

# 人工心理情感模型的个人机器人

解 仑,王志良,余 军

(北京科技大学 信息学院,北京 100083)

**摘 要:**以心理动力学中心理能量概念为基础,根据情感能量守恒定律,建立了情感状态能量分布描述空间和情感状态的概率描述空间,分析情绪状态的变化过程,提出情绪状态自发转移过程的隐马尔可夫链及其模型算法.利用 MATLAB 建立相关情感状态变化的仿真研究平台,研究情感状态的变化规律.根据以上人工心理情感模型及其变化规律构建出个人机器人综合研究平台软、硬件体系结构,并通过该系统的实际运行实验验证了其有效性.

**关键词:**概率描述空间;自发转移过程;隐马尔可夫链;人工心理情感模型;个人机器人

**中图分类号:** TP31, TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785 (2009) 01-0059-08

## A personal robot based on an affective model of artificial psychology

XIE Lun, WANG Zhi-liang, YU Jun

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

**Abstract:** An affective energy distributing model and affective state probability description space were set up on the basis of the psychological energy of the psycho-dynamics and affective energy conservation law. The emotional state transferring process and the hidden Markov chain algorithm for self-inspired transition processes were then studied. The personal robot platform, consisting of hardware with a software architecture, was based on the affective model of artificial psychology. Simulation results and experiments on this personal robot platform showed that the mathematical model was an accurate representation of affective state change rules in human beings. They effectively demonstrated the validity of the model.

**Keywords:** probability description space; self-inspired transition process; Hidden Markov chain; affective model of artificial psychology; personal robot

随着科学技术的进步、经济的发展以及人们的生活水平的不断提高,机器人已经并将逐步进入生活的方方面面,为每个人提供各种服务,供人娱乐,能与人进行交流,因此又称之为“个人机器人”。正像当年人类个人计算机的出现标志着一个崭新时代的开启一样,“个人机器人”的出现标志着后 PC 时代的到来,也会和个人计算机一样,成为人类到处都在使用的工具,也可以成为人类的好朋友和好伴侣。所以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),甚至还可使其智能及情感行为进行进化(进化机器人)<sup>[1]</sup>。在当今的机器人学的研究发展中,赋予机器人情感交互能力已经成为前沿热点之一。

如果想让个人机器人自然地与人交互,就必须赋予其识别、理解、甚至可以拥有和表达人类感情的能力<sup>[2]</sup>。作者将以人工智能的理论为基础,以个人机器人相关技术为手段,以研究和建立基于人工心理情感模型的个人机器人为主要内容,通过仿真计算以及物理实现构建个人机器人研究平台,以模拟典型情绪、情感的变化过程和相应的行为表达模式,从而为个人机器人应用及理论研究提供有意义的帮助。

收稿日期: 2008-10-16

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

通信作者: 解 仑. E-mail: ygao@tsinghua.edu.cn

# 1 情绪状态自发转移过程的隐马尔可夫模型及仿真

## 1.1 情感状态的概率空间

通过人工心理情感模型中情感能量及其状态的数学描述方法,建立起情感状态能量分布描述空间,同时为了统一描述情绪状态的变化情况,把相对情感能量分布描述空间转换成与之等效的情感状态的概率空间描述方式.从能量分配的角度表达情感能量在不同情绪之间的分配比例,可以把  $e_{pi}^{at}$  看成一种概率,用  $P^t = [p_1^t, p_2^t, \dots, p_N^t]$  表示情绪状态概率分布向量,且  $p_i^t = e_{pi}^{at}$ ,  $p_i^t$  表示在  $t$  时刻处于情绪  $i$  的概率,根据  $P^t$  中各分量的相对大小,亦可确定个体所处的情绪状态.根据上述观点,情感状态概率空间的定义如下.

设基本情绪状态空间集合  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ ,  $S_i = i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ),  $N$  表示基本情绪状态数,随机变量  $X$  表示情绪状态变量.设  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 为  $X = i$  (取第  $i$  种情绪状态) 的概率,且满足

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N P_i &= P_1 + P_2 + \dots + P_N = 1, \\ 0 &\leq P_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (1)$$

称上式为情绪状态概率分布方程.这样,情感状态的概率空间模型可表示成

$$\begin{pmatrix} S \\ P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 & S_1 & \dots & S_N \\ P_1 & P_1 & \dots & P_N \end{pmatrix}. \quad (2)$$

## 1.2 模型的建立

把情绪状态的变化看成是一个随机过程,从而可以采用随机过程的理论,进一步研究情绪状态的变化规律,建立情绪状态的变化规律的数学模型.下面简单介绍一下情绪状态自发转移过程的马尔可夫链模型和情绪态刺激转移过程的隐马尔可夫模型 (hidden Markov model, HMM).

根据隐马尔可夫链的基本理论,情绪状态自发转移过程基本方程可表示为

$$p_i^{(n+1)} = \sum_{j=1}^N p_j^{(n)} a_{ji}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

$$p_i^{(n+1)} = \sum_{j=1}^N p_j^{(0)} a_{ji}^{(n)}, i = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

其矩阵形式可表示为

$$P^{(n+1)} = P^{(n)} \bar{A}, \text{ 或 } P^{(n)} = P^{(0)} \bar{A}^n. \quad (5)$$

其中:  $\bar{A}$  为  $N \times N$  的情绪状态转移矩阵;  $n$  为采样时间序号;  $t = n(t)$ ,  $t$  为采样时间间隔;  $P^{(0)} =$

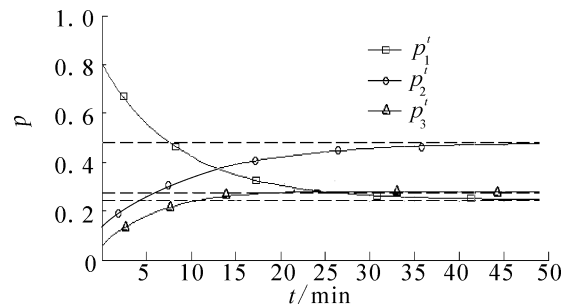
$[p_1^{(0)} \ p_2^{(0)} \ \dots \ p_N^{(0)}]$  表示初始情绪状态概率分布;  $P^{(n)} = [p_1^{(n)} \ p_2^{(n)} \ \dots \ p_N^{(n)}]$  表示  $n$  时刻的情绪状态概率分布.  $N = 3$  时,设定  $\bar{A}$  的形式为 (推导过程省略):

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1-\bar{r}} & \frac{1}{1-\bar{r}} & \frac{1}{1-\bar{r}} \\ \frac{1}{1-\bar{r}} & \frac{1}{1-\bar{r}} & \frac{1}{1-\bar{r}} \\ \frac{1}{1-\bar{r}} & \frac{1}{1-\bar{r}} & \frac{1}{1-\bar{r}} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

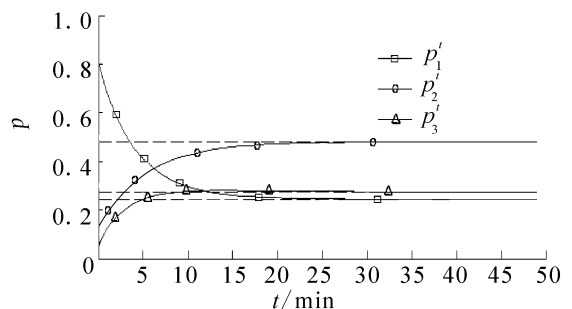
式 (6) 中,  $\bar{r} = [\bar{r}_1 \ \bar{r}_2 \ \bar{r}_3]$  为  $\bar{A}$  的极限概率,即  $\lim_n P^{(n)} = \bar{r}$ , 表示趋于稳定时的心情状态,  $\bar{r}$  可用于调节情绪状态自发转移过程的速度.

## 1.3 仿真计算

图 1 是以上计算过程的仿真曲线,其中图 1(a) 为  $\bar{r} = 100$  的仿真图,图 1(b) 为  $\bar{r} = 50$  的仿真图.通过对比可以看出  $\bar{r}$  越大,转移的速度就越慢,  $\bar{r}$  体现了个体情绪状态自发转移变化的速度特征<sup>[3]</sup>.



(a)  $\bar{r} = 100$  的仿真结果



(b)  $\bar{r} = 50$  的仿真结果

图 1 情绪状态自发转移过程仿真曲线

Fig 1 Simulation curves of emotion state self-inspired transferring process

# 2 个人机器人研究平台的构建

## 2.1 硬件体系结构

基于上述人工心理情感模型的个人机器人系统

结构复杂,控制对象及功能较多,既有智能控制,又有情感控制、集中控制和主从控制方式,已不能满足个人机器人对控制系统实时性、开放性、鲁棒性等方面的要求.理想的控制系统解决方案是采用分布式控制系统 DCS(distributed control system),将控制功能在下位机分散,每个下位机完成一项特定功能,各下位机便可实现并行工作,这将大大提高整个系统的处理能力和处理速度<sup>[4]</sup>.DCS的核心思想是集中管理、分散控制,即管理与控制分离,上位机用于集中监控和系统管理,下位机分散到现场实现分布式控制,各上下位机之间通过控制网络互连实现信息传输.显然,采用 DCS方案有如下明显优点:1)实现集中监控和管理,管理与现场分离,管理更综合化和系统化;2)实现分散控制,可使各功能模块的设计、装配、调试、维护独立,系统控制的危险性分散,可靠性提高,投资减小;3)采用网络通信技术,可根据需要增加以微处理器为核心的功能模块,具有良好的系统开放性、扩展性和升级特性.

CAN(controller area network)总线作为连接各上下位机之间的通信网络,非常适用于分布式控制系统.因为它具有以下突出特性:1)CAN控制器工作于多主方式,网络中的各节点都可根据总线访问优先权向总线发送数据,通信方式灵活;2)CAN节点在错误严重的情况下具有自动关闭输出功能,以使总线上其他节点的操作不受影响,因而具有突出的可靠性;3)CAN总线的通信协议可由CAN控制器芯片及其接口芯片来实现,从而大大降低了系统开发难度,缩短了开发周期;4)CAN总线结构简单,只有两根信号线,挂接在总线上的设备可方便地增减,因而具有优良的可扩展性;5)此外,CAN总线还有传输速率高、实时性强、开放性好、成本低等特点.

基于CAN总线的分布式控制系统的上位机由主控计算机及语音和图像处理单元构成,下位机则是由0~7号节点控制器为核心的功能模块所组成.基于人工心理的个人机器人的控制系统硬件结构如图2所示.

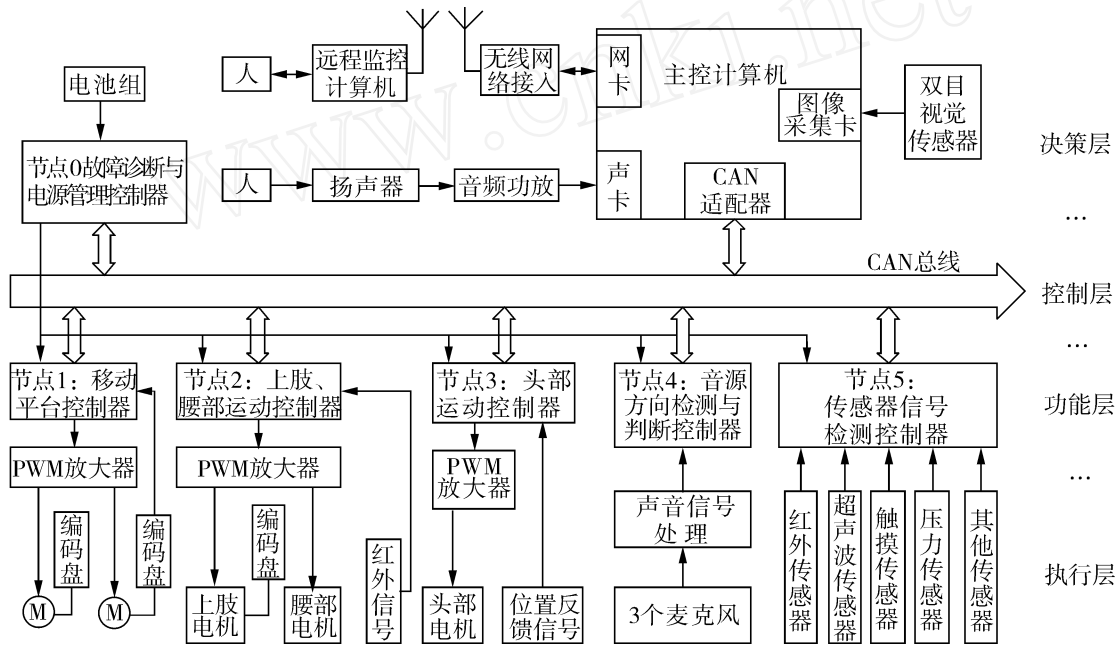


图 2 基于人工心理情感模型的个人机器人的控制系统硬件体系结构

Fig 2 Hardware architecture of personal robot control system based on artificial psychology

在该系统中,作为上位机的主控计算机可采用基于PC机的高性能的嵌入式计算机,本系统选用GENE-8310嵌入式主板.PC CAN卡是插在上位机扩展槽的CAN总线接口卡,负责PC与CAN总线之间通信.上位机将控制命令转换成PC CAN卡可识别的数据,PC CAN卡收到数据后,按照CAN总线协议标准发送给系统中各传感/执行器,各单元依据标识符判断是否为自己应处理的数据,若是,则按照相应算法解释数据内容,控制各单元完成相应动作.各

单元节点是以MCU(本系统选用Microchip公司的PIC系列单片机)为核心的功能模块,各单元CAN控制卡从CAN总线接收由上位机传送的数据,解释形成驱动各单元的输出信号.当上位机需要各单元当前状态信息时,各单元CAN控制卡将状态值经由CAN总线发至上位机,实现双方数据交换.各单元之间按照CAN总线协议相互通信、协调动作,各节点平等争用总线,构成具有多主机的冗余总线式网络拓扑结构.

系统在纵向结构上可分为 4 层,如图 3 所示.

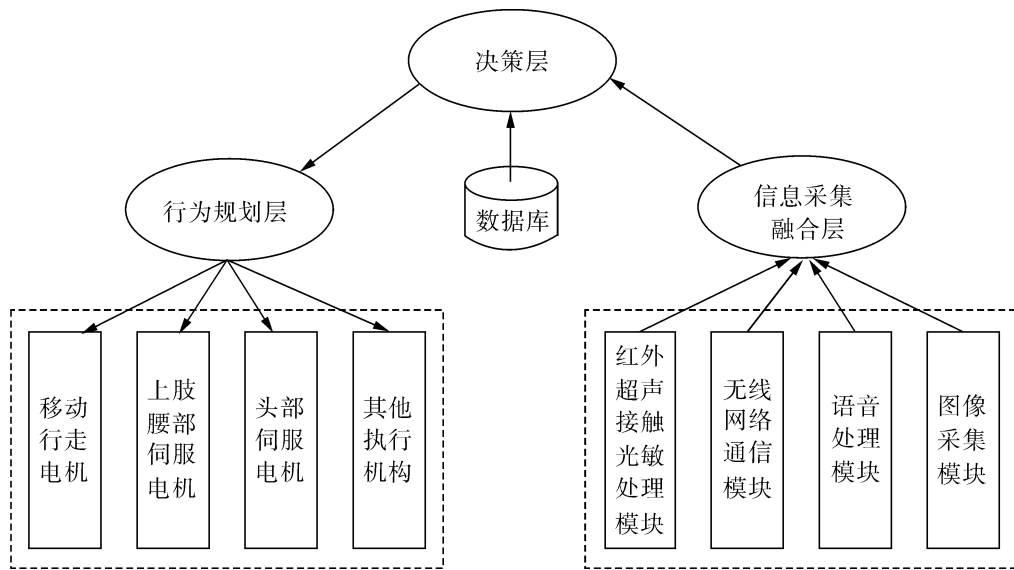


图 3 个人机器人控制系统软件体系结构

Fig 3 Software architecture of personal robot control system

决策层主要实现以下功能: 1)通过无线网络和语音处理系统(语音识别与合成)2种方式实现人机交互; 2)实现双目视觉图像采集与处理; 3)对整个系统实施管理监控,并对控制层及功能层的事件做出响应.

控制层检测各节点的工作情况,登记各节点的状态,对发生故障的节点进行处理,对系统电源进行合理的分配和调度.

功能层由一个基于 MCU 的节点控制器及相关电路组成的功能模块所构成,实现机器人的基本行为和感知控制.

执行层由环境感知传感器和执行器组成,完成数据采集和行为动作执行.

## 2.2 软件体系结构

基于人工心理情感模型的个人机器人软件结构采用分层结构,如图 3 所示.整个控制系统可自上而下分为:决策层、行为规划层与信息采融合层.信息采融合层负责接收来自底层的任务请求以及机器人的当前的运行状态和环境信息,同时将多个传感器收集的实时环境动态信息进行信息融合,并将信息融合的结果送入决策层.决策层根据这些信息规划出移动机器人所应采取的具体的行为模式,再向下传递具体的行为指令.行为规划层接收顶层的行为控制命令,具体实现机器人自主行动所应采取的各种行为模式,主要包括移动机器人的路径识别、实时避障、定点运动、基于音源方向判别的机器人行为控制以及情绪表达等行为模块.底层传感器和电

机控制直接参与个人机器人的环境感知和运动控制,是个人机器人完成各项任务 and 实现各种行为的基础.特别是在未知和不确定动态环境下,高精度运动控制系统是实现避障、路径规划等自主行为的基础<sup>[5]</sup>.

## 2.3 情感状态与情感行为决策

图 3 除了表示个人机器人智能决策与控制的软件体系结构以外,还包含情感决策与情感控制的软件体系结构.根据人工心理情感模型,将图 3 进一步细化后,可得图 4,决策层包括 3 个部分:

1)认知比较器.根据情绪的认知理论,能有这样的结论:同样的外部环境情感信息,对不同个体或同一个体,由于不同的心理状态以及所具有的情感经验的不同,其感受到的刺激模式是不同的,进而其触发的情绪状态也是不同的.刺激模式主要包括媒介类型、情绪类型以及刺激强度等.媒介类型包括声音、语音、图像等,情绪类型是指该刺激所引发的情绪类型.心理状态除了包括、、、等参数的变化以及当前心情状态以外,还包括个体的动机状态,即个体需要系统的静态结构与系统的当前满足状态<sup>[6]</sup>.

认知比较器根据经识别后的外部环境的情感信息、个体的动机状态以及个体的情感经验(情感知识库),进行综合比较、判断,计算出当前的刺激模式.

2)情绪刺激转移过程计算.根据认知比较器输出的刺激模式、个体当前的心情状态以及情感性格

特征,利用第 1.2 节的情绪刺激转移过程的 HHM 模型进行情绪计算,得到当前的情绪状态.

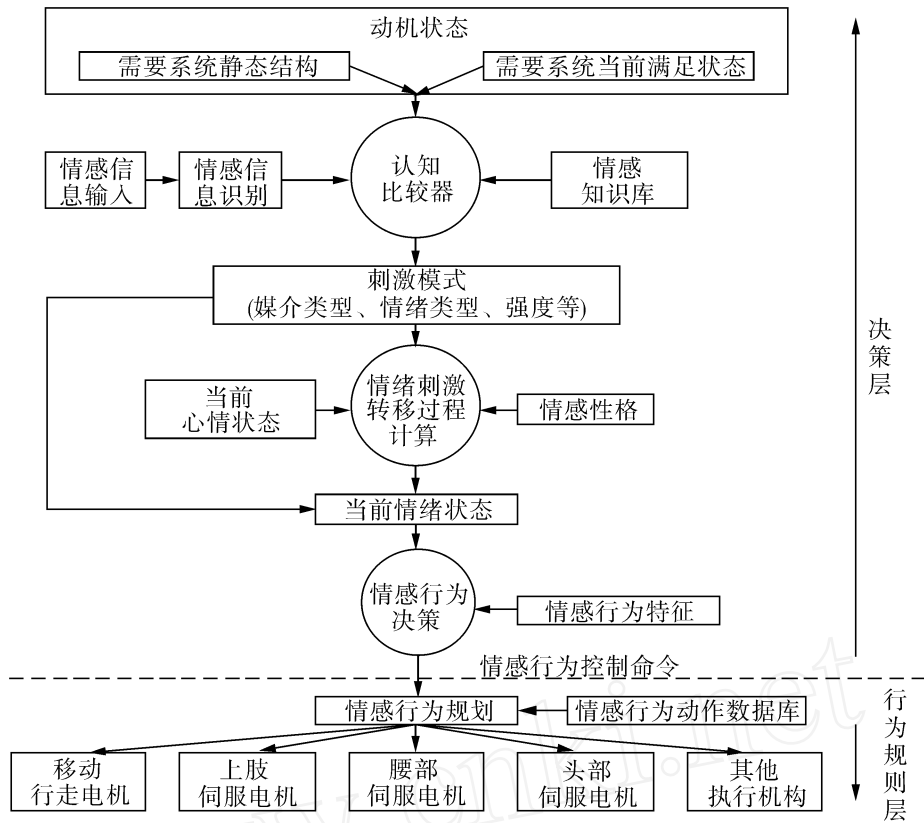


图 4 基于人工心理情感模型的个人机器人情感系统软件体系结构

Fig 4 Software architecture of personal robot emotion system based on artificial psychology

3)情感行为决策. 情感行为决策模块根据当前的情绪状态、刺激模式中的媒介类型以及个体的情感行为特征,进行决策判断,得到情感行为控制命令送给情感行为规划层. 情感行为规划层接收决策层的情感行为控制命令,从情感行为动作数据库中取出表达某种情绪的动作序列,输送给底层的执行机构,以实现情绪表达的功能<sup>[7]</sup>.

3 实验结果及分析

3.1 面部表情

面部表情的丰富性促使了多种表情记述方法的出现,其中常采用 Ekman和 Friesen提出的面部运动编码系统 (face action coding system, FACS)中定义的动作单元 (action unit, AU)来描述面部表情. 每一个 AU都是由面部的一束或几束肌肉伸缩产生,同时每一表情可表示为若干个共同 AU作用的结果<sup>[8]</sup>.

FACS中定义了基本的表情,这些表情加上说话时的面部动作,可以产生出任意的表情. 情绪心理学研究表明:存在着 6种基本表情,即高兴、悲伤、惊奇、恐惧、愤怒和厌恶,其他的任意表情都可表示为

此种基本表情的组合. 以此为依据,设计了表情机器人头结构如图 3所示,可实现机器人的摆头、点头、眨眼、嘴的张合、皱眉、转动眼球等基本动作. 根据人的面部特征用硅胶做一个机器人面皮,把记忆形状合金根据人体面部肌肉的分布布置在面皮下,以实现肌肉的拉动效果,可以模拟脸颊运动、上拉嘴角、后拉嘴角等动作.

基于上述的情感模型及其算法,机器人的面部表情可以表示为

$$E_x = \{ S_1 S_2 \dots S_i \dots S_m \}.$$

其中:  $E_x$  为机器人的面部表情,  $n$  为形成机器人面部表情的动作序列个数,  $S_i$  为动作序列中的第  $i$  个暂态,它又可以表示为

$$S_i = \{ f_i (P_{1i}, V_{2i}) f_2 (P_{2i}, V_{2i}) \dots f_k (P_{ki}, V_{ki}) \dots f_m (P_{mi}, V_{mi}) \}.$$

其中:  $m$  为模拟肌肉的舵机或其传动结构的个数,  $P_{ki}$  为第  $k$  个舵机在第  $i$  个暂态的位置,  $V_{ki} = (P_{ki} - P_{k(i-1)}) T$ ,  $T$  为动作序列转换. 通过对这些基本运动单元的组合可以产生 6种基本表情,即高兴、悲伤、惊奇、恐惧、愤怒和厌恶,如图 5所示,其他的任意表情都可表示为此 6基本表情的组合<sup>[8]</sup>.

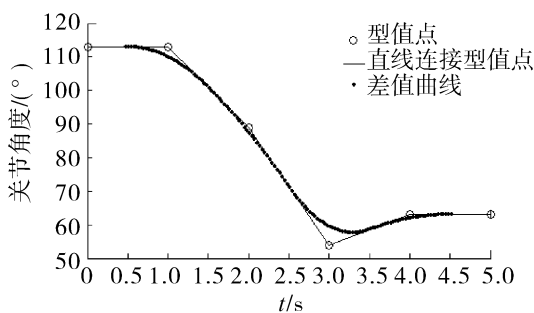


图 5 6种基本表情  
Fig 5 Six basic facial expressions

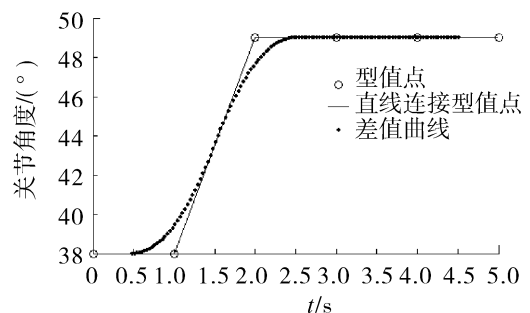
### 3.2 肢体行为

丰富的身体姿态为机器人增加了活力,同时增强了可交互性.尤其是当观察者与所交互的机器人有一定距离时,肢体姿态和动作是一个非常有效的表现机器人内在情感的手段.

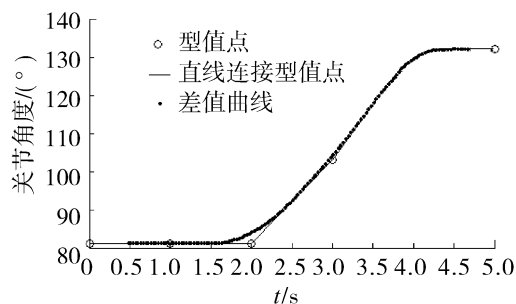
在机器人的肢体运动上,采用了基于三次  $B$  样条曲线运动规划方法.假定机器人具有  $n$  个自由度,即机器人关节空间为  $n$  维空间,机器人路径由该  $n$  维空间中的  $m$  个离散路径点  $Q_j = ( \overset{1}{j}, \overset{2}{j}, \dots, \overset{n}{j} )^T$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  所组成,其中  $\overset{1}{j}, \overset{2}{j}, \dots, \overset{n}{j}$  可表示机器人在  $Q_j$  点时  $n$  个关节的关节值.为保证机器人高速运动时平稳无冲击,需对规划出的离散路径点进行插值和逼近.对离散路径点插值的曲线类型有多种选择.三次样条曲线要求曲线通过各个路径点,但实际上并不能自然地表示出路径点对曲线形状的控制情况.而且,单个路径点的扰动将影响整个曲线,使得必须重新对整条路径进行相平面建模. Bezier 曲线虽然不要求曲线通过所有路径点,但曲线阶次由路径点的数量决定,单个路径点的扰动也会影响整个曲线.  $B$  样条曲线不要求曲线通过各控制点,曲线的阶次也与控制点数无关,允许对路径进行局部扰动.故采用三次  $B$  样条曲线生成路径,确保运动过程中机器人各关节位置、速度和加速度的连续性,其关节运动轨迹如图 6 所示.



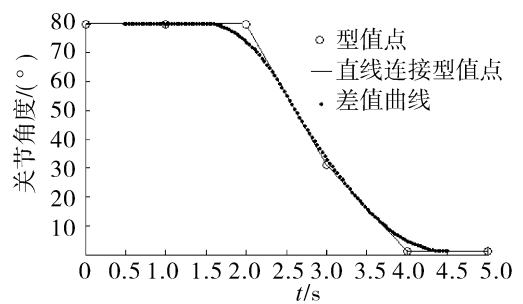
(a)左肘关节轨迹曲线



(b)左肩关节轨迹曲线



(c)右肘关节轨迹曲线



(d)右肩关节轨迹曲线

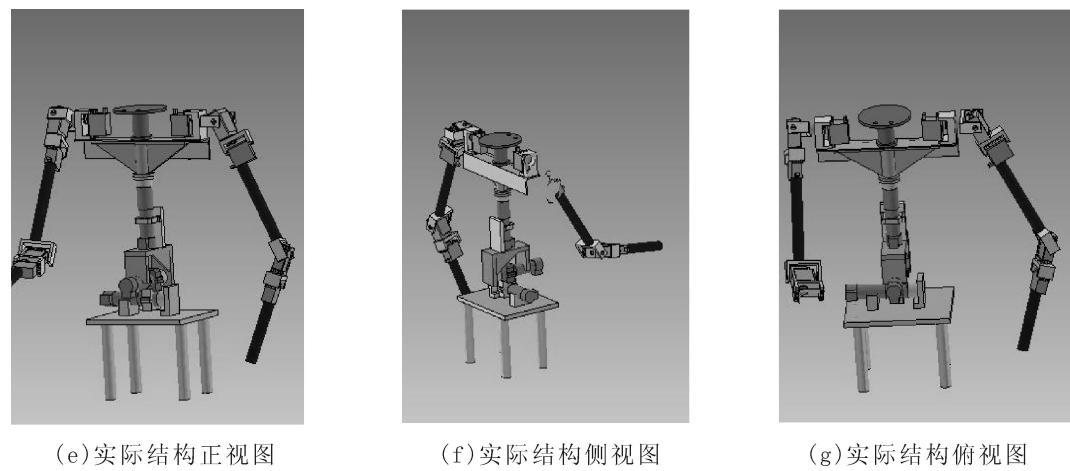


图 6 各关节运动轨迹曲线及实际运动  
Fig 6 Every joint moving trajectory curve and real movement

为了对机器人的情感表达做出评估,将受试者与机器人的距离保持在 3 m 左右,受试者对机器人的每种情感表达的观测时间为 3 ~ 5 s,受试者人数为 60 人. 每个参与者记录其所观测到的机器人情感状态.

实验完毕后对受访者的观测做了统计,如表 1 所示. 表中纵坐标为机器人表达的情感状态,横坐标为受访者所认为的情感状态. 实验分析表明,融合机器人的肢体姿态和面部表情的情感表达基本反映出其典型状态.

表 1 肢体姿态和面部表情融合实验评价结果  
Table 1 Experiment appraisal results of combination of limb gestures and facial expressions

机器人表达的情感状态	受访者认为的情感状态数					
	anger	disgust	fear	happiness	sadness	suprise
	愤怒	厌恶	恐惧	高兴	悲伤	惊讶
anger(愤怒)	35	0	0	15	0	10
disgust(厌恶)	0	40	0	3	17	0
fear(恐惧)	0	0	35	10	5	10
happiness(高兴)	0	0	0	50	2	8
sadness(悲伤)	2	15	1	0	43	0
suprise(惊讶)	5	0	15	15	0	35

4 结束语

在分析了心理能量表现形式的基础上,提出并定义了情感能量的概念,并根据情感能量守恒定律,进一步分析了情感能量分布空间. 引入概率分布的概念,进一步将相对情感能量分布描述空间转换成与之等效的另一种描述方式,即情感状态的概率空间描述方式. 并且研究了情绪状态自发转移过程的马尔可夫链模型与算法,重点分析了转移矩阵的确定与计算方法,并进行了仿真计算. 在此基础上研究了基于人工心理情感模型的个人机器人控制体系结构,给出了基于控制流和状态流的控制体系分层结构,并且研究了

机器人平台的软硬件结构. 在机器人情感表达问题上,分析了肢体姿态和面部表情在具有情感和自然的交互过程中的重要作用. 评估实验表明,机器人和人类能够进行较自然、和谐的交互.

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 Technoby Beijing, 2000, 22(5): 478-483.  
[2] BREAZEAL C. Emotion and sociable humanoid robots[J].

International Journal of Human-Computer Studies, 2003, 59 (1/2): 119-155.

[3] SLOMAN A. More things than are dreamt of in biology: Information processing in biologically inspired robots [J]. Cognitive Systems Research, 2005 (6): 145-174.

[4] 宋亦旭, 贾培发. 基于人工情感的拟人机器人控制体系结构 [J]. 机器人, 2004, 26 (6): 491-495.

SONG Yixu, JIA Peifa. A control architecture based on artificial emotion for anthropomorphic robot [J]. Robotics, 2004, 26 (6): 491-495.

[5] JUDE A, ATKESON C G, R LEYM. Programming full-body movements for humanoid robots by observation [J]. Robotics and Autonomous System, 2004, 47 (2/3): 93-108.

[6] 韩在住, 舒华, 柏晓利, 等. 认知神经心理学的基本假设和研究方法 [J]. 心理科学, 2002 (6): 721-722.

HAN Zaizhu, SHU Hua, BAI Xiaoli, et al. The basic hypothesis and research methods of cognitive psychology [J]. Psychology Science, 2002 (6): 721-722.

[7] KARUNARATNE S, YAN Hong. Modelling and combining emotions, visual speech and gestures in virtual dead models [J]. Signal Processing: Image Communication, 2006, 21 (5): 429-449.

[8] WOODS S. Exploring the design space of robots: Children's perspectives [J]. Interacting with Computers, 2006, 18 (6): 1390-1418.

#### 作者简介:



解 仑, 男, 1968年生, 副教授, 博士, 中国人工智能学会人工心理与人工情感专业委员会秘书长, 智能机器人学会理事, 北京电力电子学会理事. 主要研究方向为智能机器人、情感计算、嵌入式系统、电力电子技术、智能信息处理. 主持、参加国家高技术研究项目 2项, 参加国家自然科学基金项目 2项, 主持省部级课题 3项. 发表学术论文 70余篇, 其中被 SCI E检索 30余篇.



王志良, 男, 1956年生, 教授, 博士生导师, 博士, 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、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 E检索 60余篇.



余 军, 女, 1973年生, 博士研究生, 主要研究方向为人工心理与智能机器人个性化交互.

## The 7th IEEE International Conference on Control & Automation 第7届 IEEE控制与自动化国际会议

The 7th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA 09) will be held on December 9 - 11, 2009, in Christchurch, New Zealand. The conference is jointly organized by the IEEE Control Systems Chapter, Singapore and IEEE South New Zealand Section, and technically sponsored by IEEE Control Systems Society and University of Canterbury, New Zealand. It is to create a forum for scientists and practicing engineers throughout the world to present the latest research findings and ideas in the areas of control and automation. ICCA Proceedings are included in EI Compindex, IEEE Xplore and ISI Proceedings (ISTP).

#### Important Dates:

Deadline for Manuscript Submissions: April 1, 2009

Notification of Acceptance: July 1, 2009

Submission of Final Papers: September 1, 2009

Website: <http://www.ieee-icca.org> <http://hdd.ece.nus.edu.sg/~icca09/>

Email: [icca2009@ntu.edu.sg](mailto:icca2009@ntu.edu.sg)