

隐马尔可夫情感模型的复合情绪生成

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

摘要:情感模型的建立,是产生人工情感的一种途径,也是和谐人机交互的基础.针对现有的隐马尔可夫情感模型仅能产生基本情绪的问题,提出了一种改进的模型,使其能够产生复合情绪.首先,放宽已有理论的假设条件,使得某种刺激可以引发多种基本情绪,并且2种基本情绪状态的强度可以同时增大,提高了模型的普适性;其次在引入辅助矩阵和可变阈值后,实现了情感模型的复合情绪生成.通过仿真试验,验证了该模型的有效性.

关键词:情感计算;人工心理;人工情感;隐马尔可夫情感模型

中图分类号: TP31; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2010)06-0545-06

Complex emotion generating of an emotion model based on HMM

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

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

Abstract: Emotion model building provides a way to generate artificial emotion. In addition, it is the foundation of natural human-robot interaction. In order to solve the problem of the existing hidden Markov model (HMM) only generating basic emotion, an improved model was proposed. It is capable of generating complex emotion. First, the hypothesis terms of the HMM emotion theory were softened, which made one stimuli trigger multiple emotions leading to a simultaneous increase in the intensity of two basic emotions, which universally enhanced the model. Second, an assistance matrix and variable threshold were introduced in order to implement complex emotion computing. Through experimentation, the effect of the model was verified.

Keywords: emotion computing; artificial psychology; artificial emotion; HMM emotional model

在情绪心理学理论的基础之上,定义描述情感的数学空间,在此空间里,采用数学理论方法,构造适于机器实现的情感计算理论方法,使之能够模拟人类的情感产生、变化、转移,并符合人类情感变化的规律,满足人类情感的需求.情感系统包括情绪获取、情感产生、情感表达3个内容,其中情感的产生需要情感建模理论^[1].

对于情感建模来说,目前国内外已有很多,如早期提出的最完整的OCC情绪模型^[2]、面部机器人Kismet的情感模型^[3-6]、Botelho提出的Salt&Pepper模型^[7]、以及WE4R机器人使用的情感模型等^[8-9].国内的有基于欧式空间的人工情感数学模

型^[10]、基于马尔可夫链和HMM的情感模型^[11]、基于随机事件处理的情感模型^[12]、基于自组织理论的人工心理模型等.此外,很多表情机器人也具有情感模型,如德国Kaiserslautern大学的ROMAN等^[13-15].

根据心理学的研究,情绪分为基本情绪和复合情绪.对于基本情绪的种类,不同的学者有不同的分类方法,如近代研究中常把快乐、愤怒、悲哀和恐惧列为情绪的基本形式,又称之为原始情绪.伊扎德的情绪理论发表于1972年,称基本情绪,包括兴趣、愉快、惊奇、悲伤、厌恶、愤怒、羞愧、恐惧和轻蔑.Ekman在《情绪的解析》中分章节叙述了人类共有的几种基本情绪:悲伤、痛苦、愤怒、惊讶、恐惧、厌恶、蔑视和愉悦.复合情绪由基本情绪的不同组合派生而成.如由愤怒、厌恶和轻蔑组合起来的复合情绪可表示为敌意;由恐惧、内疚、痛苦和愤怒组合起来的复合情绪可表示为焦虑等^[16-18].

收稿日期:2009-12-24.

基金项目:国家“863”计划资助项目(2007AA04Z218);国家自然科学基金资助项目(60903067)

通信作者:王巍. E-mail: wangwei8311@163.com.

通过研究文献[11]提出的基于HMM的情感模型,发现其仅能产生基本情绪,而无法生成复合情绪,因此,本文对此模型进行改进,同时适用于基本和复合情绪的产生,以增加模型的普适性。

1 隐马尔可夫情感模型

文献[11]在介绍弗洛伊德、荣格等心理学家创建的动力心理学的基础上,把动力心理学的心理能量的概念引入到情感建模的研究中,提出情感能量的概念并建立了情感状态的概率空间。为简化问题,建立便于机器实现的情感度量与计算模型,制造出具有初步基本的人类情感或能近似模拟人类的基本情感,能产生和谐与生动有趣的人机交互环境的情感机器,做了如下一些基本的假设和限定。

假设1 情感机器只具有人类的几种基本情绪状态。

假设2 即在外界刺激的作用下,情感机器的任意2种情绪状态之间是可以互相转移的。

假设3 某种刺激确定性地只引发某一种基本情绪,即刺激 V_i 只引发情绪 i 。各种刺激用 V_i 表示,刺激集合为

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_M\} = \{1, 2, \dots, M\}.$$

式中: $V_m = m(m = 1, 2, \dots, M)$ 。

假设4 各种基本情绪状态是互相排斥的。即刺激 $m = i$ 应使情绪状态 i 的强度增加,而其他情绪状态 $j(j \neq i, j = 1, 2, \dots, N)$ 的强度减少。

假设5 情绪状态的变化包括2个过程:情绪状态自发转移和情绪状态刺激转移。

假设6 情绪状态自发转移的趋势是:总是向着平静状态转移。

在情感状态的概率空间的基础上,使用五元组 $\lambda = (N, M, \hat{P}, \hat{A}, \hat{B})$ 描述基于隐马尔可夫的情绪状态刺激转移模型。其中: N 表示基本情绪总数, $i = 1, 2, \dots, N$ 表示基本情绪序号,情绪状态可用下面的状态集合表示。

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\} = \{1, 2, \dots, N\}.$$

式中: $S_i = i(i = 1, 2, \dots, N)$ 。 M 是刺激类型总数, \hat{P} 是初始心情状态概率分布, \hat{A} 为情绪状态刺激转移矩阵, \hat{B} 为刺激矩阵。

2 复合情绪的产生

2.1 HMM情感模型的推广

基于假设3,文献[11]得到 $M = N$ 的结论,即基

本情绪总数与刺激类型总数是相等的, \hat{B} 阵为一方阵,这样某种刺激就会确定性地只引发某一种基本情绪。由于情绪分为基本情绪和复合情绪,若基于隐马尔可夫的情绪状态刺激转移模型仅能够产生特定的基本情绪,仍不够完善。如何使其能够产生复合的情绪,是一个有待解决的问题。

首先,引入辅助矩阵 $F_{N \times N}$,

$$F_{N \times N} = \begin{bmatrix} \hat{F}_1 \\ \hat{F}_2 \\ \vdots \\ \hat{F}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(1) & f_2(1) & \cdots & f_N(1) \\ f_1(2) & f_2(2) & \cdots & f_N(2) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f_1(N) & f_2(N) & \cdots & f_N(N) \end{bmatrix}.$$

式中:行向量 \hat{F}_j ($1 \leq j \leq N$)对应第 j 种基本情绪类型的刺激。通过这个行向量的各个分量的值可确定刺激的类型。

$$\sum_{j=1}^N f_i(j) = 1, 1 \leq i \leq N. \quad (1)$$

令 $f_i(j) = \begin{cases} \zeta, & \text{if } i=j \\ \sigma, & \text{if } i \neq j \end{cases}$, 且 $\zeta \geq \sigma, \tau = \frac{\zeta}{\sigma}, \tau > 1$, 换元带

入式(1),得到 $\begin{cases} \zeta = \tau / (N - 1 + \tau) \\ \sigma = 1 / (N - 1 + \tau) \end{cases}, \tau > 1$, 进而得到

辅助矩阵 F 。

为了使基于隐马尔可夫的情绪状态刺激转移模型能够产生复合情绪,就要减少上述理论的假设条件。这种条件或约束的放宽,增加了情感模型的普适性。

复合情绪是由基本情绪的不同组合派生出来的,一种复合情绪类型的刺激可以引发若干种基本情绪,显然上述的假设3不尽合理;同样,由复合情绪引发的几种基本情绪强度值也是可以同时同方向变化的,因此,假设4也不够合理。因此,应删除这2个假设。

在剩余的4个假设条件下,根据辅助矩阵来计算HMM情绪状态刺激转移模型中的刺激矩阵 \hat{B} 。

\hat{B} 阵定义为

$$\hat{B}_{M \times N} = \begin{bmatrix} \hat{B}_1 \\ \hat{B}_2 \\ \vdots \\ \hat{B}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1(1) & b_2(1) & \cdots & b_N(1) \\ b_1(2) & b_2(2) & \cdots & b_N(2) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ b_1(M) & b_2(M) & \cdots & b_N(M) \end{bmatrix}.$$

1) 当刺激类型为基本情绪类型时,此时 $M = N$, $\hat{B} = F$,此种情况就是文献[11]所讨论的;

2) 当刺激类型为复合情绪类型时,例如复合情绪 i 是由基本情绪 i, j, k 组成的,则

$$\hat{\mathbf{B}}_{M \times N} = [\hat{\mathbf{B}}_1, \hat{\mathbf{B}}_2, \hat{\mathbf{B}}_3, \dots, \hat{\mathbf{B}}_N]^T_{(N-2) \times N} =$$

$$[\hat{\mathbf{F}}_1, \hat{\mathbf{F}}_2, \dots, \hat{\mathbf{F}}_{m \neq i}, \dots, \hat{\mathbf{F}}_{m \neq j}, \dots, \hat{\mathbf{F}}_{m \neq k}, \dots, (\hat{\mathbf{F}}_i + \hat{\mathbf{F}}_j + \hat{\mathbf{F}}_k) \dots \hat{\mathbf{F}}_N]^T_{(N-2) \times N}$$

$\hat{\mathbf{B}}$ 阵第 i 行对应的行向量 $\hat{\mathbf{B}}_i$, 即为复合情绪类型对应的刺激向量。

因为 $\sum_{m=1}^M b_i(m) = \sum_{j=1}^N f_i(j) = 1 (1 \leq i \leq N)$, 所以 $\hat{\mathbf{B}}$ 阵依然满足 HMM 模型的使用要求, 进而可以通过五元组 $\lambda = (N, M, \hat{\mathbf{P}}, \hat{\mathbf{A}}, \hat{\mathbf{B}})$, 计算情绪刺激转移过程中的情感状态值。

2.2 变阈值处理溢界问题

通过去除假设 3 和 4, 在引入辅助矩阵 \mathbf{F} 后, 原有的 HMM 情感模型得到了推广, 能够产生由基本情绪组合成的复合情绪, 增加了模型的适用环境。

但是在实际使用时, 却存在情绪状态值的溢界问题。例如, 某种复合情绪 i 是由基本情绪 i, j 组成的, 当刺激事件持续刺激复合情绪时, 相应的基本情绪 i, j 的值都将增大, 理论上它们都增大到 0.5 并会保持不变, 实际上若此时出现了小的扰动, 使它们偏离了 0.5, 根据 HMM 模型的计算, 大于 0.5 的情绪将会被持续激发, 逐渐增大到 1.0 并保持不变, 而另一个小于 0.5 的情绪, 将会被持续抑制, 逐渐趋于 0。

基于情绪状态刺激转移过程的 HMM 模型, 情感强度值是通过前向-后向算法来计算的。

设前向变量为 $\hat{\alpha} = [\hat{\alpha}_1^T \ \hat{\alpha}_2^T \ \dots \ \hat{\alpha}_{s_{\max}}^T]$ 。

式中:

$$\hat{\alpha}_1 = \hat{\mathbf{P}}^t \cdot \hat{\mathbf{B}}_i,$$

$$\hat{\alpha}_2 = \hat{\alpha}_1 \times \hat{\mathbf{A}}_i \cdot \hat{\mathbf{B}}_i = \hat{\mathbf{P}}^t \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i,$$

$$\hat{\alpha}_3 = \hat{\alpha}_2 \times \hat{\mathbf{A}} \hat{\mathbf{B}}_i = \hat{\mathbf{P}}^t \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i.$$

依此类推,

$$\hat{\alpha}_{s_{\max}} = \hat{\alpha}_{s_{\max}-1} \times \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i =$$

$$\hat{\mathbf{P}}^t \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \dots \times \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i}_{N-1}$$

定义后向变量为 $\hat{\beta} = [\hat{\beta}_1^T \ \hat{\beta}_2^T \ \dots \ \hat{\beta}_{s_{\max}}^T]$ 。

其中,

$$\hat{\beta}_{s_{\max}} = [1 \ 1 \ 1],$$

$$\hat{\beta}_{s_{\max}-1} = \hat{\mathbf{P}}_i \cdot \hat{\beta}_{s_{\max}} \times \hat{\mathbf{A}}^T =$$

$$\hat{\mathbf{B}}_i \times \hat{\mathbf{A}}^T,$$

$$\hat{\beta}_{s_{\max}-2} = \hat{\mathbf{B}}_i \cdot \hat{\beta}_{s_{\max}-1} \times \hat{\mathbf{A}}^T =$$

$$\hat{\mathbf{B}}_i \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \hat{\mathbf{A}}^T \times \hat{\mathbf{A}}^T.$$

依此类推,

$$\hat{\beta}_1 = \hat{\mathbf{B}}_i \times \hat{\beta}_2 \times \hat{\mathbf{A}}^T =$$

$$\underbrace{\hat{\mathbf{B}}_i \cdot \dots \cdot \hat{\mathbf{B}}_i}_{N-1} \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}}^T \times \dots \times \hat{\mathbf{A}}^T}_{N-1},$$

计算 $\hat{\gamma} = [\hat{\gamma}_1^T \ \hat{\gamma}_2^T \ \dots \ \hat{\gamma}_{s_{\max}}^T]$ 。

式中:

$$\hat{\gamma}_1 = \frac{\hat{\alpha}_1 \cdot \hat{\beta}_1}{\hat{\alpha}_1 \times \hat{\beta}_1^T} =$$

$$\frac{\hat{\mathbf{P}}^t \cdot \underbrace{\hat{\mathbf{B}}_i \cdot \dots \cdot \hat{\mathbf{B}}_i}_N \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}}^T \times \dots \times \hat{\mathbf{A}}^T}_{N-1}}{\hat{\mathbf{P}}^t \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times (\underbrace{\hat{\mathbf{B}}_i \cdot \dots \cdot \hat{\mathbf{B}}_i}_{N-1} \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}}^T \times \dots \times \hat{\mathbf{A}}^T}_{N-1})^T}$$

$$\hat{\gamma}_2 = \frac{\hat{\alpha}_2 \cdot \hat{\beta}_2}{\hat{\alpha}_2 \times \hat{\beta}_2^T} =$$

$$\frac{\hat{\mathbf{P}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \hat{\mathbf{A}} \cdot \underbrace{\hat{\mathbf{B}}_i \cdot \dots \cdot \hat{\mathbf{B}}_i}_N \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}}^T \times \dots \times \hat{\mathbf{A}}^T}_{N-1}}{(\hat{\mathbf{P}} \cdot \hat{\mathbf{P}}_i \times \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i) \times (\underbrace{\hat{\mathbf{B}}_i \cdot \dots \cdot \hat{\mathbf{B}}_i}_{N-1} \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}}^T \times \dots \times \hat{\mathbf{A}}^T}_{N-1})^T}$$

依此类推,

$$\hat{\gamma}_{s_{\max}} = \frac{\hat{\alpha}_{s_{\max}} \cdot \hat{\beta}_{s_{\max}}}{\hat{\alpha}_{s_{\max}} \times \hat{\beta}_{s_{\max}}^T} =$$

$$\frac{\hat{\mathbf{P}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}} \hat{\mathbf{B}}_i \cdot \dots \cdot \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i}_{N-1}}{\hat{\mathbf{P}} \cdot \hat{\mathbf{B}}_i \times \underbrace{\hat{\mathbf{A}} \hat{\mathbf{B}}_i \cdot \dots \cdot \hat{\mathbf{A}} \hat{\mathbf{B}}_i}_{N-1} \times [1 \ 1 \ 1]^T}$$

式中: s_{\max} 为最大刺激强度。

不难发现, 若情感状态向量 $\hat{\mathbf{P}}^t$ 中某 2 个基本情感状态值相同, 在被激发后的下一时刻, 这 2 个维度的值也应相同, 因此, 溢界问题应来自于其程序实现。

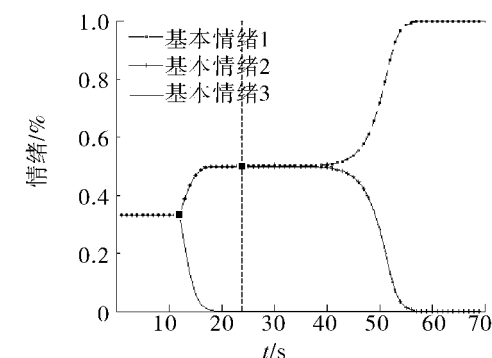
计算机在处理大量的浮点数运算时, 由于计算的精度问题, 看似相等的 2 个浮点数可能并不相等。通过分析程序, 发现溢界问题来源于此。在计算 $\hat{\mathbf{P}}^t$ 时, 应该相等的情绪状态维度会在浮点数的末位几个数字上出现微小差别, 若刺激不断出现, 上述的基于 HMM 模型的情绪状态刺激转移过程会不断进行, 这种微小差别就不断地被放大, 直至出现溢界问题。

这里通过引入一个可变的阈值 ε 来解决溢界问题。若某一种复合情绪类型的刺激激发的基本情绪越多, 则 ε 应该越小。

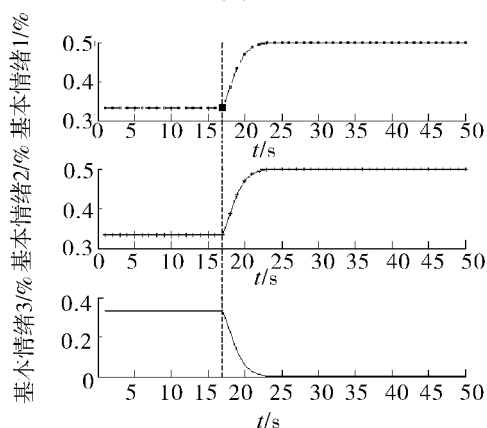
$$\varepsilon = \alpha (\text{num}).$$

式中: num 是复合情绪类型的刺激激发的基本情绪数量。可变的 ε 在某一种复合情绪类型的刺激下, 被赋为一个选定的值来控制“情绪状态近似度”。

当 $N=3$, 溢界问题及其解决如图 1 所示。



(a) 溢界



(b) 溢界消除

图1 溢界问题及其解决

Fig.1 Out of range and solution

在图1(a)中,当 $t=24$ 时出现溢界问题.由于计算的精度问题,情绪状态维度1与2的值在浮点数的末位几个数字上出现了微小差别,进而在后续的计算中,这种差别被持续地放大,使得基本情绪1与2的状态值不再相等而出错.当加入了可变阈值 ε 后,溢界问题被解决,如图1(b)所示,基本情绪1与2的状态值保持相等.

当 $N=6$ 时,通过仿真试验发现,出现溢界问题的概率较小,这应该是由每一个情绪状态维度值相对于 $N=3$ 时都小很多,浮点数计算时末位较小的差别被舍去,情绪状态值都保持在合理的范围内,因而出现溢界问题较少.但也应加入可变阈值 ε ,保证算法的稳定.

3 仿真试验

为了验证上述算法的效果,运用课题组开发的情感软件平台.此人工情感软件,包括情绪状态自发转移、情绪状态刺激转移、心境状态自发转移和心境状态刺激转移4部分.每一部分都包括运行参数

(初始值)的设定、情绪(心境)的计算和输出几个基本环节.软件设计结构如图2所示.

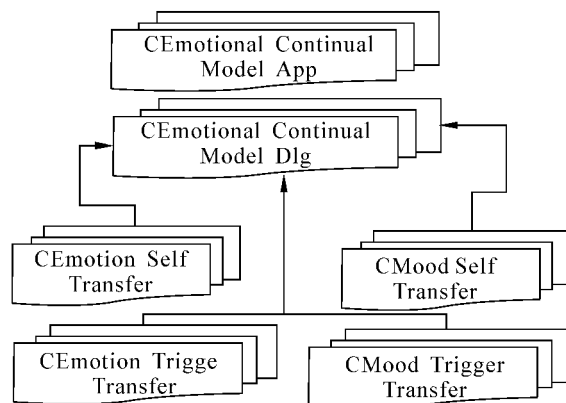


图2 软件设计结构

Fig.2 Software architecture

本文所述的方法,主要是对情绪的刺激转移过程模型进行了改进,使之能够产生复合情绪,扩大了其适用范围.因此在验证时,可以暂时不考虑心境变化的计算过程,故屏蔽CMoodSelfTransfer和CMoodTriggerTransfer 2个类.计算情绪强度部分的流程图如图3所示.

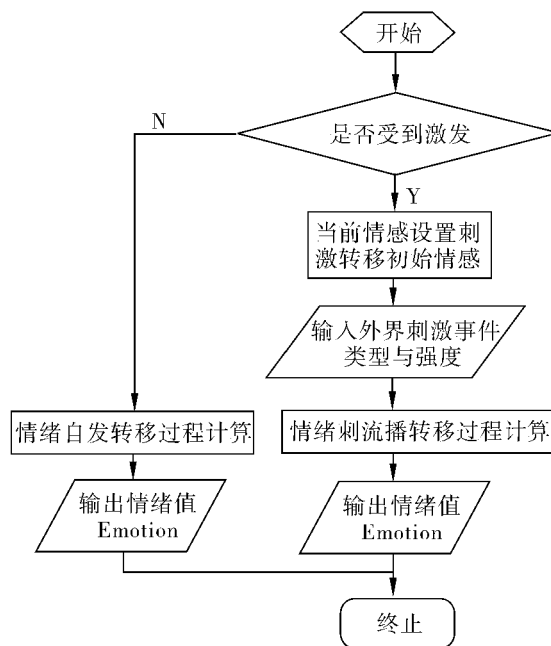


图3 情绪强度部分的流程图

Fig.3 Flow chart of emotion calculating

设自发转移初始情绪状态向量、自发转移极限情感向量和刺激转移极限情感向量均为 $[1/N \ 1/N \ \dots \ 1/N]$, $\tau=1.06$.基本情绪包括悲伤、愤怒、恐惧、厌恶、蔑视和愉悦6种,即 $N=6$.下面将以嫉妒和敌意2种复合情绪分别出现后,情绪状态的变化过程来说明上述改进模型的有效性.

在 $t=7$ 时刻出现嫉妒类型的刺激,一直保持到 $t=25$ 时刻,撤销嫉妒类型的刺激,情绪的变化过程如图4所示。

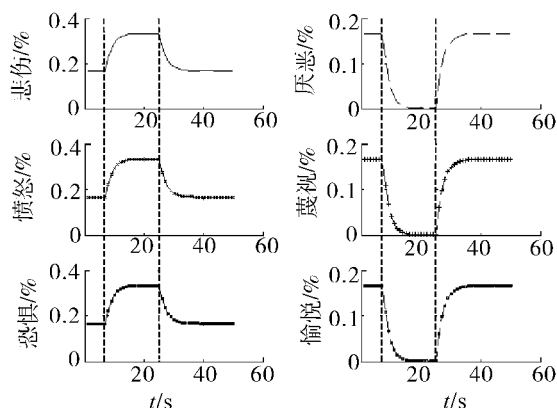


图4 嫉妒情绪的变化过程

Fig.4 Changing process of envy emotion

由于嫉妒是愤怒、悲伤与恐惧这3种情绪的复合,因此,在 $t=7$ 时刻这3个维度的基本情绪得到激发,其他的3个维度受到抑制;随后,嫉妒类型的复合情绪刺激并未消失,各个基本情绪状态值继续增大或减小直至饱和;在 $t=25$ 时刻撤销刺激,各个维度的基本情绪逐渐恢复平静。

设在 $t=7$ 时刻出现敌意类型的刺激,一直保持到 $t=25$ 时刻,撤销敌意类型的刺激,情绪的变化过程如图5所示。

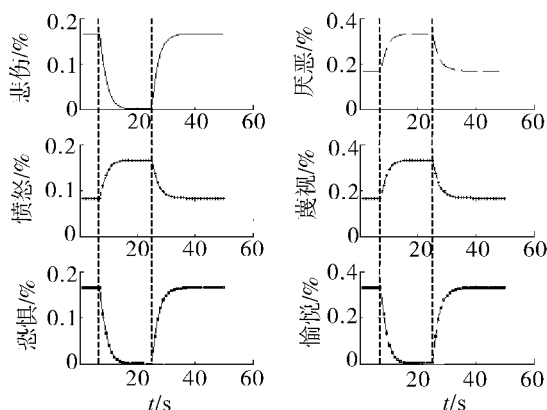


图5 敌意情绪的变化过程

Fig.5 Changing process of hostility emotion

由愤怒、厌恶和轻蔑组合起来的复合情绪可叫做敌意。同样, $t=7$ 时刻这3个维度的基本情绪得到激发,其他的3个维度受到抑制;随后,此复合情绪刺激并未消失,各个基本情绪状态值继续增大或减小直至饱和;在 $t=25$ 时刻撤销刺激,各个维度的基本情绪逐渐恢复平静。

可以看出,通过对HMM情感模型的改进,使其能够较好地模拟一个复合情绪类型的刺激出现、保

持以及撤销后情绪的变化过程。

4 结束语

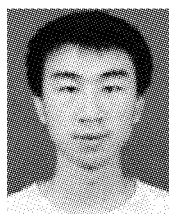
本文在已有隐马尔可夫情感模型的基础上,通过减少假设条件并引入辅助矩阵,使原有模型能够产生复合情绪,增加了情感模型的普适性。同时,可变阈值为模型的计算机实现提供了基础,解决了情感状态计算时的溢界问题。进一步研究重点是改进基于HMM的情感建模算法,为在人机交互过程中更好地实现拟人化的计算机情感合成与输出做理论上的铺垫。

参考文献:

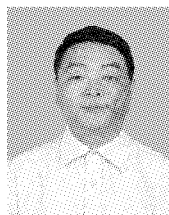
- [1] 王志良. 人工心理学——关于更接近人脑工作模式的科学[J]. 北京科技大学学报, 2000, 22(5): 478-483.
WANG Zhiliang. Artificial psychology—Science of more attainable working mode to human brain[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2000, 22(5): 478-483.
- [2] ORTONY A, CLORE G L, COLLINS A. The cognitive structure of emotions[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988: 123-127.
- [3] BREAZEL C, SCASSELLATI B. A context-dependent attention system for a social robot[C]//Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI99). Stockholm, Sweden, 1999: 1146-1151.
- [4] BREAZEL C, SCASSELLATI B. Robots that imitate humans[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2002(6): 481-487.
- [5] BREAZEL C, EDSINGER A, FITZPATRICK P, et al. Active vision systems for sociable robots[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2000, 31(5): 443-453.
- [6] BREAZEL C. Emotion and sociable humanoid robots[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2003, 59(1/2): 119-155.
- [7] BOTELHO L M, COELHO H. Machinery for artificial Emotions[J]. Cybernetics and Systems, 2001, 32(5): 465-506.
- [8] Head Robot Team / Takanishi Laboratory. Emotion expression humanoid robot WE-4RII[EB/OL]. [2009-12-25]. <http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/top/research/we/we-4rII/index.htm>.
- [9] HIROYASU M, KAZUKO I, DAISUKE I, et al. Introduction of the need model for humanoid robots to generate active

- behavior[C]//Proceedings of the IEEE/RSJ Int. l Conference on Intelligent Robots and Systems. [S. l.], 2003: 1400-1406.
- [10] 王宏, 颜斌, 解仑. 基于人工心理理论的情感模型建立及其数值仿真[J]. 计算机应用, 2004, 24(S1): 368-370.
- WANG Hong, JIE Bin, XIE Lun. Emotion modeling and simulation applied on artificial psychology theory [J]. Computer Application, 2004, 24(S1): 368-370.
- [11] 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 Shaodong. Research on artificial psychology model applied in personal robot[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2006.
- [12] 王飞, 王志良, 赵积春. 基于随机事件处理的情感建模研究[J]. 微计算机信息, 2005, 21(3): 101-102.
- WANG Fei, WANG Zhiliang, ZHAO Jichun. Affection mathematics model based on the processing of stochastic events[J]. Control & Automation, 2005, 21(3): 101-102.
- [13] HIRHT J, SCHMITZ N, BERNES K. Emotional architecture for the humanoid robot head roman[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Roma, Italy, 2007: 2150-2155.
- [14] HIRTH J, BRAUN T, BERNES K. Emotion based control architecture for robotics applications[C]//Proceedings of 30th Annual German Conference on Artificial Intelligence. [S. l.], 2007: 464-467.
- [15] BERNES K T. Design concept of a human-like robot head [C]//Proceedings of IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots. [S. l.], 2005: 32-37.
- [16] 浙江大学医学院. 情绪、情感和意志[EB/OL]. [2009-12-25]. <http://www.cmm.zju.edu.cn/student/main/love/abc/200704/22090912.htm>.
- [17] 情绪与情感过程——情绪理论[EB/OL]. [2009-12-25]. <http://www.examda.com/hushi/xinli/20090416/091904550.html>.
- [18] 王志良. 人工心理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 101-130.

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,教授,博士生导师. 中国人工智能学会常务理事、人工心理与人工情感专业委员会主任. 主要研究方向为人工心理及情感计算、3C 融合技术、智能机器人学、和谐人机交互,主持或参加国家高技术研究项目

3 项、国家自然科学基金项目 2 项、国家科技攻关项目 5 项、省部级课题 20 余项,发表学术论文 180 余篇,其中被 SCI、EI 检索 60 余篇.