

doi:10.3969/j.issn.1673-4785.2010.01.002

# 人机交互中的个性化情感模型

王巍,王志良,郑思仪,谷学静  
(北京科技大学信息工程学院,北京 100083)

**摘要:**人与机器人的交互过程中,情感因素的引入能够使人机交流更加自然和谐.因此,完整的人工情感模型的建立是首要解决的问题.基于情感能量理论基础,首先,提出了心境自发转移和刺激转移模型.其次,结合情绪自发转移的马尔可夫链模型和刺激转移的HMM模型,将心境和情绪的自发和刺激转移过程统一在一个框架下.最后,将完整的人工情感模型软件化并应用于儿童玩伴机器人上,在接受非结构化环境与用户的信息输入后,个性化的情感软件模块产生输出,实现针对儿童用户的玩伴机器人个性化交互,通过应用验证了该模型的有效性.

**关键词:**情感计算;人工心理;心境;人机交互;个性化交互

**中图分类号:** TP31;TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2010)01-0010-07

## Affective model in human-robot interaction

WANG Wei, WANG Zhi-liang, ZHENG Si-yi, GU Xue-jing

(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Better understanding of affective factors is needed before human-robot interaction (HRI) can be completely natural and harmonious. Establishing a complete HRI affective model is a prerequisite to this understanding. First, based on the theory of affective energy, a mood spontaneous metastasis and stimulus transfer model was proposed. Next, by combining the emotional Markov chain model and the hidden Markov model (HMM), the spontaneous metastasis and stimulus transfer process of mood and emotion was integrated into a unified framework. Finally, the complete artificial affective models were turned into software modules using Visual C++ and these modules were used to control robotic playmates for children. After receiving non-constructive information from the environment and users, the affective module produced output. In this way the interaction between robotic playmates and children was better managed.

**Keywords:** affective computing; artificial psychology; mood; human-robot interaction (HRI); personal interaction

为了真正实现自然和谐的人机交互,迫切要求机器人在进行交互服务过程中具有更强的人性化.而目前,这方面相关的工作开展得还很少.机器人个性化交互服务技术是一个亟待解决的问题.美国麻省理工学院所研制的 Kismet 机器人<sup>[1]</sup>,通过所建立的环境、内部刺激和行为动作的认知心理模型,对外界输入的刺激和内部需要进行综合判断,从而引起表现行为的各种变化.日本早稻田大学开发的儿童玩伴机器人,根据所建立的儿童大脑结构化模型,通

过外部和内部的刺激相应地改变其情绪状态,而后由多种方式表达出来,并通过非线性计算所产生的内部钟来表述心境矢量的激活成分.个人机器人不仅应当具有智能行为(智能机器人),而且还要具有情感、性格、意志、创造等心理活动(情感机器人),甚至还可进化其智能及情感行为(进化机器人)<sup>[2]</sup>.国内的研究中,滕少冬提出了情绪状态的马尔可夫链自发转移模型和 HMM 刺激转移模型<sup>[3]</sup>,但未对情感的另一部分——心境进行研究.本文完善了心境模型,并对文献[3]和本文提出的心境模型软件化,实现了完整的人工情感状态的连续产生.软件在机器人的后台运行,能够在接受非结构化环境与用户的信息输入后,产生个性化的输出,实现特定用户

收稿日期:2009-06-06.

基金项目:国家高技术研究发展计划资助项目(2007AA04Z218);国家自然科学基金资助项目(60573059).

通信作者:王巍. E-mail: wangwei8311@163.com.

的机器人个性化交互。

## 1 个性化情感模型研究基础

由于情感可划分为心境 (Mood) 和情绪 (Emotion) 2 个广泛的分类, 因此其转移过程在不同条件下可分为 4 种, 如图 1 所示。

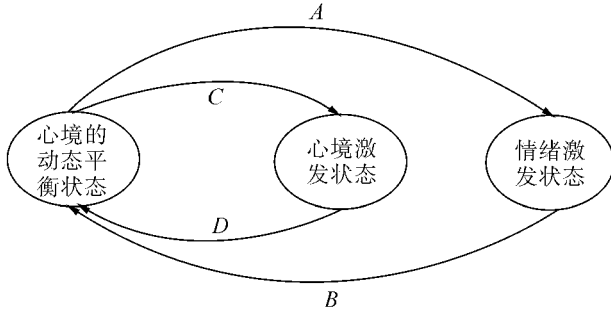


图 1 心境与情绪状态转移图

Fig. 1 Mood and emotion state transferring graph

图 1 展现了 4 个过程: 1) 情绪状态刺激转移: 在外部事件刺激下, 情感状态由心境的动态平衡状态移到某种激发水平的情绪激发状态, 由 A 线表示; 2) 情绪状态自发转移: 当外界刺激作用结束后, 某种情绪状态将在一定时间内由激发状态自发地转移到心境的动态平衡状态, 由 B 线表示; 3) 心境状态刺激转移: 在某种特异性外部事件刺激下, 心境状态将在以心境的动态平衡状态为中心的一定的范围内发生转移, 由 C 线表示; 4) 心境状态自发转移: 在外界刺激消失后, 某种心境激发状态将在一定的时间内自发地向心境动态平衡状态转移, 由 D 线表示。

综合上述 4 个过程, 针对儿童用户的玩伴机器人包含 4 个个性化情感模型, 分别是: 1) 情绪状态刺激转移过程的随机过程模型; 2) 情绪状态自发转移过程的马尔可夫链模型; 3) 心境状态刺激转移的控制论模型; 4) 心境状态自发转移的动态平衡模型。4 个模型相辅相成, 在 4 个过程中共同作用。它们的理论基础却是一致的。在心理学中心理能量观点的基础上, 滕少冬提出了情感能量的概念<sup>[4]</sup>。它是本文个性化情感模型建立的出发点和基础。

心理能量就是推动个体进行各种心理活动以及行为的能力, 用  $E$  表示。它有 2 种基本表现形式: 1) 自由的心理能量  $E_\eta$ ; 2) 受约束的心理能量  $E_\lambda$ <sup>[4]</sup>。它们满足:

$$E_\lambda = \lambda E, E_\eta = \eta E, \eta + \lambda = 1. \quad (1)$$

则情感能量可以用式(2)表示:

$$E_p = E_\eta + \gamma E_\lambda = (1 - \lambda)E + \gamma\lambda E = (1 - \lambda + \gamma\lambda)E. \quad (2)$$

同时, 设  $E_p^t = [E_{p1}^t \ E_{p2}^t \ \cdots \ E_{pN}^t]$  为  $t$  时刻实际表现出的情感强度绝对分布向量。此向量的求解在后面介绍。

根据巴浦洛夫高级神经学说, 由于生理的原因, 人的大脑神经细胞在兴奋与抑制 2 种状态之间按一定的生理机制呈周期性地变化。伴随着这种变化, 个体的意识状态也将在清醒与不清醒之间进行转化, 从而使得情感能量  $E_p$  在表达的时候, 其表现程度也呈现出周期性地变化。把由

$$E_p^\alpha = \alpha E_p = \alpha(1 - \lambda + \gamma\lambda)E \quad (3)$$

定义的情感能量称为生理性激活的情感能量, 它是实际用于表现情绪的情感能量, 称  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) 为生理性唤醒度。把由

$$E_p^\beta = \beta E_p = \beta(1 - \lambda + \gamma\lambda)E \quad (4)$$

定义的情感能量称为生理性抑制的情感能量, 它是用于表现心境的情感能量, 称  $\beta$  ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) 为生理性抑制度。且有

$$\alpha + \beta = 1. \quad (5)$$

$\alpha$  和  $\beta$  主要由生理机制进行周期性地调节, 即“生物钟”的调节。另外,  $\alpha$  和  $\beta$  还会受到某些外界刺激的干扰。心理能量以及情感能量的各种形式以及转化关系如图 2 所示。

从动力心理学的观点来看, 个体产生各种不同情绪的过程, 实际上就是激活的情感能量  $E_p^\alpha$  在不同情绪状态之间的动态分配的过程, 图 2 的左下部分反映了这样的关系。

称  $E_p^\alpha = [E_{p1}^\alpha \ E_{p2}^\alpha \ \cdots \ E_{pN}^\alpha]$  为  $t$  时刻实际表现的情绪强度绝对分布向量,  $|E_{pi}^\alpha| \in (0, 1)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 是激活的情感能量在各维度的能量值分量。根据情感能量守恒定律, 有式(6)成立:

$$\sum_{i=1}^N |E_{pi}^\alpha| = E_p^\alpha. \quad (6)$$

生理性抑制的情感能量  $E_p^\beta$  在积极心境与消极心境之间变化, 由其引起的心境强度变化如图 2 的右下部分所示。

相应地, 称  $E_p^\beta = [E_{p1}^\beta \ E_{p2}^\beta \ \cdots \ E_{pN}^\beta]$  为  $t$  时刻实际表现的心境强度绝对分布向量, 并设与积极情绪对应的心境个数是  $m$ , 与消极情绪对应的心境个数是  $n$ , 则  $m + n = N$ 。其中:

$$E_{pi}^{\beta t} = \begin{cases} \frac{M_p^{\beta t}}{m}, & \text{condition 1;} \\ -\frac{M_p^{\beta t}}{n}, & \text{condition 2.} \end{cases}$$

式中:condition 1 是指分量  $i$  若属于积极心境;condition 2 是指分量  $i$  若属于消极心境; $M_p^{\beta t}$  为  $t$  时刻的心境强度,其计算方法在后面介绍。

$|E_{pi}^{\beta t}| \in [0, 1]$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) 是生理性抑制的情感能量在各维度的能量值分量. 则根据情感能量守恒定律,有式(7)成立:

$$\sum_{i=1}^N |E_{pi}^{\beta t}| = E_p^{\beta t}. \quad (7)$$

设  $0 \leq E_{pi}^{\alpha t} \leq 1$ ,  $-1 \leq E_{pi}^{\beta t} \leq 1$  并定义了3种运算:  $+$ 、 $-$ 、 $\Delta$ . 其中,  $+$ 、 $-$  运算和实数域  $\mathbf{R}$  中的加法和减法运算相似,但加法不具有交换律性质. 即  $\forall E_{pi}^{\alpha t} \in$

$[0, 1]$ ,  $E_{pi}^{\beta t} \in [-1, 1]$  时,  $E_{pi}^{\alpha t} + E_{pi}^{\beta t} \neq E_{pi}^{\beta t} + E_{pi}^{\alpha t}$ .  $\Delta$  运算定义为

$$\Delta(E_{pi}^{\alpha t}, E_{pi}^{\beta t}) = \begin{cases} 1, & E_{pi}^{\alpha t} + E_{pi}^{\beta t} \geq 1; \\ E_{pi}^{\alpha t} + E_{pi}^{\beta t}, & 0 < E_{pi}^{\alpha t} + E_{pi}^{\beta t} < 1; \\ E_{pi}^{\alpha t} - E_{pi}^{\beta t}, & 0 < E_{pi}^{\alpha t} - E_{pi}^{\beta t} < 1; \\ 0, & E_{pi}^{\alpha t} - E_{pi}^{\beta t} \leq 0. \end{cases}$$

由于情感可划分为心境和情绪,则  $t$  时刻的情感强度定义为

$$\begin{aligned} E_p^t &= [E_{p1}^t \ E_{p2}^t \ \dots \ E_{pN}^t] = \\ &\Delta([E_{p1}^{\alpha t} \ E_{p2}^{\alpha t} \ \dots \ E_{pN}^{\alpha t}], [E_{p1}^{\beta t} \ E_{p2}^{\beta t} \ \dots \ E_{pN}^{\beta t}]) = \\ &[\Delta(E_{p1}^{\alpha t}, E_{p1}^{\beta t}) \ \Delta(E_{p2}^{\alpha t}, E_{p2}^{\beta t}) \ \dots \ \Delta(E_{pN}^{\alpha t}, E_{pN}^{\beta t})]. \end{aligned} \quad (8)$$

由式(8)可知,  $t$  时刻的情感强度与心境强度和情绪强度有关,根据上述的4个转移过程,它们的求解在下面将分别进行介绍。

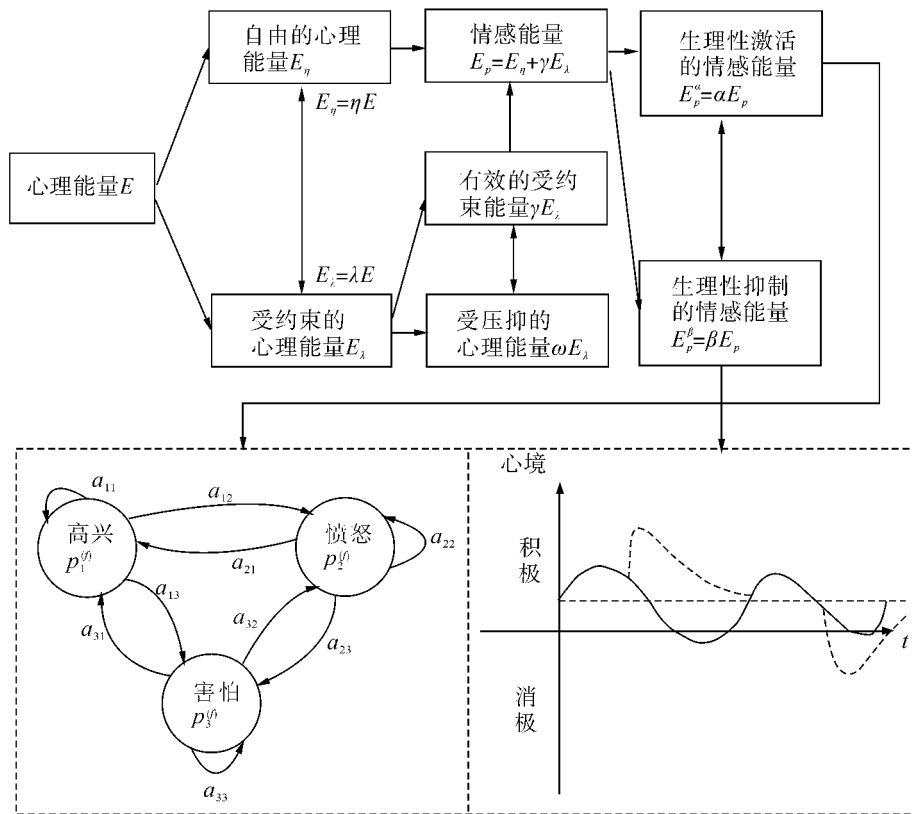


图2 情感能量的各种形式以及转化关系图

Fig. 2 Various kinds of affective energy and changing graph

## 2 心境自发转移

Larsen 认为,平均的、稳定的心境特征并没有真实地反映个体的心境特征,心境随着时间的推移,其性质(好或不好)以及强度(弱或极度)是变化的<sup>[5]</sup>. Parkinson 认为与心境动态性有关的理论有动态平

衡理论、社会牵引理论和非线性动态理论. 并把影响心境的因素分为3类,其中之一来自个体内源性因素,如人格和生理因素<sup>[6]</sup>. 本文中的心境自发转移模型就是从个体内源性角度建立的。

### 2.1 人格对心境的影响

对不同的人而言,所体验到的心境可能不同,换

句话说存在着个体差异,这种差异来自于相对稳定的人格.同时,人格特征又决定了心境水平和心境变化性,心境自发地在相对稳定的心境特征水平附近波动.我们用  $C$  表示由人格决定的心境特征水平,如图2右下部分的横线描述.由多种因素的影响, $C$  在积极和消极的分界线左右一定范围内变动,本文中假设  $C \in [-1, 1]$ .

## 2.2 生理因素对心境的影响

个体的生理性周期变化会引起心境在积极与消极之间随时间  $t$  波动<sup>[7]</sup>.

1) 心境的昼夜波动.根据 Watson 的研究,积极心境在一天中的趋势是早上较低,而后在一天中的某个时间上升到最大值;接着逐渐下降,在晚上达到最低.此过程用一余弦函数  $\sigma \cos(\omega_1 t)$  表示.其中,  $\sigma$  是心境的昼夜影响因子,  $2\pi/\omega_1$  是心境的昼夜波动周期.

2) 心境的周变化.根据 Larsen 与 Kasimatis 的研究发现,具有正弦波的 7 天间隔解释了日常心境的变化.积极心境在周五达到顶峰,在周二处于最低.此过程用一正弦函数  $\zeta \sin(\omega_2 t)$  表示.其中,  $\zeta$  是心境的周变化影响因子,  $2\pi/\omega_2$  是心境的周变化周期.

3) 心境的月变化.主要是针对女性的月经周期循环的心境效应,因此,此项对心境的影响是个性化的,具有性别差异.此过程用一正弦函数  $\tau \sin(\omega_3 t)$  表示.其中,  $\tau$  是心境的月变化影响因子,  $2\pi/\omega_3$  是心境的月变化周期.

4) 心境的季节变化. Watson 认为在理论上积极情感应该有一个显著的季节模式.春季的积极心境水平较高,接着在夏季和秋季逐渐下降,最终达到冬季的最低点.此过程用一正弦函数  $v \sin(\omega_4 t)$  表示.其中,  $v$  是心境的季节变化影响因子,  $2\pi/\omega_4$  是心境的季节变化周期.

且有  $\sigma, \zeta, \tau, v \in [0, 1]$ ,  $\sigma + \zeta + \tau + v = 1$ ,  $\omega_1 = 7\omega_2 = 30\omega_3 = 365\omega_4$ .本文中,对于男性用户,取  $\sigma = 0.7, \zeta = 0.2, \tau = 0, v = 0.1$ ;对于女性用户,取  $\sigma = 0.5, \zeta = 0.2, \tau = 0.2, v = 0.1$ .由于心境的变化缓慢且某一心境常常能持续一段时间,因此,在本文中,每隔 1 小时计算一次心境量值,心境的昼夜波动模型中,周期取 24 小时,则  $\omega_1 = 2\pi/24$ .

## 2.3 心境自发转移模型

人格和生理因素对心境的动态变化共同产生影响,设心境的人格影响因子为  $\psi$ ,心境的生理因素影

响因子为  $\xi$ ,且有

$$\psi \in (0, 1), \xi \in (0, 1), \psi + \xi = 1. \quad (9)$$

建立的心境自发转移模型为

$$M_p^{\beta t} = \xi [\sigma \cos(\omega_1 t) + \zeta \sin(\omega_2 t) + \tau \sin(\omega_3 t) + v \sin(\omega_4 t)] + \psi \cdot C. \quad (10)$$

$M_p^{\beta t}$  动态变化范围的确定:

因为

$$\begin{cases} \sigma \cos(\omega_1 t) \in [-\sigma, +\sigma], \\ \zeta \sin(\omega_2 t) \in [-\zeta, +\zeta], \\ \tau \sin(\omega_3 t) \in [-\tau, +\tau], \\ v \sin(\omega_4 t) \in [-v, +v]. \end{cases}$$

所以

$$\begin{aligned} & [\sigma \cos(\omega_1 t) + \zeta \sin(\omega_2 t) + \tau \sin(\omega_3 t) + v \sin(\omega_4 t)] \in \\ & [(-\sigma - \zeta - \tau - v), (\sigma + \zeta + \tau + v)] = \\ & [-(\sigma + \zeta + \tau + v), (\sigma + \zeta + \tau + v)] = [-1, 1]. \end{aligned}$$

因为  $C \in [-1, 1]$ , 所以

$$\begin{aligned} M_p^{\beta t} & \in [(-\xi - \psi), (\xi + \psi)] = \\ & [-(\xi + \psi), (\xi + \psi)] = [-1, 1]. \end{aligned} \quad (11)$$

文中,取  $\psi = 0.5, \xi = 0.5$ .

以上参数中,  $\omega_i, i \in \{1, 2, 3, 4\}$  取值较大时,相应的生理性周期变化引起的心境随着时间  $t$  的波动周期越小,即心境变化性越强.

## 3 心境刺激转移

在外部因素事件和情境刺激下,心境和情绪都受到影响,但其变化过程是有区别的:第一,持续时间上的差别;第二,相对强度上的差别;第三,信号功能上的差异.在文献[4]中,对于情绪受激后的变化过程,利用 HMM 这个双重随机过程来构造情绪状态刺激转移过程的情感模型,用 HMM 的前向和后向算法来模拟情绪在外界刺激下的变化规律,这一方法在后面将会介绍;对于心境受激后的变化过程,则采用控制论的调整策略进行研究.

Larsen 提出应将控制理论应用到心境调节的动态过程中<sup>[8]</sup>.本文根据此观点对心境的刺激转移过程建模.

根据已有研究,心境对刺激的反应强度是略微平缓的,一阶惯性环节更适合描述.

本文中,定义心境的刺激转移模型为

$$TM_p^{\beta t} + M_p^{\beta t} = E_{\text{event}}(t). \quad (12)$$

式中:  $T$  称为心境转移时间常数,它是表征心境发生

转移惯性的一个重要参数. 有研究发现, 女性可能比男性更容易受情绪传染或影响, 因此,  $T$  参数也是男女性别差异对心境的影响参数之一, 是个性化参数. 后面将会介绍此参数对心境激发子过程的影响.  $E_{\text{event}}(t)$  是外源性因素 (如工作方式、生活事件、家中变故等) 对心境的影响强度. 心境的刺激转移过程分为 2 个子过程.

### 3.1 心境激发子过程

该子过程与一个零状态响应过程类似. 假设心境在  $t$  时刻受某一外源性因素激发时, 心境强度初值为  $M_p^{\beta_0} \in [-1, 1]$ , 则事件影响强度为

$$E_{\text{event}}(t) = \begin{cases} 1 - M_p^{\beta_0}, & \text{event 为积极情绪事件;} \\ -1 - M_p^{\beta_0}, & \text{event 为消极情绪事情.} \end{cases} \quad (13)$$

在此条件下, 求解式 (12) 表示的心境刺激转移模型:

$$\begin{aligned} L[TM_p^{\beta_s} + M_p^{\beta_s} = E_{\text{event}}(t)] &\Rightarrow \\ T(sM_p^{\beta_s} - M_p^{\beta_0}) + M_p^{\beta_s} &= E_{\text{event}}(s) \Rightarrow \\ T(sM_p^{\beta_s} - 0) + M_p^{\beta_s} &= E_{\text{event}}(s) \Rightarrow \\ (Ts + 1)M_p^{\beta_s} &= \frac{E_{\text{event}}(t)}{s} \Rightarrow \\ M_p^{\beta_s} &= \frac{E_{\text{event}}(t)}{s} \cdot \frac{1}{(Ts + 1)}. \end{aligned}$$

$$\text{所以 } M_p^{\beta_s} = L^{-1}\left[\frac{E_{\text{event}}(t)}{s} \cdot \frac{1}{(Ts + 1)}\right] = E_{\text{event}}(t) \cdot [1 - e^{-t/T}]. \quad (14)$$

式中:  $L[\cdot]$ 、 $L^{-1}[\cdot]$  分别为拉普拉斯变换和反变换.

根据心理学中情绪反应的时间动力性的基本概念, 可以定义心境中相应的概念:

1) 称  $T_s$  为心境反应调节时间,  $T_s \approx 4T$ . 这个参数表达了心境从初始强度  $M_p^{\beta_0}$  变化到  $-0.98$  或  $0.98$  ( $-1$  或  $+1$  的  $\pm 2\%$ ) 的最短时间.

2) 称  $T_d$  为心境反应延迟时间,  $T_d \approx 0.69T$ . 这个参数表达了心境从初始强度  $M_p^{\beta_0}$  第一次达到  $E_{\text{event}}(t) \times 50\%$  所需的时间.

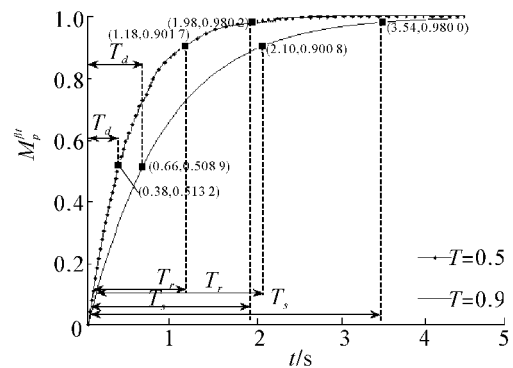
3) 称  $T_r$  为心境反应上升时间,  $T_r \approx 2.20T$ . 此参数表达了心境从强度  $M_p^{\beta_0} + E_{\text{event}}(t) \times 10\%$  第一次上升达到  $M_p^{\beta_0} + E_{\text{event}}(t) \times 90\%$  所需时间 (event 是积极情绪事件), 或从强度  $M_p^{\beta_0} + E_{\text{event}}(t) \times 10\%$  第一次下降达到  $M_p^{\beta_0} + E_{\text{event}}(t) \times 90\%$  所需时间 (event 是消极情绪事件).

根据上述的 3 个定义, 可以看到心境反应调节时间的快慢, 心境反应延迟时间和心境反应上升时

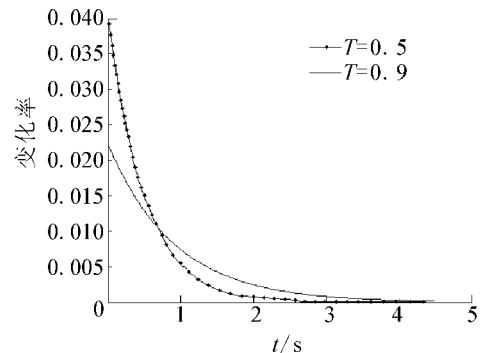
间的长短, 可能包含了重要的个体差异信息. 这 3 个值都与心境转移时间常数  $T$  有关. 因此,  $T$  参数是男女性别差异对心境的影响参数之一, 是个性化参数, 其大小对心境激发子过程是有影响的.

图 3(a) 是当  $T = 0.5$  和  $T = 0.9$ ,  $E_{\text{event}}(t) = 1$  时, 心境激发子过程. 从图中可以看出, 心境反应调节时间、心境反应延迟时间和心境反应上升时间均不同, 反映了男女性别差异对心境的影响.

心境强度  $M_p^{\beta_s}$  在某一外源性因素的持续激发下不断变大, 表现出了事件的影响随时间的积累作用. 但其变化率却不断变小, 即影响随时间变小, 表明了心境在某一特定时间刺激下, 越来越不敏感, 对此事件的发生变得麻木, 如图 3(b) 所示.



(a) 心境激发子过程



(b) 强度变化率

图3 心境激发子过程与强度变化率

Fig.3 Mood stimulating process and change rate of strength

### 3.2 心境衰减子过程

该子过程与一个零输入响应过程类似, 出现在心境激发子过程之后. 假设在  $t$  时刻外源性因素对心境的影响消失, 即  $E_{\text{event}}(t) = 0$ , 且消失时的心境强度初值为  $M_p^{\beta_0} \in [-1, 1]$ .

在此条件下, 求解式 (12) 表示的心境刺激转移模型:

$$L[TM_p^{\beta_s} + M_p^{\beta_s} = E_{\text{event}}(t)] \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} T(sM_p^{\beta s} - M_p^{\beta_0}) + M_p^{\beta s} &= 0 \Rightarrow \\ (Ts + 1)M_p^{\beta s} &= TM_p^{\beta_0} \Rightarrow \\ M_p^{\beta s} &= TM_p^{\beta_0} \cdot \frac{1}{(Ts + 1)}. \end{aligned}$$

所以

$$M_p^{\beta t} = L^{-1} \left[ TM_p^{\beta_0} \cdot \frac{1}{(Ts + 1)} \right] = M_p^{\beta_0} e^{-t/T}. \quad (15)$$

式中: $L[\cdot]$ 、 $L^{-1}[\cdot]$ 分别是拉普拉斯变换和反变换.

为了便于计算机实现心境刺激转移模型,在本文中,需要求解微分方程式(12)的差分方程形式.根据式(12),有

$$T \frac{dM_p^{\beta t}}{dt} + M_p^{\beta t} = E_{\text{event}}(t), \quad (16)$$

$$\frac{dM_p^{\beta t}}{dt} = \frac{E_{\text{event}}(t) - M_p^{\beta t}}{T}. \quad (17)$$

根据欧拉法,可得

$$M_p^{\beta(k+1)} = M_p^{\beta k} + h \frac{E_{\text{event}}(k) - M_p^{\beta k}}{T}. \quad (18)$$

式中: $h$ 称为步长,是计算心境强度的间隔时间,本文中取 $h=0.02$ .

这种微分方程差分化,可以为人工心理模型在计算机上的应用带来方便,但也会带来一定误差,如表 1、2 所示.

表 1 差分化后的误差(心境激发子过程)

Table 1 Error after differencing (mood triggering process)

$n$	$t_n$	$M_p^{\beta k}$	$M_p^{\beta k}$	$\varepsilon = M_p^{\beta k} - M_p^{\beta k}$
0	0.00	0.000 0	0.000 0	0.000 0
1	0.02	0.039 2	0.040 0	-0.000 8
2	0.04	0.076 9	0.078 4	-0.001 5
3	0.06	0.113 1	0.115 3	-0.002 2
4	0.08	0.147 9	0.150 7	-0.002 8
5	0.10	0.181 3	0.184 6	-0.003 3

表 2 差分化后的误差(心境衰减子过程)

Table 2 Error after differencing (mood regression process)

$n$	$t_n$	$M_p^{\beta k}$	$M_p^{\beta k}$	$\varepsilon = M_p^{\beta k} - M_p^{\beta k}$
0	0.00	0.981 7	0.983 8	-0.002 1
1	0.02	0.943 2	0.944 5	-0.001 3
2	0.04	0.906 2	0.906 7	-0.000 5
3	0.06	0.870 7	0.870 4	0.000 3
4	0.08	0.836 5	0.835 6	0.000 9
5	0.10	0.803 7	0.802 2	0.001 6

从表 1、2 中看到,微分方程差分化后的误差为 $10^{-3}$ 数量级,因此,仍采用差分的方法计算 $t$ 时刻的情感强度,以便于情感计算的计算机实现.

## 4 针对特定用户的个性化情感

### 4.1 完整情感模型与情感滤波器

根据文献[4]的研究,在概率空间的基础上,可将情绪的变化过程看成一个随机过程,并进一步用马尔可夫链来描述情绪状态自发转移过程,进而给出基本方程以及计算方法.

实验中,将以儿童玩伴机器人平台,通过应用来验证模型的有效性.情感的发生通常都是混合的.儿童玩伴机器人在 $t$ 时刻究竟处于那种情绪状态,可由 $E_p^{\alpha}$ 中的各个分量的相对大小来确定.本文中,取情感维度中最大强度值对应的情感状态为需要表达的情感.

以上的情绪状态刺激转移模型、情绪状态自发转移模型、心境状态刺激转移模型、心境状态自发转移模型和情感滤波器,共同组成了一个完整的人工情感模型体系.

### 4.2 个性化人工情感软件

基于上述理论,开发了一个针对特定用户的机器人个性化情感模型软件,如图 4 所示.

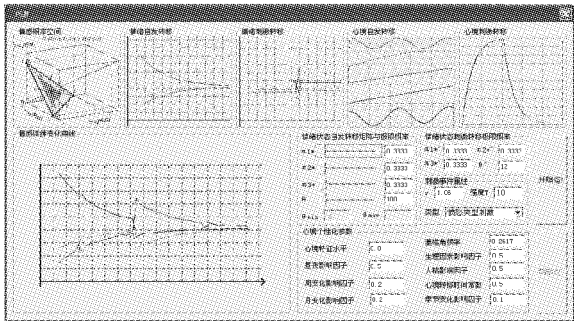


图 4 人工情感软件

Fig. 4 Artificial emotion software

此软件应用于儿童玩伴机器人中,在用户与其对话、触摸、动作等交互方式的激励信息下,通过情感软件模块,产生个性化的输出.例如,控制机器人产生表情,如图 5 所示,实现个性化的交互.

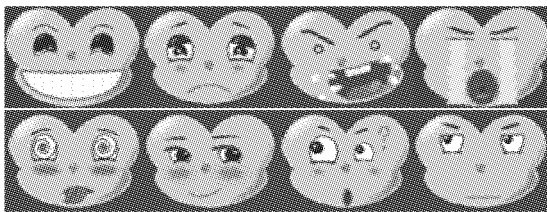


图 5 情感控制机器人产生表情

Fig. 5 Facial expression controlled by affection

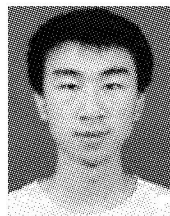
## 5 结束语

本文以情感能量为出发点,从个体内源性因素角度建立心境自发转移模型,从控制论的角度建立心境刺激转移模型.由于是从情感能量为出发点进行推演,为所提出的心境模型与情绪模型的结合创造了条件.为此,把心境、情绪4个模型统一到一个框架下,并进行软件化,开发了个性化人工情感软件系统,并将其应用于机器人情感控制方面.人格和生理因素影响心境的自发转移过程,心境转移时间常数 $T$ 也影响到刺激转移过程.通过调整模型中的参数,可以实现具有个体差异性的情感表达.以儿童陪伴机器人为实验平台,通过应用验证了模型的有效性.本文提出的心境模型以及开发的软件系统,可用于服务机器人、家用机器人等需要个性化的人机交互的领域.其中,模型参数的合理选取与模型的应用领域的拓展也是今后有待进一步深入研究的方向.

## 参考文献:

- [1] BREAZEAL C, SCASSELLATI B. A context-dependent attention system for a social robot [C]//Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (ICAI 99). Stockholm, Sweden, 1999: 1146-1151.
- [2] 王志良. 人工心理学—关于更接近人脑工作模式的科学[J]. 北京科技大学学报, 2000, 22(5): 478-483.  
WANG Zhiliang. Artificial psychology—science of more attainable working mode to human brain[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2000, 22(5): 478-483.
- [3] WANG Zhiliang, TENG Shadong, WANG Li, et al. The research of affective computing model based on Markov chain[J]. International Journal of Psychology, 2004, 39(5/6): 72.
- [4] 滕少冬. 应用于个人机器人的人工情感模型研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2006.  
TENG Shadong. Research on artificial psychology model applied in personal robot[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2006.
- [5] LARSEN R J. The stability of mood variability: a spectral analytic approach to daily mood assessment[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1987, 52(6): 1195-1204.
- [6] PARKINSON B, TOTERDELL P, BRINER R B, et al. Changing moods: the psychology of mood and mood regulation[M]. Harlow, UK: Longman, 1996.
- [7] 李冬梅. 青少年心境动态发展特点及不同调节策略对其心境变化影响的研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2005.  
LI Dongmei. Research on the mood changes impacted by mood dynamic development character of young people and their different regulation strategy[D]. Beijing: Capital Normal University, 2005.
- [8] LARSEN R J. Toward a science of mood regulation[J]. Psychology Inquiry, 2000, 11(3): 129-141.

### 作者简介:



王 巍, 男, 1983年生, 博士研究生, 主要研究方向为情感计算与人工情感、人工智能、机器人、优化理论.



王志良, 男, 1956年生, 国家二级教授、博士生导师、博士, 北京科技大学电子信息系主任, 中国人工智能学会人工心理与人工情感专业委员会主任, 第一届国际情感计算和智能交互学术大会主席. 主要研究方向为人工心理及情感计算、服务机器人与数字技术、网络化的信息服务系统等. 近年来主持完成国家“863”计划、国家自然科学基金、国家科技攻关和国家“973”计划子项目等多项科研项目. 发表学术论文180余篇, 其中被SCI、EI检索60余篇, 出版专著5部.



郑思仪, 女, 1982年生, 博士研究生, 主要研究方向为人机交互、图形图像技术.