义描述

性格因素	意义描述
神经质 P_N	具有焦虑、愤怒、抑郁、尴尬、冲动和脆弱的特质
外向性 P_E	具有热情、乐群、独断、活力、积极的特质
开放性 P_O	具有想象力、审美、情感丰富、尝新、思辨的特质
尽责性 P_C	表现出明智、有条理、尽责、自律、审慎的特质
宜人性 P_A	具有诚实、坦率、利他、顺从、谦逊、富有同情心的特质

在以往的研究中,性格特性数据大多通过人凭借经验直接给定,此类方法明显缺乏理论支持.这里,根据心理学研究成果,选取目前公认且易编程实现的大五性格特性简易量表,通过决策者回答60道性格测试题目与计算机进行交互,获取决策者的性格特性.

1.2 心境状态层

心境状态层用于表征人的心情状态,可以采用pleasure-arousal-dominance (PAD)模型描述.其中: P 表示个体情感状态的正负特性, A 表示个体的神经生理激活水平, D 表示个体对情景和他人的控制状态.PAD模型对应一个三维情感空间,空间中的各个象限含义如表2所示.

表2 心境空间各象限对应情感

PAD空间象限	情感	PAD空间象限	情感
$+m_P + m_A + m_D$	快乐	$-m_P + m_A + m_D$	愤怒
$+m_P + m_A - m_D$	依赖	$-m_P + m_A - m_D$	忧虑
$+m_P - m_A + m_D$	冷静	$-m_P - m_A + m_D$	自大
$+m_P - m_A - m_D$	温和	$-m_P - m_A - m_D$	悲伤

定义2 (心境空间向量) 心境状态空间是一个三维PAD,定义心境状态向量为

$$M_{ent} = [m_P, m_A, m_D].$$

其中: $m_P, m_A, m_D \in [-1, 1]$; $M_{ent} = [0, 0, 0]$ 对应平静的心境状态.

1.3 情感状态层

1988年Ortony等^[10]从情感认知的角度将情感分为22种状态,即情感由22种基础情感组成.之后,Ekman等^[11]又提出了6种情感的分类方法.为了适用于多目标决策问题,这里选取情感正负特性和情感强度两个分量来表征情感状态.

定义3 (情感状态向量) 情感状态为一个二维向量

$$E_e = [\chi, q], \chi \in \{-1, 0, 1\}, q \in [0, 1].$$

其中: χ 表征情感的正负特性,取值为-1、0或1,分别表示当前情感状态为消极、平静和积极状态; q 的大小表征当前情感强度.

1.4 认知评价模块

外部激励信号需要经过认知评价模块的处理,这类似于人对外界事物的认知过程.情感模型对外界激

励信号的认知评价过程应从个体的意图和对评价主体的评价标准出发, 借鉴文献 [12] 的方法, 个体表达的情感由其主观愿望、喜好度和个体评价标准所决定, 因此情感模型对激励信号的认知需要注重对愿望、喜好和评价标准的设计. 借鉴文献 [13], 面向多目标决策问题, 这里选取目标达成度、目标优先级和总体协调度作为外界激励, 分别代表目的、喜好和评价标准, 设计 OCC 情感认知评价量如表 3 所示. 其中: S、M、L 分别表示小 (small)、中 (medium)、大 (large).

表 3 OCC 情感认知评价量

特征	P (愉悦度)			A (激活度)			D (优势度)		
	S	M	L	S	M	L	S	M	L
目标达成度	S	✓			✓			✓	
	L		✓	✓					✓
目标优先级	S	✓		✓			✓		
	L		✓		✓				✓
目标协调度	S	✓		✓			✓		
	L		✓		✓				✓

根据此情感认知评价量表, 可构建模糊情感认知模块如图 2 所示, 通过模糊规则量化外界激励信号对情感模型的影响程度, 本文通过此方法实现对激励信号的认知评价.

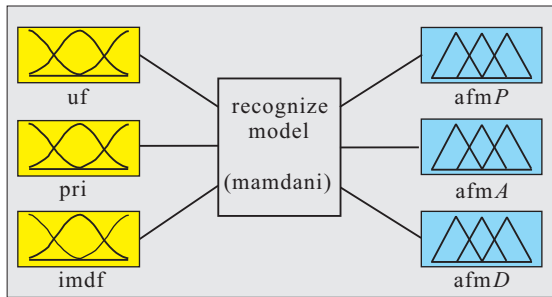


图 2 模糊认知评价模块结构

作为描述个体情感变迁过程的情感模型, 不但有着层次分明的结构, 而且各个层级之间也有着复杂的联系. 个体的性格特性决定了情感的变迁速度和情感的性格分量. 性格特性是一个五维的大五性格向量 P_p , 心境状态由三维的 PAD 空间向量 M_{ent} 表示, Mehrabian^[12] 给出了大五性格向量与心境 PAD 空间的映射关系如下:

$$Pleasure = 0.21 \times P_E + 0.59 \times P_A + 0.19 \times P_N,$$

$$Arousal = 0.15 \times P_O + 0.30 \times P_A - 0.57 \times P_N,$$

$$Dominance =$$

$$0.25 \times P_O + 0.17 \times P_C + 0.60 \times P_E - 0.32 \times P_A.$$

(1)

定义性格特性到心境的传递矩阵为

$$K = \begin{bmatrix} 0.19 & 0.21 & 0 & 0 & 0.59 \\ -0.57 & 0 & 0.15 & 0 & 0.30 \\ 0 & 0.6 & 0.25 & 0.17 & -0.32 \end{bmatrix},$$

从而

$$M_P^T = K \times P_p^T. \quad (2)$$

通过此映射关系, 根据性格特性向量可计算获得心境空间的性格影响分量 M_P .

心境状态的变化受性格特性和外部激励的影响, 同时自身也会随时间不断衰减. 设 M_t 表示 t 时刻对应的心境状态, 则心境空间的更新过程为

$$M_t = \phi(M_{t-1}) + M_P + M(U). \quad (3)$$

其中: M_t 和 M_{t-1} 分别为当前时刻和前一时刻的心境状态; $\phi(M_{t-1})$ 为心境状态衰减函数, $\phi(M_{t-1}) = \phi(M_0) = M_0 e^{-a_i(t-t_0)}$, a 为心境衰减指数, 显然它决定着心境衰减的速度, 体现了不同性格特性的人心境的变化过程是不同的, 这里将心境衰减指数取为 $a_i = (M_{pi} + 1) \times \delta, i = 1, 2, 3, \delta$ 为心境衰减常数; $M(U)$ 为外界激励对心境的影响, 由模糊认知评价模块计算获得.

2 情感交互式决策方法

多目标决策问题 (MOP) 正常可描述为

$$\begin{aligned} \max M &= \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_l(x)\}. \\ \text{s.t.} &\begin{cases} g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m; \\ X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, x_* \in R. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $g(x)$ 为约束函数.

下面给出目标达成度和总体协调度两个指标. 目标达成度体现目标函数达成的满意程度, 总体协调度是实现多目标向单目标转化的桥梁, 通过欧氏距离来衡量总体目标满意度.

定义 4 (目标达成度函数) 各个目标函数的达成度函数为

$$\mu(f_i(x)) = \frac{f_i(x^*) - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, i = 1, 2, \dots, l, \quad (5)$$

其中 f_i^{\max} 、 f_i^{\min} 为第 i 个目标函数的理想值和下限值. 显然, 目标达成度函数 $\mu(f_i(x))$ 的值越大, 对应的目标函数取值越接近理想值.

可选用欧氏距离来构造总体协调度函数. 这里: 选取目标函数当前决策值与理想值间的欧氏距离为

$$d_1(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^l [f_i(x) - f_i^{\max}]^2}; \quad (6)$$

目标函数当前决策值与下限值间的欧氏距离为

$$d_2(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^l [f_i(x) - f_i^{\min}]^2}; \quad (7)$$

目标函数理想值与下限值间的欧氏距离为

$$d_3(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^l [f_i^{\max} - f_i^{\min}]^2}. \quad (8)$$

定义 5 (总体协调度函数) 多目标问题的总体

协调度函数^[3]为

$$\lambda(d(x)) = \frac{d_1 + d_2}{d_1 + d_3}. \quad (9)$$

对于目标决策问题,一般不可能使得每个目标都能达到理想值,而且目标函数的重要程度也存在差异.因此,需要在保证总体协调度较大的情况下,实现各个目标达成度函数最大,并体现各个目标函数的重要程度.

图3给出了一个基于分层情感认知模型的情感交互式决策算法.该算法以目标达成度、目标函数优先级和总体协调度为情感认知评价因素,将理性决策与情感决策相结合构建虚拟人,通过交互获取决策专家的认知模型后,可以实现计算机的自动化情感决策.

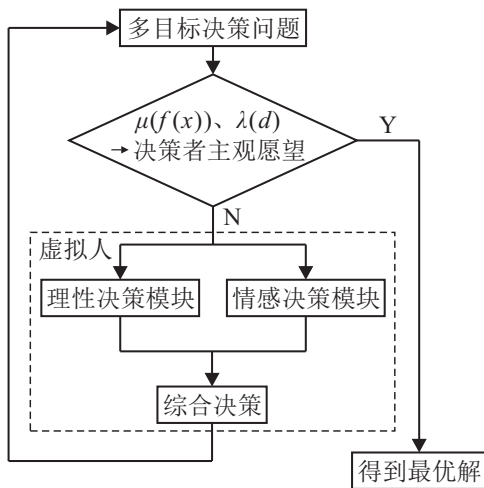


图3 情感认知决策流程

情感认知决策模型由理性决策模块和情感决策模块构成,分别给出目标达成度调整范围.两部分目标达成度调整范围分别代表外在客观要求和内在主观愿望.

理性决策模块是常规多目标决策求解过程,即在不考虑决策者的主观愿望情况下求使总体协调度最大的最优解.对于多目标决策问题(4),其理性决策模块为

$$\begin{cases} \max \lambda(d(x)); \\ x \in X. \end{cases} \quad (10)$$

求解上述优化问题,得到理性决策最优解 $x^k, k = 1, 2, \dots$ 为情感交互次数;计算当前目标函数值 $f_i(x^k)$ 以及目标达成度函数 $\mu(f_i(x^k))$ 和总体协调度函数 $\lambda(d(x))$.

理性决策将总体协调度函数最大作为唯一目标,得到的目标达成度调整值为

$$\Delta\mu_1^k(i) = \mu(f_i(x^k)) - \mu(f_i(x^{k-1})). \quad (11)$$

在分层情感认知模型基础上,可以构建情感认知决策模块.情感因素引入的目的是在多目标决策问题的求解过程中充分体现决策者的主观愿望,从而无需

决策者的直接参与,减轻决策者负担.在多目标决策问题中,决策者的主观愿望主要体现在各个目标函数优先级和对单个目标函数满意度以及总体协调度的要求.

情感认知模块着重从目标满意度、目标优先级和总体协调度3个方面对外界激励信号进行评价,即 $U = [\mu(f(x)), \text{pri}(i), \lambda(d(x))]$.对于有 n 个目标函数的多目标决策问题,依据式(5)~(9)可计算出当前优解下,各个目标函数的达成度指标值 $\mu^{k-1}(f_i(x)) (k=1, 2, \dots, i=1, 2, \dots, n)$ 和总体协调度 $\lambda^{k-1}(d(x))$.第 i 个目标函数的达成度 $\mu^{k-1}(f_i(x))$ 、优先级 $\text{pri}(i)$ 和总体协调度 λ^{k-1} 指标将作为情感决策模块的激励信号 U , 优先级 $\text{pri}(i) \in \{1, 2, \dots, n\}$.通过模糊认知评价模块综合3项指标得到当前激励信号对情感模型的影响程度.

心境状态受到外部激励信号作用后,按式(3)经过一段时间后将趋于稳定,稳定后的心境状态为此外界激励信号所引发的新心境状态,即

$$M_{\text{cur}} = (m_{P_{\text{cur}}}, m_{A_{\text{cur}}}, m_{D_{\text{cur}}}),$$

从而得到当前情感状态值 $E_e = (\chi, q)$.情感正负特性 χ 与心境状态的 $m_{P_{\text{cur}}}$ 分量正负保持一致,情感强度

$$q = \sqrt{m_{P_{\text{cur}}}^2 + m_{A_{\text{cur}}}^2 + m_{D_{\text{cur}}}^2} / \sqrt{3}.$$

据此,可得到情感决策模块目标达成度调整值

$$\Delta\mu_2^k(i) = \begin{cases} -\text{sign}(\chi) \times q_i, & M_P \leq 0; \\ -\text{sign}(m_{A_{\text{cur}}} \times m_{D_{\text{cur}}}) \times q_i, & M_P > 0. \end{cases}$$

$$k = 1, 2, \dots, i = 1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

计算目标达成度综合调整值

$$\Delta\mu^k(i) = (1 - \beta)\Delta\mu_1^k(i) + \beta\Delta\mu_2^k(i), \quad (13)$$

其中 β 为情感辅助程度系数. $\beta \in [0, 1]$, 当 β 取值为0时,无情感辅助作用,随着 β 取值的增加,情感辅助作用逐渐增强.

根据目标达成度综合调整值,多目标决策求解模型转变为

$$\begin{aligned} & \max \lambda(d(x)); \\ & \text{s.t.} \begin{cases} \mu(f_i(x)) \geq \mu^{k-1}(i) + \Delta\mu^k(i), \\ \vdots \\ \mu(f_n(x)) \geq \mu^{k-1}(n) + \Delta\mu^k(n), \\ x \in X. \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

问题(14)的最优解即为基于情感认知模型的决策解 x^{*k} .

情感认知决策模型最优解的检验标准为

$$\begin{cases} \mu^k(f(x)) \Rightarrow \text{决策者对目标函数重视程度}, \\ s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu^k(i) - \mu^{k-1}(i))} \wedge 2 \leq 0.1. \end{cases} \quad (15)$$

综上, 基于情感认知模型的多目标决策算法步骤如下.

Step 1: 为多目标决策问题选取初值, 情感决策模块通过交互进行模型初始化.

Step 2: 计算决策解为 x^{*k-1} 时, 各目标函数的目标达成度 $\mu^{k-1}(i)$ 和总体协调度 $\lambda^{k-1}(d)$.

Step 3: 根据精度要求, 判定是否已满足决策者要求 (15). 如果已经满足要求, 则此时的决策解为情感辅助决策模型所求得的决策最优解; 如果未满足要求, 则继续向下运算.

Step 4: 将 $\mu^{k-1}(i)$ 、 $\text{pri}(i)$ 和 λ^{k-1} 输入给虚拟决策人, 得到目标达成度综合调整值 $\Delta\mu^k$.

Step 5: 求解规划问题 (14), 得到新决策解 x^{*k} .

Step 6: $k = k + 1$.

Step 7: 返回 Setp 2.

3 实例研究

3.1 线性多目标决策

考虑如下线性多目标决策问题^[3]:

$$\begin{aligned} \max f(x) &= (f_1(x), f_2(x), f_3(x)); \\ \begin{cases} f_1(x) &= 18x_1 + 4.5x_2 + 6.75x_3, \\ f_2(x) &= 4.5x_1 + 18x_2 + 4.5x_3, \\ f_3(x) &= 2.25x_1 + 6.75x_2 + 15.75x_3; \end{cases} \\ \text{s.t.} \begin{cases} 306.25 - x_1^2 - 1.2x_2^2 - 1.7x_3^2 \geq 0, \\ x_1 - 2 \geq 0, \\ x_2 - 3.5 \geq 0, \\ x_3 - 3.5 \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (16)$$

决策者期望的各个目标函数的理想值分别为 $f_1^{\max} = 337.5$, $f_2^{\max} = 337.5$, $f_3^{\max} = 315$. 同时, 决策者对第 1 个目标最为重视, 第 2 个目标次之, 最后是第 3 个目标.

首先建立相应的情感认知模型, 通过对决策者进行性格测评 (如图 4 所示) 获得决策者的性格特性参数为 $P_P = [0.36 \ 0.2 \ 0.55 \ 0.71 \ 0.80]$, 心境的性格影响分量 $M_P = [0.5824 \ 0.1173 \ 0.1222]$. 计算最优解为 $x^{*0} = (2, 3.5, 3.5)$ 时, 目标达成度 $\mu^0 = (0, 0, 0)$, 总体协调度 $\lambda^0 = 0.5$. 然后, 基于此情感认知模型对多目标决策进行求解.

根据当前目标达成度和总体协调度, 理性决策模块所得目标满意度调整值

$$\Delta\mu_1^1 = (0.9684, 0.4749, 0.2481).$$

情感模型受激励后各个目标函数所对应的心境状态各分量的变迁过程如图 5 所示, 从上至下分别为第 1、第 2、第 3 个目标函数的心境状况变化曲线.

$$M_{\text{cur},1}^1 = (-0.1536, -0.6187, 0.1221),$$

$$M_{\text{cur},2}^1 = (0.5373, 0.0722, -0.2978),$$

$$M_{\text{cur},3}^1 = (0.5823, 0.1172, -0.6138).$$

根据式 (12) 计算得到情感决策模块的目标满意度调整值

$$\Delta\mu_2^1 = (0.3747, 0.3571, 0.4391),$$

取情感辅助程度系数 $\beta = 0.4$, 通过式 (13) 得到目标达成度综合调整值

$$\Delta\mu^1 = 0.6\Delta\mu_1^1 + 0.4\Delta\mu_2^1 = (0.7309, 0.4278, 0.3461).$$

多目标问题转变为求解如下单目标问题:

$$\begin{aligned} \max \lambda(d); \\ \text{s.t.} \begin{cases} \mu(f_1(x)) \geq 0 + 0.7309 = 0.7309, \\ \mu(f_2(x)) \geq 0 + 0.4278 = 0.4278, \\ \mu(f_3(x)) \geq 0 + 0.3461 = 0.3461, \\ x \in X. \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

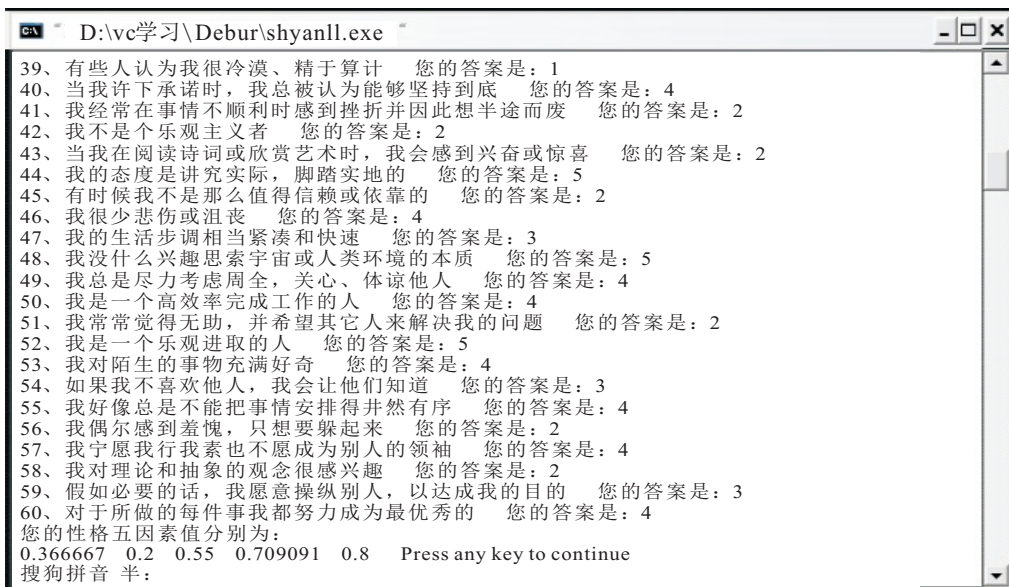


图 4 人机交互获取决策者性格特性

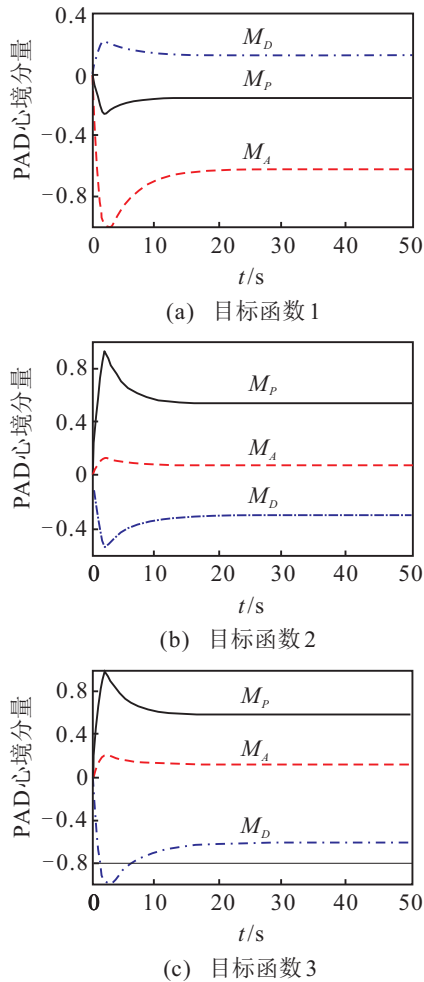


图 5 第 1 次决策心境状态各分量的变迁过程

求解上述单目标问题得到此时的最优解为

$$x^{*1} = (13.7985, 7.7328, 5.0931),$$

$$f(x^{*1}) = (317.5482, 224.2025, 163.4587),$$

$$\mu^1 = (0.9315, 0.5464, 0.3461),$$

$$\lambda^1 = 0.7733,$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\mu^1(i) - \mu^0(i)) \wedge 2} = 1.1340 > 0.1,$$

未满足精度要求。

第 2 次情感认知决策在第 1 次结果基础上, 理性决策模块所得到的结果为 $\Delta\mu_1^2 = (0.0369, -0.0715, -0.098)$; 受激后情感模型的心境空间各分量分别为

$$M_{\text{cur},1}^2 = (0.9107, 0.7712, 0.7727),$$

$$M_{\text{cur},2}^2 = (0.2937, -0.0544, 0.1607),$$

$$M_{\text{cur},3}^2 = (0.9077, -0.0351, -0.7697),$$

$$\Delta\mu_2^2 = (-0.8208, 0.1958, 0.6874).$$

各分量变迁如图 6 所示。此时

$$\Delta\mu^2 = (-0.3062, 0.0354, 0.2162),$$

第 2 次情感认知决策的最优解为

$$x^{*2} = (9.4535, 9.1144, 8.3029),$$

$$f(x^{*2}) = (267.2223, 243.9633, 213.5630),$$

目标达成度 $\mu^2 = (0.7395, 0.6255, 0.5623)$, 总体协调

$$\text{度 } \lambda^2 = 0.7430, s = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\mu^2(i) - \mu^1(i)) \wedge 2} = 0.2998$$

> 0.1 , 仍未满足精度要求。

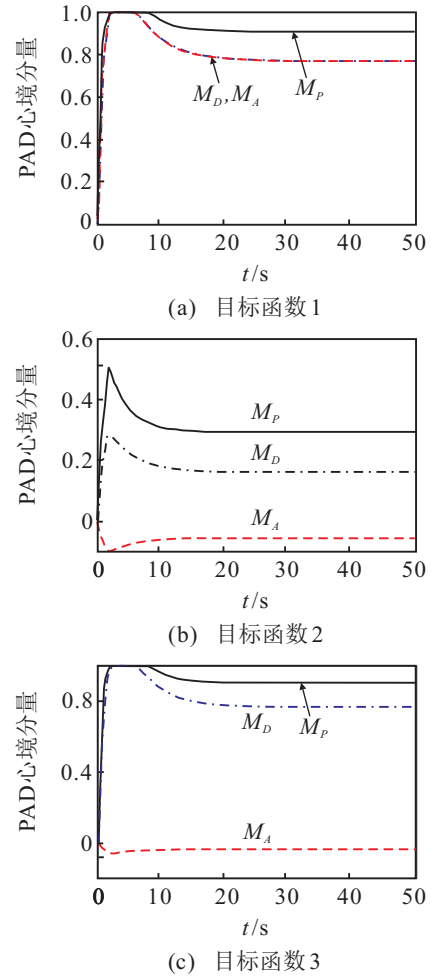


图 6 第 2 次决策心境状态各分量的变迁过程

在此基础上, 进行第 3 次情感认知决策, 理性决策模块所得到的结果为 $\Delta\mu_1^3 = (0.2289, -0.1506, -0.3142)$; 受激后情感模型心境空间各分量分别为

$$M_{\text{cur},1}^3 = (0.8927, 0.7532, 0.7547),$$

$$M_{\text{cur},2}^3 = (0.2342, 0.4002, -0.1003),$$

$$M_{\text{cur},3}^3 = (0.5357, -0.0776, 0.3557),$$

$$\Delta\mu_2^3 = (-0.8029, 0.3037, 0.3739).$$

各分量变迁如图 7 所示。此时

$$\Delta\mu^3 = (-0.1863, 0.0308, -0.0390),$$

第 3 次交互决策的最优解为

$$x^{*3} = (10.5179, 8.9577, 7.6441),$$

$$f(x^{*3}) = (281.2290, 242.9683, 204.5248),$$

目标达成度 $\mu^3 = (0.7930, 0.6215, 0.5233)$, 总体达成

$$\text{度 } \lambda^3 = 0.7525, s = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (\mu^3(i) - \mu^2(i)) \wedge 2} = 0.0663$$

< 0.1 , 并且满足 $\mu(f_1(x^{*3})) > \mu(f_2(x^{*3})) > \mu(f_3(x^{*3}))$,

所以 x^* 是满足决策者主观愿望的最优解.

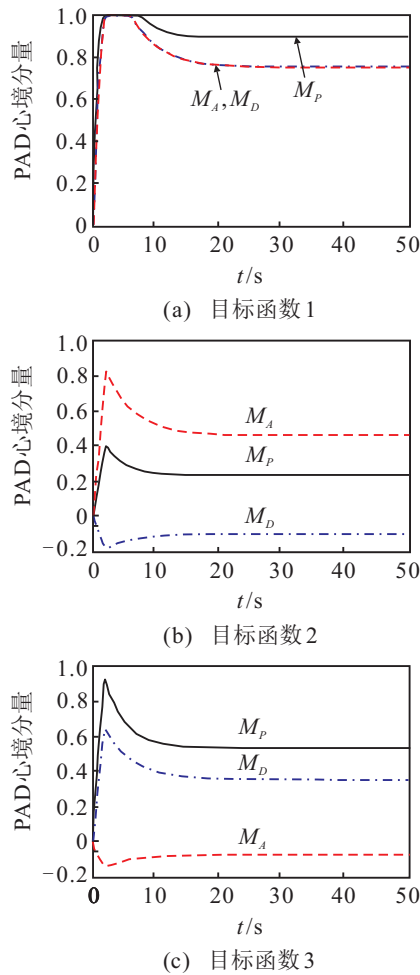


图 7 第 3 次决策心境状态各分量的变迁过程

经 3 次情感交互决策, 即得到满足决策者主观愿望要求的最优解 $x^* = (10.5179, 8.9577, 7.6441)$. 此时, 各个目标函数的结果 $f(x^*) = (281.2290, 242.9683, 204.5248)$, 各个目标达成度为 $\mu(f(x^*)) = (0.7930, 0.6215, 0.5233)$, 总体协调度 $\lambda(d(x^*)) = 0.7525$.

将以上过程与文献 [3] 的人机交互决策算法进行比较, 结果如表 4 所示. 可见, 基于情感认知模型的交互式决策方法能够体现决策者的认知和期望.

3.2 非线性多目标决策

考虑如下一个非线性多目标优化问题^[14]:

$$\min f(x) = \min(f_1(x), f_2(x), f_3(x)). \quad (18)$$

其中

$$\begin{cases} f_1(x) = 7x_1 - x_2^2 + x_1x_2 - 13.5x_1 - 15.5x_2 + 8(x_3 - 10)^2 + 4.4(x_4 - 5)^2 + (x_5 - 3)^2 + 2(x_6 - 1)^2 + 5.5x_7^2 + 7.5(x_8 - 11)^2 + 2(x_9 - 11)^2 + x_{10}^2 + 45, \\ f_2(x) = (x_1 - 5)^2 + 5.5(x_2 - 12)^2 + 0.5x_3^4 + 3.3(x_4 - 11)^2 + 0.2x_5^2 + 7.5x_6^2 + 0.1x_7^4 - 3.6x_6x_7 - 9.3x_6 - 8x_7 + x_8^2 + 3(x_9 - 5)^2 + (x_{10} - 5)^2, \\ f_3(x) = x_1^3 + 5x_1 - 8x_1x_7 + (x_2 - 5)^2 + 3.3(x_3 - 9)^2 - 11.2x_3 + 2x_4^3 + 4.5x_5^2 + (x_6 - 5)^2 + 6.4x_7^2 + 3.2(x_7 - 2)x_8^2 + 4x_9^3 - x_9x_{10}. \end{cases}$$

此多目标问题满足如下约束条件:

$$\begin{cases} 4x_1 + 5x_2 - 3x_7 + 9x_8 \leq 105, \\ 10x_1 - 8x_2 - 17x_7 + 2x_8 \leq 12, \\ 3 + x_1 - 6x_2 - 12(x_9 - 8)^2 + 7x_{10} \geq 0, \\ -3(x_1 - 2)^2 - 4(x_2 - 3)^2 - 2x_3^2 + 7x_4 - 2x_5x_6x_8 + 120 \geq 0, \\ -5x_1^2 - 8x_2 - (x_3 - 6)^2 + 2x_4 + 40 \geq 0, \\ -x_1^2 - 2(x_2 - 2)^2 + 2x_1x_2 - 14x_5^2 - 6x_5x_6 \geq 0, \\ -0.5(x_1 - 8)^2 - 2(x_2 - 4)^2 - 3x_5^2 + x_5x_8 + 30 \geq 0. \end{cases}$$

自变量取值范围为

$$0 \leq x_i \leq 10, i \in \{1, 2, \dots, 10\}.$$

根据实际情况, 决策者对目标函数的重视程度排序为 $f_3(x) \succ f_2(x) \succ f_1(x)$, 并提出了 3 个目标函数的期望值为 $f^{\min} = (200, 500, 400)$. 根据限制条件, 可以求出 3 个目标函数容许的极大值为 $f^{\max} = (1505.9, 3526.1, 3027)$, 性格测试得到性格特性数据为

$$P_P = (0.36, 0.2, 0.55, 0.71, 0.80).$$

选取自变量中值为初始值, 采用情感交互式决策方法求解, 经 2 次交互决策, 得到满足决策者要求的最优解为 $(1.4409, 4.2309, 4.2048, 0, 0.957, 5, 0, 8.6610, 6.0997, 9.2224)$. 每次交互虚拟人的决策行为如表 5 所示, 将此结果与文献 [14] 中基于后验满意度方法所求取的结果进行对比, 结果如表 6 所示.

表 4 情感认知决策与人机交互决策的结果对比

方法	最优解	目标函数值	目标达成度	协调度
文献 [3]	(10.0333, 9.7510, 7.2633)	(273.5070, 253.3524, 202.7915)	(0.7559, 0.6631, 0.5158)	0.7512
本文	(10.5179, 8.9577, 7.6441)	(281.2290, 242.9683, 204.5248)	(0.7930, 0.6215, 0.5233)	0.7525

表 5 交互虚拟人的决策行为

	决策行为		
	理性决策	情感决策	虚拟人决策
1 st	(0.2663, -0.0009, 0.2319)	(0.1906, -0.3236, 0.1945)	(0.2360, -0.1300, 0.2012)
2 nd	(0.0303, -0.0201, -0.0247)	(-0.2399, -0.1821, -0.3742)	(-0.0788, -0.0849, -0.1645)

表 6 情感认知决策与基于后验满意度结果对比

方法	最优解	
本文	(1.440 9, 4.230 9, 4.204 8, 0, 0.957 5, 0, 8.661 0, 6.099 7, 9.222 4)	
文献[14]	(1.237, 3.470 1, 4.356 9, 4.496 8, 0.066 8, 1.458 7, 0.206 7, 9.209 8, 6.196, 8.074)	
方法	目标函数值	目标达成度
本文	(419.751 5, 749.403 4, 574.895 4)	(0.831 7, 0.917 6, 0.933 4)
文献[14]	(360.77, 832.29, 639.9)	(0.876 8, 0.890 2, 0.908 6)

4 结 论

本文基于情感心理学和控制科学技术,构建了一个分层情感认知模型,实现了性格特性、心境状态和情感状态的量化描述.在此基础上建立了集感性和理性于一身的虚拟人,进而给出了一个多目标情感认知决策方法.此项研究为实现复杂多目标决策问题的计算机自动化情感决策奠定了基础.后续工作将进一步研究决策者性格特性对决策结果的影响关系,并尝试将个体偏好加入情感分层模型,使情感认知模型更加符合人的认知过程.

参考文献(References)

- [1] 杨桂元, 郑亚豪. 多目标决策问题及其求解方法研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(2): 108-115.
(Yang G Y, Zhang Y H. Research on solving method of multi-objective decision-making[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(2): 108-115.)
- [2] 刘鹏, 张园林, 晏湘涛, 等. 基于专家动态权重的群组 AHP 交互式决策方法[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(13): 85-90.
(Liu P, Zhang Y L, Yan X T, et al. The method of interactive group decision-making for AHP based on experts' dynamic weights[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2007, 37(13): 85-90.)
- [3] 张欣莉. 基于目标满意度的交互式多目标决策改进方法[J]. 系统工程, 2004, 22(9): 10-13.
(Zhang X L. An improved method of interactive multi-objective decision-making based on objective satisfaction degree[J]. Systems Engineering, 2004, 22(9): 10-13.)
- [4] Picard R W. Affective computing[M]. Cambridge: MIT Press, 2000: 129-142.
- [5] 李海芳, 何海鹏, 陈俊杰. 性格、心情和情感的多层情感建模方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(4): 725-730.
(Li H F, He H P, Chen J J. A multi-layer affective model based on personality, mood and emotion[J]. J of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2011, 23(4): 725-730.)
- [6] Ahn H, Picard R W. Affective-cognitive learning and decision making: A motivational reward framework for affective agents[C]. Affective Computing and Intelligent Interaction. Berlin: Springer, 2005: 866-873.
- [7] Ahn H, Picard R W. Affective cognitive learning and decision making: The role of emotions[C]. The 18th European Meeting on Cybernetics and Systems Research. Austria, 2006: 1-6.
- [8] 张惠娣, 刘士荣, 俞金寿. 基于情感认知的学习与决策算法在移动机器人行为协调中的应用[J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2008, 24(3): 399-404.
(Zhang H D, Liu S R, Yu J S. Affective cognitive learning and decision making and application in behavior coordination for mobile robots[J]. J of East China University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2008, 24(3): 399-404.)
- [9] Su Chong, Li Hongguang. Approaches to affective computing and learning towards interactive decision making in process control engineering[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(5): 617-625.
- [10] Ortony A, Clore G L, Collins A. The cognitive structure of emotions[M]. New York: Cambridge University Press, 1988: 123-127.
- [11] Ekman P, Friesen W V. Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial expressions[M]. Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1975: 120-150.
- [12] Mehrabian A. Analysis of the big-five personality factors in terms of the PAD temperament model[J]. Australian J of Psychology, 1996, 48(2): 86-92.
- [13] 高庆吉, 赵昂, 董慧芬. 一种融入态度的人工情感层次模型[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(4): 656-661.
(Gao Q J, Zhao A, Dong H F. Layered model of artificial emotion merging with attitude[J]. J of System Simulation, 2013, 25(4): 656-661.)
- [14] 胡超芳. 基于决策者满意度的多目标模糊优化算法研究[D]. 上海: 上海交通大学自动化系, 2007.
(Hu C F. Research on fuzzy multiple objective optimization based on decision maker's satisfying degree[D]. Shanghai: Department of Automation, Shanghai Jiaotong University, 2007.)

(责任编辑: 曹洪武)