

情感理论及基于情感的决策理论与模型研究^{*}

江道平¹ 班晓娟¹ 尹怡欣¹ 石为人²

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)¹ (重庆大学自动化学院 重庆 400030)²

摘要 情感能力是人类智能的重要标志,与人类认知相互依赖和影响。因此,研究情感理论,模拟人类情感,对增强系统智能具有重要意义。本文根据情感激发、产生的内在机理,提出情感的三级层次;为影响和激发情感的内部状态建立模型;基于情感的模糊性,运用模糊逻辑定义了情感的强度,并提出情感状态描述;通过分析情感在决策过程中的作用,结合 MAS 理论与决策系统的研究成果,提出了具有情感能力的个体 Agent 模型和具有情感功能的 MAS 决策模型。

关键词 情感,智能,认知,内部状态,Agent,决策

Research on Emotion Theory and the Decision Models Based on Emotion

JIANG Dao-Ping¹ BAN Xiao-Juan¹ YIN Yi-Xin¹ SHI Wei-Ren²

(School of Information Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083)¹

(School of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030)²

Abstract Emotion competence is one of the symbols of human intelligence, and it impacts with and relies on the cognition of human. Therefore, it is significant to research on the emotion theory and emulate the human emotion to improve the intelligence of the system. A three-hierarchy emotion structure is proposed according to the inspiration and generation of the emotion, the internal state model is presented which takes great effect on emotion, and the emotion state description is proposed based on fuzzy logic. Additionally, after analyzing the emotion's function on decision, the individual Agent model and decision system model with plan, emotion, reason and decision modules are presented, in which emotion serves as one of the internal competence of the Agent.

Keywords Emotion, Intelligence, Cognition, Internal state, Agent, Decision

1 引言

人类智能不仅表现为正常的理性思维和逻辑推理能力,也表现为正常的情感能力。情感在人类智能活动中扮演着不可缺少的角色。Damasio 在他的研究中指出,情感能力对正常的人类行为至关重要,它与理性思维和逻辑推理能力不绝对矛盾,而是可以相辅相成的^[2]。美国学者 Goleman 认为情感能力是人类智能的重要标志^[11]。

心理学对情感的一种解释是:情感是主体对自身状态,以及主体与环境间关系状况的评价^[24]。情感是主体适应生存的心理工具,能激发心理活动和行为的动机,是心理活动的组织者和人际通讯交流的重要手段,情感也是一种智能。

在自然系统中,情感有着非常重要的作用。研究表明,自然情感对人的记忆、注意力、推理等方面都有重要的影响。甚至一些研究者提出,人的大脑分为两个主要的独立交互系统:情感的和认知的,两个系统都影响人类行为,并且认知与情感两个系统相互作用、相互重叠、相互依存。George 指出,前期的认知理论忽略了情感和认知在特性方面高度的相互依赖^[17]。对认知学发展的研究表明,认知并非如我们所认为的那样合乎逻辑,情感也并非我们所认为的那样不合逻辑^[18]。

模拟自然系统,使机器具有情感,是一项很有争议的 research,但它又是基于大量科学发现而产生的。我们现在所了解的情感对人类思维和行为的影响都是最近 20 年来研究的成

果。而导致对情感因素进行探索的动力则是当认知理论和信息处理理论第一次明确地将情感因素引入人类思维模型,并且使得研究取得突破性进展^[20],使一个资源有限的系统能智能地适应复杂巨不可预测环境,情感在其中扮演着至关重要的角色。

本文将在第 2 节介绍情感理论体系及研究方法;第 3 节提出激发情感的内部状态模型;第 4 节提出情感状态描述;第 5 节分析情感理论与决策理论的结合;第 6 节提出具有情感能力的个体 Agent 模型和具有情感功能的 MAS 决策模型。

2 情感理论体系及研究方法

模拟人类情感,提高系统智能性的研究领域主要发展了以人工情感(Artificial Emotion, AE)、情感计算(Affective Computing, AC)、人工心理(Artificial Psychology, AP)等为代表的理论体系,这些理论之间又相互交叉、重叠和融合^[1, 12, 23, 25]。

在情感理论的研究方面也出现了一些学术界比较认同的方法和理论。

情感模型比较常用的有两类:一类是基于马尔可夫模型(Hidden Markov Mode, HMM)的有限状态模型,属于离散情感模型;使用较多的是连续的情感空间模型,利用这种模型,当前情感信号可以被分类成一些基本的部分:一种是按照情感状态的分类,将每一类情感作为情感空间的特征分量;另

^{*}国家自然科学基金项目(60503024, 60374032)。江道平 博士研究生;班晓娟 博士,副教授;尹怡欣 博士,博导。

一种是只给出相应的被激励(arousal)程度(按高、低刻画)和价(valence)(按正负刻画)作为基本特征表达情感。情感模型往往因场景和设计者的不同而差异较大^[27]。

Picard 也提出用 HMM 来描述情感模式,计算从一个情感状态转移到另一个情感状态的概率;用基于规则的模型来识别和预测情感^[7]。北京科技大学王志良老师等人提出了用情感熵来刻画情感变化的思路,通过建立情感空间,得到情感的各个状态的概率分布,从而计算出情感熵^[26]。

3 内部状态建模

情感的产生受内部动机和外部环境刺激的影响^[28]。在这里,我们将内部状态变量处理为内部状态的历史积累和外部刺激反应共同作用的结果,提出了内部状态模型,设定参数。设定 4 种最通用的内部状态变量: H ,饥饿感; F ,恐惧感; L ,性欲; E ,疲劳感,见公式(3.1)。内部状态值取决于过去状态的积累和当前环境刺激,分别给出 4 种内部状态变量的公式,见公式(3.2~3.6)。公式(3.2)中, $r^e(t)$ 是消耗的食物量, $r(x)=1-p_0x$ 表示消化率, Δt^H 是从上次进食以来所间隔的时间, r^e 是主体食量的大小。 $\alpha_h S^h(t)$ 体现环境刺激,例如感知到食物的存在。公式前面部分表示历史状态的积累,后面一项表示受环境刺激影响;公式(3.3)中, D_0 是常数,表示主体的胆量大小, d_i 表示感知到捕食者的距离;公式(3.4)中, $l(x)=p_1x$,是性欲函数, Δt^L 是上次性交以来所间隔的时间, $\alpha_l S^l(t)$ 体现环境刺激,例如感知到潜在的交配对象;公式(3.5)中, $C(t)$ 是精力消耗函数,针对不同的行动有不同的经历消耗系数, Δt^X 表示某一行动持续的时间;公式(3.6)中, $d(t)$ 表示感知到的刺激对象与主体的距离, $s(t)=1/d(t)$ 表示刺激强度, q_1 和 q_2 是阈值,使 $S^x(t)$ 成为一个阶跃函数, x 分别表示 h 或 l 。其中 $p_0=0.00067$, $p_1=0.0025$, $D_0=200$ 分别是标称值。所有内部状态值的取值范围为 $[0,1]$ 。当内部状态值接近 1 时,表示该状态的强度较大,强度大的内部状态激发的情感状态会比较稳定,情感强度较高。

$$Internal_state=\{H,F,L,E\} \quad (3.1)$$

$$H(t)=\min[r^e r(\Delta t^H)/r^e+\alpha_h S^h(t),1] \quad (3.2)$$

$$F(t)=\min[\sum_i \min[D_0/d_i(t),1],1] \quad (3.3)$$

$$L(t)=\min[l(\Delta t^L)+\alpha_l S^l(t),1] \quad (3.4)$$

$$E(t)=\min[\sum_a C_X(\Delta t^X),1] \quad (3.5)$$

$$S^x(t)=\begin{cases} 0, & s(t)\leq q_1 \\ \frac{s(t)-q_1}{2q_2-q_1-s(t)}, & q_1\leq s(t)\leq q_2 \\ 1, & s(t)\geq q_2 \end{cases} \quad (3.6)$$

4 情感描述

在 Damasio 的文章中,将人的情感分成两个层次:初级情感(Primary emotion)和二级情感(Secondary emotion)。初级情感是指人自身固有的由外界环境刺激触发的机体反应;当对初级情感和当前及过去的感知(perception)建立联系时触发二级情感^[2]。除了 Damasio 提出的两级情感,当人处于社会或特定组织环境中,通过长期社会交往,会产生更高级的情感,我们可以将其定义为高级情感(Senior emotion)。

瞬时情感(Instantaneous emotions)比较激烈,有明显的前因和感知内容,持续时间比较短暂,容易向其他状态迁移,属于初级情感;情绪(Moods)被定义为低强度、模糊并且相对持久的情感状态,没有明确的感知内容。情绪不同于情感,它产生和消退比较缓慢,在波峰时幅度较小,没有显著的起因^[16],属于二级情感;社会能力(Society competence)和所处社会、文化等环境有关,为个人的认知过程和行为提供更加潜在和根本的情绪上下文,其产生和消退较之二级情感更加漫长,状态比较稳定,属于高级情感。虽然低级情感的产生及状态迁移主要受到环境激励和自身感知的作用,但是高级情感对低级情感具有一定的控制作用。当高级情感与低级情感状态相反时,该控制机制表现尤其明显。正如一个在心态(高级情感)方面积极乐观的人,受到挫折(环境刺激)时情感(低级情感)波动较小。同级情感的不同情感属性之间还存在着调节策略,可以控制情感属性向有利的情感状态迁移,见图 1。

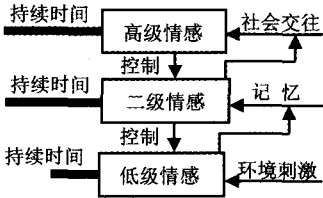


图 1 情感层次

Goleman 将初级情感分为如下 8 类,所有情感将包含其中,见表 1^[3]。

表 1 情感属性

情感类型	情感属性
1. 生气(angry)	狂怒(fury)、侮辱(outrage)、怨恨(resentment)、愤怒(wrath)、恼怒(exasperation)、愤慨(indignation)、苦恼(vexation)、讽刺(acrimony)、憎恶(animosity)、烦恼(annoyance)、易怒(irritability)、恶意(hostility)、仇恨(hatred)、暴虐(violence);
2. 忧伤(Sadness)	悲痛(grief)、悲哀(sorrow)、厌倦(tirelessness)、阴暗(gloom)、忧郁(melancholy)、自怜(self-pity)、寂寞(loneliness)、沮丧(dejection)、失望(despair);
3. 恐惧(Fear)	忧虑(anxiety)、忧惧(apprehension)、神经过敏(nervousness)、过度关注(concern)、惊愕(consternation)、疑惧(misgiving)、谨慎(wariness)、疑虑(qualm)、急躁(edginess)、畏惧(dread)、惊骇(fright)、恐怖(terror);
4. 快乐(Enjoyment)	幸福(happiness)、喜悦(joy)、安慰(relief)、欣慰(contentment)、福佑(bliss)、高兴(delight)、享受(amusement)、自豪(pride)、狂喜(rapture)、满意(gratification)、满足(satisfaction)、欣快(euphoria)、奇想(whimsy)、入迷(ecstasy)、狂热(mania);
5. 爱(Love)	认同(acceptance)、亲密(friendliness)、信任(trust)、友善(kindness)、亲切(affinity)、热爱(devotion)、崇拜(adoration)、醉心(infatuation);
6. 惊奇(Surprise)	震惊(shock)、惊讶(astonishment)、惊异(amazement);
7. 厌恶(Disgust)	轻蔑(contempt)、蔑视(disdain)、嘲笑(scorn)、痛恨(abhorrence)、反感(aversion)、讨厌(distaste);
8. 羞耻(Shame)	内疚(guilt)、尴尬(embarrassment)、委屈(chagrin)、懊悔(remorse)、蒙羞(humiliation)、遗憾(regret)、羞辱(mortification)

人工情感的建模大多遵循心理学的定义,医学心理学的研究表明,情感的表现本质上是模糊的^[2]。基于该原

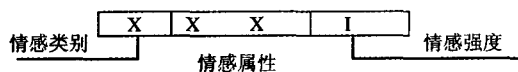
理,我们提出运用模糊逻辑来描述情感的强度(emotion intensity)。

1)主体可同时存在多种情感,每种情感用0—1之间数值表示其强度。当情感强度值趋于0,表示主体该时刻该种情感十分微弱;如果情感强度趋于1,表示主体该时刻该种情感十分强烈,同一时刻主体所有情感强度代数和为1;

2)在某个时刻某种情感的强度可能大于所有其他情感的强度,此情感代表了此时刻整个情感状态的主要特征,称其为主导情感;

3)同一时刻,主体仅存在两种相互矛盾的情感的可能性几乎为0。

在定义了情感的层次(emotion hierarchy)和强度(emotion intensity)之后,我们可以描述某一时刻主体的情感状态(emotion state)。由于高级和二级情感比较稳定,持续时间长,不轻易随时间改变,因此将高级和二级情感状态存入主程序文件,或者作为控制策略处理。现在我们仅描述初级情感的状态。根据表1, Goleman对所有初级情感的划分,情感状态第1位用1—8分别表示表中提及的8种情感类型;分别对每类情感中的具体情感属性进行编码,情感状态的第2,3位对应表中具体的情感属性,因此用3位数值就能表征该时刻主体唯一的情感类型和属性;第4,5位为该情感的强度。由于初级情感的不稳定性和时变性,因此该描述仅仅对应某一时刻主体的情感状态,见图2。



5 情感与决策(Decision)系统

目前国内外针对情感识别、产生、表达等方面的研究比较多,均是模拟和借鉴基于环境刺激反应的低级情感机理。根据引言中提及的情感与智能、情感与认知的相互影响和相互依赖原理,与推理、思维、记忆相互对应的决策过程同情感的关系最为密切。决策过程同时受三级情感的作用,所以情感研究的最终目标是建立具有情感的智能决策支持系统。

通过案例学习和收敛证据研究表明,情感对于决策不是如同长久以来人们想象的那样是一种威胁和破坏因素。事实上,情感和情绪是一种不可或缺的管理复杂组织系统的要素。在仅有推理机制,缺乏情感因素的系统中,尽管系统完好无损,但是做出的决策和判断是不尽如人意的。相对于特定的行为响应,情感与目标联系更加紧密的模式可以解释情感为什么会更加丰富、多变和灵活的行为^[1]。

R. Adolphs 和 A. R. Damasio 的文章中指出大量的研究表明,情感是自适应的决策和行为必不可少的组成元素^[19]。加入情感成分到智能系统(智能系统应用十分广泛),改善其行为、响应,将使其更加人性化。需要哪种情感元素的加入,则取决于具体的应用领域^[1]。

情感不仅在个体的决策过程中扮演着重要的角色,当模拟人的推理、行为过程中,特别是当主体的行为将影响其他人时(例如团队工作、训练或者教育活动),情感将影响组织行为(organization behavior)^[1]。个人情感特征对群体产生影响的因素主要有:情绪(moods)、情感(emotions)、感情(sentiments)、情感智能(emotional intelligence)等。

情感既影响组织成员思考(认知的内容),又影响组织成员怎样思考(认知的过程)。对于情感状态怎样与认知过程发生交互作用的明确解释,将成为解决情感如何影响组织行为的必然途径^[15]。

在组织中,个体情感除了对组织行为产生影响,还会导致

组织中出现“群体情感(group emotion)”。S. G. Barsade 和 D. E. Gibson 定义群体情感为群体由自下而上的情感成分和自上而下的情感上下文组合而成的情感状态^[13]。主要研究个体情感和上下文因素如何共同作用于群体情感,群体情感怎样影响群体行为,群体情感怎样反馈于群体情感系统。

群体成员将个体级的情感经验用于群体交互活动,群体情感又会反馈给主导动态情感系统以情感先例(affective antecedents)和情感上下文(affective context)^[14]。

群体决策(group decision)是组织的非常规活动,群体过程分为问题认知、决策求解和达成一致决策3个阶段。群体决策理论包括对个人和群体决策心理或认知过程,以及群体交互社会学的研究。支持群体中的思想、观点及偏好相互交换和恰当组合,使群体决策达到优化,利用有效的协同求解和协商过程降低群体决策问题求解难度,促成一致决策^[28]。

在群决策过程中如何形成动态、开放式的群体决策组织结构;如何集结个体偏好,形成一致决策的问题,一直没有得到很好的解决。基于前面提到的情感将影响组织行为和导致群体情感的产生,如果对决策成员能力模型描述中引入情感因素,增加对决策成员个体情感和由此产生的群决策成员群体情感控制机制,并针对决策任务,激发决策成员有利于决策求解的个体情感和群体情感要素,将与真实组织决策过程更加贴切,并提高决策效率。

决策支持系统(decision support system)和群决策支持系统(group decision support system)与 Agent 智能系统的结合,成为决策理论研究与应用的热点,具有研究情感的智能主体必将为决策支持系统的发展带来新的突破。

6 具有情感的个体 Agent 和 MAS 决策模型

传统的人工智能是基于符号处理的逻辑推理系统,模拟人的高级智能。这种方法要求给定环境模型、精确的传感器输入,而且需要大量的计算,缺乏对陌生环境的适应能力。

1986年 R. Brook 提出了基于行为的系统,模拟动物和人都具有的反射机制,不需要环境模型和逻辑推理,而是建立从感知到行动的直接映射。一个行为由多个模块合作产生,这些行为模块不要求高水平的行为规划。但是,这种方法缺乏规划复杂行动的能力,同时行为模块的相互连接是事先确定的,这样使 Agent 无法进行多样性及个性化的行为表达。

Canamero 提出由情感与动机驱动的智能行为模型,他十分看重情感在决策和行为选择中的作用。根据 Canamero 的研究工作,情绪驱动 Agent 将是在处理动态、不可预知、资源有限的环境中,增强自治性和适应性的机制之一,在高层次的自治中,Agent 被赋予由内部目标和动机驱动行为的能力^[8]。

个体 Agent 主要具备如下能力。

反应能力:Agent 能够感知所处的环境,并对相关事件做出及时的反应;

自主能力:Agent 是一个独立自主的计算实体,运行时不直接受外界控制,它对自己的行为和内部状态有一定的控制权,能够解决给定的子问题,以特定的方式响应周围的环境;

社会能力:Agent 具有与其它 Agent 相互协作的能力,Agent 间存在相互依赖和制约的关系,遇到冲突时能够相互协商。

分布式人工智能技术向着多智能体系统(multi-agent system, MAS)发展,MAS是由多个 Agent 基于一定协调机制组成的自组织系统,其中每个 Agent 被视作一个智能系统

去解决特定的问题,所有的 Agent 一起工作,相互交流(communicate)、合作(collaborate)、协商(negotiate),Agent 之间可以合作与交流的能力使得它有利于用软件实现^[9]。

因此软件智能体(Software Agents)可以作为一个十分恰当的平台去分析和模拟人类群体和组织。MAS 用于模拟宏观社会的集体行为,也被用于模拟微观社会,即在组织中的个人行为。社会科学、心理学、认知科学理论将被应用于 MAS 之中^[21]。

目前 Agent 研究侧重于对人类逻辑思维如计算能力、推理能力等的研究与模拟。这里我们考虑 Agent 在工作过程中,受情感因素的作用,将情感因素定义为个体 Agent 内在的一种能力和属性,将情感要素嵌入到个体 Agent 中,进一步构建能够感知和表现心理活动并控制和调节系统行为的情感 MAS 系统。

拥有情感参数的个体 Agent 模型:

Agent(S, D, A, G, C, P, E)

S: (State of Agent), 描述 Agent 忙或闲状态,当规划新任务,组合决策成员时,用于平衡系统负载;

D: (Domain of Agent), 描述 Agent 应用领域,根据 Agent 的经验和能力参数,确定 Agent 的应用;

A: (Ability of Agent), 描述 Agent 的系统能力,包括输入、输出限制、质量、持续时间和代价,只有当任务与能力很好地匹配,才能保证决策的质量;

G: (Goal of Agent), 描述 Agent 执行的效果,进行决策与期望的对比,根据决策效用评价 Agent 行为;

C: (Credit of Agent), 描述 Agent 的信用,根据历史记录,评价 Agent 的可信任度;

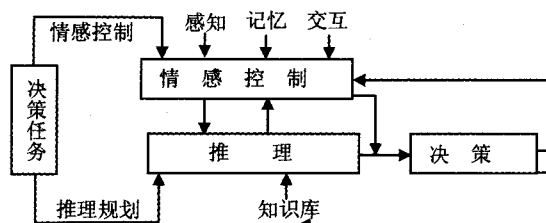
P: (Protocol of Agent), 描述 Agent 之间通信所遵守的协议;

E: (Emotion of Agent), 描述 Agent 的情感状态,是独立于 Agent 领域能力、信用之外的参数,当情感状态与 Agent 行为驱动情感控制策略不匹配时,发出报警信号,以便调整情感的控制和调节策略。

Picard 指出,如果希望构建最合理的决策工具,这个工具必须具备情感机制和知识库^[7]。我们提出“基于情感 MAS 的决策系统”,将其分为决策任务规划、推理、情感控制和决策 4 个模块,情感控制模块和推理模块分别具有不同领域知识库。各个模块分别由前面描述具有情感能力的个体 Agent 构建,每个模块根据对个体 Agent Domain, Ability, Goal, Credit, Protocol, Emotion 等属性的匹配,组建 Group,通过个体 Agent 的反应、控制、情感能力和 MAS 中 Agents 之间的协作和情感作用实现模块功能。

首先从对情感状态的描述可知,某一时刻主体的情感状态取决于:a)主体长时间在社会组织中的交互活动中形成的高级情感;b)主体与记忆发生联系产生的二级情感;c)主体对环境感知的反应,生成的初级情感及其各自在该时刻的强度。

对情感的研究,主要以人类心理学、生理学的理论成果作为依据。人在执行任务时,总希望激发有利的情感因素,提高任务的执行效率。基于高级情感对低级情感的控制机制和同级情感之间实时的状态迁移与调节,根据任务的类型,激发主体与任务执行驱动同向的情感因素。例如决策任务类型为协作型,则激发主体的爱、信任、友善等情感;当决策任务类型为竞争型,则需要激发主体的关注、谨慎、反感等情感,见图 3。



Task(type, plan, restrict, strategy); type $\in$ {cooperation, negotiation, competition};

Emotion control (strategy, state, reason-feedback, decision-feedback, match. s-s, match. s-r, match. s-d);

Reason(plan, e-state, r-state);

Decision(e-state, reason, decision-make, evaluate)。

决策任务模块属性包括:a)决策任务的类型(type)。我们将决策任务按照对主体情感的控制需求分为协作型(cooperation)、协商型(negotiation)和竞争型(competition)3类;b)任务的规划(plan)。求解复杂决策问题时,对决策任务进行线性或非线性规划,分解为易于执行的决策规划;c)资源限制(restrict)。该属性表征任务的规划和推理过程的系统资源或时间限制状况;d)情感控制策略(strategy)。触发主体与问题求解同向的,即有利于问题求解的情感状态。

情感模块属性包括:a)情感控制策略(strategy)。根据决策任务类型,触发主体的相应情感状态;b)主体状态(state)。主体情感状态还会受控制策略和推理、决策反馈影响,发生状态迁移;c)推理反馈(reason-feedback)。推理搜索和运算的难易程度、求解空间的大小将对主体情感产生影响;d)决策反馈(decision-feedback)。将决策的评价反馈给情感模块,好的决策评价将激发主体的积极情感,激励沿着该方向执行决策求解,差的决策评价将导致主体的受挫情感,通过情感对推理、决策的控制影响,共同作用以修正决策与目标的偏移;e)情感状态与情感控制策略的匹配程度(match. s-s);f)情感状态与推理的匹配程度(match. s-r);g)情感状态与决策的匹配程度(match. s-d)。当检测到某种匹配度低于系统设定值时,进行情感控制、调节策略调整,并作为案例(case)保存,供主体进化学习。

推理模块的属性包括:a)任务规划(plan);b)情感状态(e-state);c)资源状态(r-state)。

决策模块的属性包括:a)情感状态(e-state),在某种确定的情感状态下,将对决策问题求解产生对应作用;b)推理搜索结果(reason-result),推理模块对决策问题搜索求解运行结果;c)决策(decision-make),在该情感状态下,对推理搜索结果进行选择或者重新决策;d)决策评价(evaluate),通过检测决策结果与期望的偏差评价决策,反馈给情感控制模块,以调整其控制策略,并作为学习案例保存。

结论 本文结合心理学研究成果,分析了情感与智能、情感与认知的关系,情感在人类思维中的重要作用;提出了影响和决定情感的主体内部状态模型;根据情感的不同层次和在同一层次中的不同属性,结合某一时刻该情感的强度,可以唯一确定情感状态;通过分析得出现存情感理论的应用大多模拟和借鉴低级情感对环境刺激的反应机理,提出决策或群体决策的求解过程会受高、中、低三级情感的影响,个体情感不仅影响组织行为,而且会导致群体情感的产生,情感研究的最

(下转第 170 页)

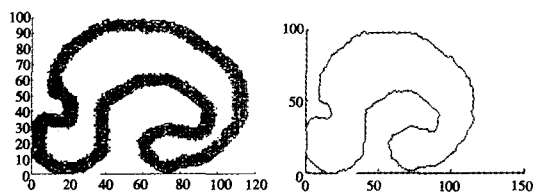


图9 边界提取

主曲线拟合时,如果增加尖点和较大曲率点的搜索,算法的运行效率将可获得进一步的细化和改进。更进一步,如能将算法推广至连通区域的内外边界的提取,辅以适当拓扑工具,便可对一般平面内有界的封闭图形的分类与识别有所帮助。另外把该算法推广到三维空间主曲面的情形,将为拓扑方法在模式识别中的应用开辟一个广阔的天地,这也是我们亟待解决的难题。

参考文献

- 1 Hastie T, Stuetzle W. Principal curves [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1989, 84(406): 502~516
- 2 Banfield J D, Raftery A E. Ice floe identification in satellite images using mathematical morphology and clustering about principal curves [J]. *Journal of the American Statistical Association*,

- 1992, 87:7~16
- 3 Tibshirani R. Principal curves revisited [J]. *Statistics and Computation*, 1992, 2:183~190.
- 4 Delicado P. Principal curves and principal oriented points [Z]: [Technical Report]. 309. Depart d'Economia I Empresa, Universitat Pompeu Fabra, 1998
- 5 Kegl B, Krzyzak A, et al. A polygonal line algorithm for constructing Principal curves. In: *Proceedings of Neural Information Processing Systems* [J], Dever Colorado, USA, 1999. 501~507
- 6 Chang K, Ghosh J. Principal curves for nonlinear feature extraction and classification. In: *Applications of Artificial Neural Networks in Image Processing III*, 1998, 3307: 120~129
- 7 张军平,王珏. 主曲线研究综述[J]. *计算机学报*, 2003, 26(2)
- 8 倪劲松,李玉珍,王宜怀. 自组织拓扑映射与主曲线学习[J]. *计算机科学*, 2006(3)
- 9 de Berg M, van Kreveld M, Overmars M, et al. *计算几何——算法与应用*. 第二版. 北京:清华大学出版社,2005
- 10 虞言林,杨松林. *解析几何*[M]. 北京:科学出版社,2005
- 11 Graham R L. An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set [J]. *Inform Process Lett*, 1972, 1:132~133
- 12 倪劲松,李玉珍. 曲线状分布数据集凹点挖掘算法分析. 将发表

(上接第 157 页)

终目标将是建立具有情感的决策系统。MAS 的智能性、自治性和协作性决定其必然成为构建具有情感的决策系统的基础,所以本文分别提出具有情感属性的个体 Agent 模型和由个体 Agent 构建的具有情感控制功能的 MAS 决策系统模型,情感因素既是个体 Agent 的内部特性,又是决策过程中 Agent 之间的控制机制。将情感作用嵌入到基于 Agent 的决策系统的单元内部属性和外部功能模块将使决策求解过程更加合理、有效。

参考文献

- 1 Martinez-Miranda J, Aldea A. Emotions in human and artificial intelligence. *Computers in Human Behavior*, 2005, 21: 323~341
- 2 Damasio A. *Descartes' error: Emotion, reason and the human brain*. Picador, 1994
- 3 Goleman D. *Emotional intelligence*. New York: Bantam Books, 1995
- 4 El-Nasr M S, Ioerger T, Yen J, et al. Emotionally expressive Agents. In: *Proceedings of Computer Animation*, 1999. 48~57
- 5 El-Nasr M S, Yen J, Ioerger T R. FLAME—Fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and multi-Agent systems*, 2000, 3:219~257
- 6 Canamero D. Designing emotions for activity selection in autonomous Agents. In: *Trappl R, Petta P, Payr S, eds. Emotions in humans and artifacts*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2003
- 7 Picard R W. *Affective computing*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997
- 8 Canamero D. A Hormonal model of emotions for behaviour control. In: *Fourth European Conference on Artificial Life, ECAL'97*. 1~10
- 9 Wooldridge M, Jennings N R. *Intelligent Agents: Theory and Practice*. *The Knowledge Engineering Review*, 1995, 10(2): 115~152
- 10 宋亦旭,贾培发. 人工情感及其应用. *控制理论与应用*, 2004, 21(2): 315~320
- 11 谷学静,石志国,王志良. 基于 BDI Agent 技术情感机器人语音识别技术研究. *计算机应用研究*, 2003. 24~26
- 12 许远理,郭德俊. 浅谈情绪智力与人工智能中的感情计算. *心理科学进展*, 2004, 12(2): 209~214

- 13 Barsade S G, Gibson D E. Group emotion: A view from top and bottom. In: *Gruenfeld D, Mannix E, Neale M, eds. Research on managing groups and teams*. Stamford, CT: JAI Press, 1998. 81~102
- 14 Kelly J R, Barsade S G. Mood and Emotions in Small Groups and Work Teams. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 2001, 86(1): 99~130
- 15 Forgas J P, George J M. Affective Influences on Judgments and Behavior in Organizations: An Information Processing Perspective. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 2001, 86(1): 3~34
- 16 Forgas J P. Affect in social judgments and decisions: A multi-process model. In: *Zanna M, ed. Advances in experimental social psychology*, 1992, 25: 227~275
- 17 George J M, Brief A P. Motivational agendas in the workplace: The effects of feelings on focus of attention and work motivation. In: *Staw B M, Cummings L L, eds. Research in organizational behavior*, 1998, 18: 75~109
- 18 LeDoux J E. *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. New York: Simon & Schuster, 1996
- 19 Adolphs R, Damasio A R. The interaction of affect and cognition: A neurobiological perspective. In: *Forgas J P, ed. The handbook of affect and social cognition*, 2001. 27~49
- 20 Bower G H. Mood congruity of social judgments. In: *Forgas J P, ed. Emotion and social judgments*. New York: Pergamon Press, 1991. 31~53
- 21 Dal Forno A, Merlone U. Incentive policy and optimal effort: Equilibrium in heterogeneous Agents populations. *Quaderni del Dipartimento di Statistica e Matematica Applicata*, 2001. 10
- 22 Goleman D. *Working with emotional intelligence*. New York, 1999
- 23 Picard R W. *Affective computing*. [Technical Report]. No. 321. M. I. T. Media Laboratory Perceptual Computing Section, 1995
- 24 刘明,许力. 人工情感在 Agent 行为选择策略中的应用. *江南大学学报(自然科学版)*, 2003, 2(6): 564~568
- 25 王宏. 基于人工心理理论的情感模型建立及其数值仿真. *计算机应用*, 2004, 24: 369~371
- 26 王志良,解仑,董平. 情感计算数学模型的研究初探. *计算机工程*, 2003, 30(21): 33~35
- 27 宋亦旭,贾培发. 基于人工情感的拟人机器人控制体系结构. *Robot*, 2004, 126(6): 491~495
- 28 涂晓媛. *计算机动画的人工生命方法*. 北京:清华大学出版社, 2001