

# 情感决策的智能家居虚拟人路径规划

黄晓丹, 王粉花, 王志良  
(北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 智能家居环境中的虚拟人, 目前在智能性和行为规划的研究中还存在许多不足, 针对这两方面问题, 首先, 提出了认知过滤层的概念, 并建立了虚拟人行为模型. 在此基础上, 对模型中的认知行为部分进行了深入研究, 并利用现有情感模型将情感智能与虚拟人行为规划相结合. 由于路径规划是一种基本且重要的行为, 针对智能家居环境中多环形障碍物的特点, 对路径规划算法进行了改进. 最后, 通过三维仿真对上述模型和算法加以实现. 仿真结果表明, 虚拟人的行为具有一定的智能性, 情感的加入也使得虚拟人更加人性化.

**关键词:** 智能虚拟人; 情感决策; 行为表达; 路径规划; 智能家居

**中图分类号:** TP391.9    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1673-4785(2010)04-0292-11

## Using affective decision-making for the path planning of virtual humans in a smart home

HUANG Xiao-dan, WANG Fen-hua, WANG Zhi-liang

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

**Abstract:** For virtual humans in a smart home, there are still many problems that must be solved before levels of apparent intelligence and social behavior are acceptable. To promote solutions, a cognition filtering layer was proposed and a behavioral model for virtual humans was established. Then, further study on cognition was performed, with current emotion models employed to study both emotional intelligence and behavioral planning of virtual humans. To deal with the many circular obstacles in a smart home, improvements to path planning were proposed. Finally, a 3-D simulation was used to test the proposed model and algorithm. Results showed that the behavior of virtual humans seemed more intelligent, while the inclusion of emotion made the virtual humans seem more humanized.

**Keywords:** virtual intelligent human; affective decision; behavior expression; path planning; smart home

自20世纪80年代初期虚拟现实技术出现以来, 其相关领域的研究一直为科学界和工程界所关注<sup>[1]</sup>, 其涉及领域广泛, 包括军事、工业、医疗、娱乐等多个方面. 应用该技术的行业许多都需要考虑参与者的人身安全、人体行为的理解以及如何与环境和谐相处的问题<sup>[2]</sup>, 因此, 就需要对人类自身进行研究. 三维虚拟人的出现使虚拟现实技术不再是单一的场景模拟, 同时也为研究人类自身以及人与环

境的关系提供了新的途径<sup>[3]</sup>.

虚拟人技术的研究主要集中在4个方面: 几何模型表示、运动控制、行为表达以及智能交互. 其中, 前两方面研究起步较早<sup>[4-5]</sup>, 目前技术已较为成熟. 在外形及动作的逼真性得到满足之后, 近年来人们开始关注于虚拟人的行为表达和智能交互方面的研究, 希望虚拟人的内在也能像真人一般, 能够独立思考与交流. 因此, 对虚拟人行为和智能的研究成为目前虚拟人研究的热点<sup>[6-7]</sup>.

智能虚拟人是指采用人工智能的方法构建具有自主行为的虚拟人, 它应该具有自我判断的能力, 可

收稿日期: 2009-12-24.

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2007AA01Z160); 国家自然科学基金资助项目(60573059).

通信作者: 黄晓丹. E-mail: hxd10243005@sina.com.

以在虚拟环境中根据环境的变化做出合适的决策<sup>[8]</sup>. 本文将情感引入到虚拟人的智能研究中,通过情感对虚拟人的行为产生影响,从而使虚拟人具有简单的情感决策能力和自主行为规划能力,即具有一定程度上的智能.

本文将智能虚拟人具体应用于虚拟智能家居环境中. 智能家居是近年来消费类电子产业发展的一个新的分支. 随着科技的发展与生活水平的提高,人们开始越来越多地关注于自身生活的舒适度与便捷性,于是智能家居的概念成为热点<sup>[9]</sup>. 智能家电产品能够帮助人们改善他们日常生活的质量,降低生活成本,并提高安全性<sup>[10]</sup>,因此,将智能虚拟人应用于虚拟智能家居环境具有广阔的前景.

## 1 智能虚拟人行为表达系统

### 1.1 虚拟人行为模型

智能来源于人类活动的各种行为,而各种智能又控制着人们的活动,智能与行为是相辅相成的<sup>[11]</sup>,即行为可以产生智能,同时智能又能控制行为. 因此,虚拟人行为建模并不是单一地对行为进行研究,而是研究行为表达和智能交互之间的关系. 简单地说,行为建模主要研究的是行为选择机制,又称行为决策机制.

虚拟人行为控制方面的建模目前主要包括:个体行为建模和群体行为建模. 个体行为建模研究的目的是建立一般性行为模型,但由于人类的行为的复杂性,即使是针对特定应用目前也尚没有良好的行为模型,建立通用型的行为模型还需要更多的时间以及对心理学、行为学等多门学科的更深入的研究和综合. 群体行为建模主要研究多虚拟人环境中的,各虚拟人相互影响后而形成的群体行为,如聚集、跟随等. 本文主要研究有关个体行为建模的问题,提出了一种基于情感决策的虚拟人行为表达模型.

智能行为模型包括基于认知模型与基于行为模型2大类<sup>[12]</sup>,其中基于行为模型对应简单反射行为. 一些学者认为纯粹采用反射系统不能完全模拟

人的行为,人的行为应该是认知和反射2部分行为的结合<sup>[13]</sup>. 基于此观点,本文建立了如图1所示的虚拟人个体行为模型.

模型将行为分为了反射行为和认知行为2种类型,分别对应反射行为机制和认知行为机制. 2部分机制的具体实现将在后面小节中进一步阐述. 研究表明,反射行为的过程主要是感知→行为;而认知行为是感知→认知→行为的过程. 因此,模型加入认知过滤层. 2部分行为在接受外部(真实环境)或内部(虚拟环境)的输入时,都需要经过认知过滤层. 该层对反射行为不起任何作用,因此过滤值设为0;而对认知行为起完全作用,因此过滤值设为1.

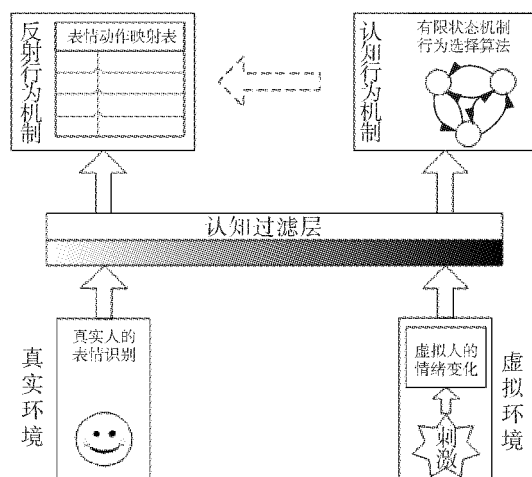


图1 虚拟人行为模型

Fig. 1 Behavior model of virtual human

加入认知过滤层主要有2点原因:其一是希望将感知与认知绑定在一起. 例如,假设人手被热水烫到,人们会条件反射地将手收回,但假如这个人正好受到重大刺激或正在专注于某一重要事情时,可能就不会立刻反应. 所以,可以设定,普通情况下,过滤器对于条件反射的行为无作用;当发生重大事件,情绪受到影响时,对于这部分行为启动过滤器. 其二是考虑到一些经常发生的认知行为可能逐步转变为反射行为,即常说的“经验”,那么认知过滤层的值就会由1变为0. 而在转变的过程中,行为则是以一定概率值表现为反射行为或以一定概率值表现为认知行为,这时认知过滤层的值就应该处于0~1之间,对应此概率值. 由于具体的转变过程需要深入涉及

到行为学和认知科学等方面的知识,将在今后的研究中继续探索.

## 1.2 虚拟人系统的设计

智能科学是由脑科学、认知科学、人工智能等综合形成的交叉学科.情感是人类智能的重要组成部分,它曾被人们误认为是人类智能的一个阻碍.近年来,心理学家不断探索,发现情感在人类的认知和智能推理过程中都发挥着重要的作用.它赋予智能虚拟主体更加拟人化的思考和行为方式,是一种更高层次的智慧的体现<sup>[14-15]</sup>.研究表明人脑的控制模式是:感知觉+情感决定行为<sup>[16]</sup>.如图1所示的行为模型,本文主要研究情感在2类行为中的控制模式.

### 1.2.1 反射行为的实现

反射行为机制主要应用于智能家居环境中虚拟人与真实人交谈的情景.通常,在与一个熟识的人交谈时,会发现其针对某类事件可能会产生某种表情,这是人们在与他人交互、适应社会生活中形成的反射行为.当然,人类的情感与表情是复杂的,不是一成不变的,但针对某类事件,人们通常都会产生近似的某类情感.因此,本文针对家居环境建立了如表1所示的真实人表情与虚拟人表情行为的简单映射表,即当表情识别设备分辨出真实环境中用户的表情时,将其输入到虚拟人系统,虚拟人就能相应地给出表情.例如,当用户很高兴时,虚拟人能以微笑表情作为回应.

表1 表情行为映射表

Table1 Mapping table of facial expression

真实人表情	虚拟人表情
高兴	微笑
悲伤	难过
羞愧	愤怒
兴奋	惊奇
愤怒	恐惧
严肃	平静

虚拟人系统将课题组原有的基于Candide模型的人脸表情合成程序集成进来,用于表情的生成.程序运行时首先会判断虚拟人是否处于交谈模式.如

果是在进行交谈,则虚拟人向智能家居网络系统请求获得当前用户的表情;之后网络会向表情识别设备发出请求,并将得到的识别结果输入到虚拟人系统中.得到表情识别结果后,虚拟人系统将对照表情映射表,确定虚拟人应当以什么表情加以回应,并将需要输出表情的参数传入Candide表情合成这一进程.表情输出完成后,返回到初始步骤,继续判断是否处于交谈模式:如果仍在交谈则不断输出表情;直到交谈结束即不满足处于交谈模式的条件时则该部分程序结束.

### 1.2.2 认知行为的实现

虚拟人只有拥有认知能力才能够真正体现智能,因此本文对虚拟人行为模型的实现更加关注于认知行为部分.认知行为机制主要应用于智能家居环境中用户希望独处的情景下.这时虚拟人就成为家庭用户的一个静默的陪伴者,在用户偶尔需要虚拟人执行一些功能时,其从视频显示设备上跳出;其余时间虚拟人只需按照自己的意愿去做喜欢的事情就可以了,它可以通过学习来成长,通过睡觉补充体力等等.

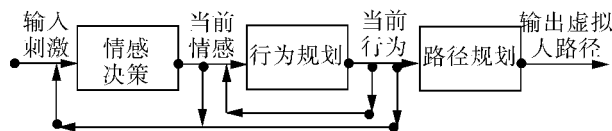


图2 认知行为模块设计图

Fig.2 Cognition behavior module

认知行为机制下,系统的实现主要包括如图2所示的3个模块:情感决策模块、行为规划模块和路径规划模块.当虚拟人受到外界刺激时,虚拟人的情绪首先发生相应的变化,该部分由情感决策模块完成.情绪的改变可能导致行为的改变,因此行为规划模块负责产生虚拟人的自主行为.行为的变化有时伴随着空间位置的转移,这时就需要进行路径规划,该项功能由路径规划模块实现.

初始情况下,系统首先给定一个刺激值和行为状态值,将其输入到情感决策模块,产生虚拟人下一时刻的情感;将新的情感值和当前的行为状态输入

到行为规划模块后,得到虚拟人下一时刻的行为状态;行为规划模块还根据当前行为和上一行为判断是否要进入路径规划模块.如果进入路径规划模块,系统将首先进行路径的二维投影,因为在智能家居的虚拟仿真环境中,地面较为平坦,虚拟人的行走基本发生在二维平面中,二维路径规划完成后再将路径映射回三维虚拟空间中.

本文将在以下章节中依次介绍认知行为机制下的各个模块涉及的相关理论和算法.

## 2 虚拟人情感决策

情感能力是人类智能的重要标志,它在人的感知、推理、决策、计划、创造以及社交等诸多活动中起着不可或缺的作用<sup>[17]</sup>. Gardner 提出了多智能概念,指出个人的智能作为特有的一种人类智能能够处理个人和他人的交往和情感. Damasio 通过对人类的脑神经研究,指出缺少情感反应能力的人通常会作出不符合常理的决策,严重的制约了他的社交能力. Mayer 和 Salovey 提出了重要的“情感智能”这一概念,后来 Goleman 引用了这个概念并形成了目前公认的观点:情感是人类智能中一个重要的组成部分<sup>[14]</sup>.

现有的较为常用的人工情感计算模型有: MIT 的 Juan D. Velasquez 提出的 Cathexis 模型、英国伯明翰大学的 A. Sloman 提出的 CogAff 模型、MIT 的 C. Breazeal 设计的 Kismet 模型、Ortony 等人提出的 OCC 模型等,各种情感模型有各自的优缺点. 本文采用了课题组研究的情感模型.

该模型包括情感状态自发转移和情感状态刺激转移 2 个过程<sup>[18]</sup>. 前者是用来模拟人们受到刺激后一段时间内恢复平静的过程,后者是用来模拟人们受到刺激时情绪的变化. 因此,2 个过程在实际中是交叉产生的,而情感则是随 2 个过程不断变化的,是时间的连续函数.

### 2.1 情感模型的基本假设

人类的情感是十分复杂的,要想使情感机器具有像人类一样丰富的情感及表现,目前还是十分困难的. 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,需要做一些基本的假设和限定.

如果用  $N$  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

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

$$S_i = i (i = 1, 2, \dots, N).$$

假设 1 情感机器只具有人类的几种基本情绪状态. 本文中设定  $N = 4$ .

假设 2 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

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

$$V_m = m (m = 1, 2, \dots, M).$$

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 情感状态的变化包括 2 个过程: 心情状态自发转移和情绪状态刺激转移.

假设 6 境状态自发转移的趋势是: 总是向着平静心境状态转移.

### 2.2 基于马尔可夫链的情感状态自发转移过程

在情感状态概率空间的基础上,情绪状态自发转移过程的基本方程为

$$P^t = P^0 \bar{A}^t. \quad (1)$$

式中:  $P^0 = [p_1^0 \ p_2^0 \ \dots \ p_N^0]$  为初始时刻情绪状态概率分布向量;  $P^t = [p_1^t \ p_2^t \ \dots \ p_N^t]$  为  $t$  时刻情绪状态概率分布向量;  $\bar{A}^t$  为  $t$  阶情绪状态自发转移矩阵;

$\bar{A}$  的极限概率分布为  $\bar{\pi}^* = [\bar{\pi}_1^* \ \bar{\pi}_2^* \ \dots \ \bar{\pi}_N^*]$ . 由式  $\lim_{t \rightarrow \infty} P^t = \bar{\pi}^*$  可知,  $\bar{\pi}^*$  表示情绪状态自发转移过程最终处于稳定时的心情状态概率分布.

在式(1)中,  $P^0$  和  $\bar{\pi}^*$  是事先给定的,只要确定了  $\bar{A}$ ,就可利用式(1)计算任意给定时刻的情绪状态概率分布向量  $P^t$ ,当  $t \rightarrow \infty$  时,有  $P^t \rightarrow \bar{\pi}^*$ .

可以按照文献[18]中的计算方法,当  $N=4$  时,可得状态转移矩阵如下:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \frac{\theta\pi_1^* - 3}{\theta\pi_1^*} & \frac{1}{\theta\pi_1^*} & \frac{1}{\theta\pi_1^*} & \frac{1}{\theta\pi_1^*} \\ \frac{1}{\theta\pi_2^*} & \frac{\theta\pi_2^* - 3}{\theta\pi_2^*} & \frac{1}{\theta\pi_2^*} & \frac{1}{\theta\pi_2^*} \\ \frac{1}{\theta\pi_3^*} & \frac{1}{\theta\pi_3^*} & \frac{\theta\pi_3^* - 3}{\theta\pi_3^*} & \frac{1}{\theta\pi_3^*} \\ \frac{1}{\theta\pi_4^*} & \frac{1}{\theta\pi_4^*} & \frac{1}{\theta\pi_4^*} & \frac{\theta\pi_4^* - 3}{\theta\pi_4^*} \end{bmatrix}.$$

式中:  $\theta=100$ ,  $\bar{\pi}^* = [1/4 \ 1/4 \ 1/4 \ 1/4]$ .

实际生活中,真实人的情绪在刺激事件影响后,情绪需要一个自发回落至平静,因此使用情绪状态自发转移过程主要是为了模仿虚拟人在多个情绪刺激间隔时间内,情绪自动恢复平静的过程.

### 2.3 基于 HMM 情感状态刺激转移过程

根据心理学理论,在有外界情感信息刺激的情况下,情感状态主要体现在情绪的变化,而情绪的变化又受到多方面的影响,概括地说,主要由外界情感信息的刺激(类型、强度)、当前心情状态以及情感性格3个因素共同作用而发生影响,可表示为  $\lambda = (N, M, \pi, \hat{A}, B)$ . 其中,  $N$  表示基本情绪总数,  $M$  表示刺激类型总数,  $\pi$  是 HMM 模型中的初始概率分布,  $\hat{A}$  为情绪状态刺激转移矩阵,  $B$  表示刺激矩阵.

$\hat{A}$  为情绪状态刺激转移矩阵,它的极限概率用  $\hat{\pi}^*$  表示. 具体可由式(2)来确定.

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \frac{\hat{L}_1 - (N-1)}{\hat{L}_1} & \frac{1}{\hat{L}_1} & \cdots & \frac{1}{\hat{L}_1} \\ \frac{1}{\hat{L}_2} & \frac{\hat{L}_2 - (N-1)}{\hat{L}_2} & \cdots & \frac{1}{\hat{L}_2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{1}{\hat{L}_N} & \frac{1}{\hat{L}_1} & \cdots & \frac{\hat{L}_N - (N-1)}{\hat{L}_N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\theta\hat{\pi}_1^* - (N-1)}{\theta\hat{\pi}_1^*} & \frac{1}{\theta\hat{\pi}_1^*} & \cdots & \frac{1}{\theta\hat{\pi}_1^*} \\ \frac{1}{\theta\hat{\pi}_2^*} & \frac{\theta\hat{\pi}_2^* - (N-1)}{\theta\hat{\pi}_2^*} & \cdots & \frac{1}{\theta\hat{\pi}_2^*} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{1}{\theta\hat{\pi}_N^*} & \frac{1}{\theta\hat{\pi}_2^*} & \cdots & \frac{\theta\hat{\pi}_N^* - (N-1)}{\theta\hat{\pi}_N^*} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

外界刺激可以用 HMM 模型中的观察值、观察值矩阵、观察值序列来描述. 观察值集合也就是刺激集合为

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

$$V_m = m(m = 1, 2, \dots, M).$$

令观察值矩阵也就是刺激矩阵为

$$\{B(m, i)\}_{M \times N} = \begin{bmatrix} b_1(1) & b_2(1) & \cdots & b_N(1) \\ b_1(2) & b_2(2) & \cdots & b_N(2) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ b_1(M) & b_2(M) & \cdots & b_N(M) \end{bmatrix}.$$

式中:  $B(V_m) = [b_1(m) \ b_2(m) \ \cdots \ b_N(m)]$ ,  $(1 \leq m \leq M)$  称为对应第  $m$  种情绪状态的刺激向量.  $B(V_m)$  刺激向量  $B(V_m)$  的各个分量的值可确定刺激的类型. 且应满足:

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^M b_i(m) &= 1, (1 \leq i \leq N), \\ \sum_{i=1}^N b_i(m) &= 1, (1 \leq m \leq M), \end{aligned} \quad (3)$$

外界刺激矩阵的具体确定根据式(4):

$$b_i(j) = \begin{cases} a, (i=j) \\ b, (i \neq j) \end{cases} \text{ 且 } a \geq b, \quad (4)$$

$$r = \frac{a}{b}, (r > 1). \quad (5)$$

式中:  $r$  称为刺激影响因子. 由式(3)得:

$$a + (N-1)b = 1. \quad (6)$$

由式(5)和式(6)联合解得:

$$\begin{cases} a = \frac{r}{N-1+r}, \\ b = \frac{1}{N-1+r} \end{cases}, r > 1$$

只要确定  $r$ , 就完全可确定刺激矩阵  $\{B(m, i)\}_{M \times N}$ .

W. Wundt 将感情分为3个维度, 本文将情绪分为4个维度: 愉快-不愉快, 兴奋-沉静, 疲劳-松弛, 确信-不确信, 同时假设虚拟人具有学习、睡觉、玩游戏3种行为, 行为可以产生对应上述情绪的4种类型刺激, 因此,  $N=4, M=4$ .

本文中其他参数取为如下值:

- 1) 刺激参数:  $r=1.06, T_{\max}=55, T \in [1, T_{\max}]$ ;
- 2) 极限概率  $\hat{\pi}^* = [1/4 \ 1/4 \ 1/4 \ 1/4]$ , 参数  $\theta = 18$ ;
- 3) 初始心情状态概率分布:  $\pi = [1/4 \ 1/4 \ 1/4 \ 1/4]$ ;

基于上述情感模型,实现了智能家居环境中的虚拟人的情感决策.

3 家居环境中的虚拟人行为规划

当虚拟人受到外界刺激时,虚拟人的情绪首先发生相应的变化,情绪的改变促使行为的改变. 本节首先介绍了虚拟人进行行为规划所采用的算法,即行为选择机制或行为决策机制,它是行为建模的主要研究内容. 之后,针对智能家居环境,对路径规划——这一人类重要且基本的行为,进行了算法的研究和改进.

3.1 虚拟人的行为规划

由于人类的行为是非常复杂的且涉及到多门学科的研究,因此目前尚没有任何通用或常用的行为规划算法. 对于虚拟人的行为规划,本文采用了有限状态机算法 (finite-state machine model, FSM) 来加

以实现. FSM 是一种常见的动态系统描述方法,它通过对系统状态、触发事件以及系统状态之间的跃迁能够有效地描述一个动态系统的整个生存周期. 许多问题最终都能归结为有限状态机实现<sup>[19]</sup>.

选择该算法,是因为它是一种较为高效的行为决策算法,具有结构清晰、逻辑关系明确等优点,适合具有初始智能的虚拟人的研究. 本文中假设了 3 种虚拟人的认知行为:学习、玩游戏和睡觉. 其有限状态转换图如图 3 所示. 其中,兴奋、P 愉快、疲劳、确信表示当前的情感状态;游戏、睡觉、学习表示当前行为状态. “其他”是兴奋、愉快、疲劳、确信 4 种情感之一,表示当前状态下可能产生且未提及的情感,例如,睡觉行为下,提及了愉快情感,则其他表示兴奋、疲劳、确信;P 愉快表示若愉快情绪达到阈值,在一定概率情况下会执行某一行为.

虚拟人的情绪变化结果由情感决策模块输出,输入给行为规划模块. 在情绪刺激转移过程中,当虚拟人受到某种刺激时,他可能产生某种行为,如学习疲劳后产生的刺激将导致睡觉行为. 刺激可以由行为本身产生,也可以由情绪累积产生. 刺激及可能的行为转换如表 2 所示.

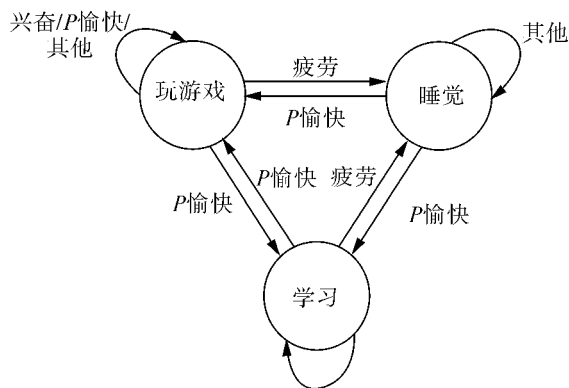
表 2 刺激事件及行为转换表  
Table 2 Stimuli and behaviors transition

行为	行为本身 产生的刺激	情绪累积 产生的刺激	情绪累积 产生的刺激	某种情绪达到阈值 可能产生的行为
游戏	兴奋刺激	兴奋情绪到达阈值 → 愉快刺激	愉快情绪达到阈值(且继 续游戏)→ 疲劳刺激	游戏 / 睡觉 / 学习
睡觉	愉快刺激	无	无	游戏 / 学习
学习	确信刺激	确信情绪到达阈值 →愉快刺激	愉快情绪到达阈值(且继 续学习)→ 疲劳刺激	学习 / 游戏 / 睡觉

情绪自发转移过程主要用于行为转换时使情绪恢复平静. 当虚拟人由某一行为状态转移到另一行为状态时,如学习久了产生了厌倦感,身体也疲劳了,于是想去睡觉,则需要从书房移动到卧室,此时虚拟人需要进行路径规划,在行走的过程中,对学习的厌倦感虽然不可能一下消除,但可能慢慢降低,所

以需要情绪自发转移过程.

以上即为本文建立的基于情感决策的虚拟人行为模型的基本原理及运行机制. 该模型将智能交互与行为表达连接成为了一个有机整体,可以更有效地指挥以生成不同的行为,同时情感决策的加入使得虚拟人做出智能判断时更加人性化.



确信  $P$  愉快其他

图3 行为状态转移图

Fig. 3 Transition graph of behavioral states

### 3.2 家居环境中的虚拟人路径规划

规划能力是人类行为中最重要的特性之一. 基本规划行为中最常见的是路径规划行为. 准确模拟路径规划行为不仅为动画控制提供方便的手段, 而且为进一步模拟复杂的虚拟人行为奠定基础.

路径规划的目的是通过系统或用户指定目标点, 虚拟人从当前位置行走到该目标, 要求满足路径最佳且安全, 达到渲染实时性. 虚拟人又称为软件机器人(Sobot), 它与物理机器人既有不同之处, 又有许多相同之处. 虚拟人的研究目前处于初始阶段, 因此对于路径规划算法的研究有很多参考了物理机器人的路径规划算法. 本文采用了物理机器人路径规划中较为实用的基于行为避障的动态路径规划, 并针对智能家居环境的具体应用对算法进行了改进, 添加了寻找出口模式.

#### 3.2.1 基本的行为避障算法

基本的基于行为的路径规划通常包括以下3种基本行为<sup>[20]</sup>: 奔向目标(move\_to\_goal)、躲避障碍(avoid\_obstacle)和沿墙运动(follow\_wall), 如图4所示.

智能家居环境中多是房间, 房间是由至少三墙壁环绕构成的, 即三面都有障碍物. 对于这种环形结构, 当目标点在障碍物前方, 如图5所示, 普通的基于行为的路径规划会使机器人进入沿墙走模式.

但实际中的人不会如此行走, 人们会在进入房间发现通往目标点没有直接的出口后, 直接调转方向朝门口走去. 因此为了解决该问题, 本文对上述算法进行了改进.

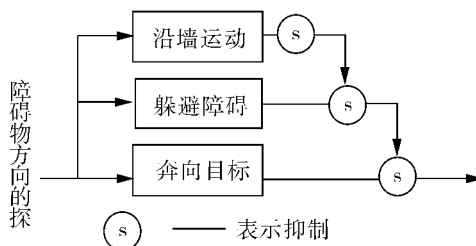


图4 基本算法的控制结构图

Fig. 4 Basic path planning algorithm

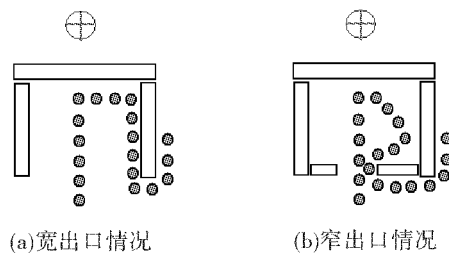


图5 沿墙运动模式的2种情况

Fig. 5 Mode of follow\_wall

#### 3.2.2 改进的行为避障算法

对于实际中的物理机器人, 能够顺利地躲避障碍物, 到达目的地就可以算完成了既定的任务. 但智能家居虚拟仿真环境中的虚拟人, 不仅需要到达目标点, 同时还需要能够更好地模仿实际中的人的活动, 因此本文在原算法的基础上添加了寻找出口的行为模式, 它拥有最高优先级, 在一定条件下将抑制沿墙运动行为, 如图6.

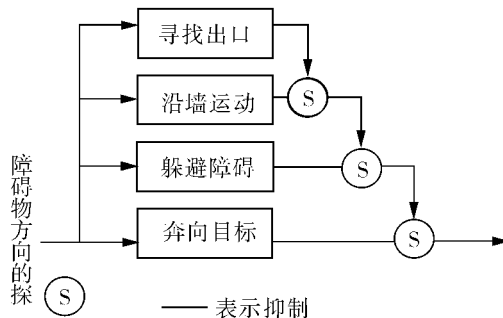


图6 改进算法的控制结构图

Fig. 6 Improved path planning algorithm

寻找出口模式的原理如图7所示. 在奔向目标及躲避障碍物模式的驱使下, 虚拟人走到临近前方墙面的位置时, 基本的行为避障算法将启用沿墙运动模式. 为了使运动更接近实际中人的运动, 即在发现环形区域内前方无出口后, 人将从入口返回, 改进算法此时将启用寻找出口模式, 同时抑制沿墙运动模式. 算法将对入口2端进行连线, 取连线中点作为临时目标点. 当

虚拟人走出连线时,将连线暂时存储为新的障碍物,即赋予虚拟人简单的记忆机制,使其不会再次进入环形区域;直至到达目标点后,即可删除暂存的直线障碍物,相当于虚拟人具有短期记忆。

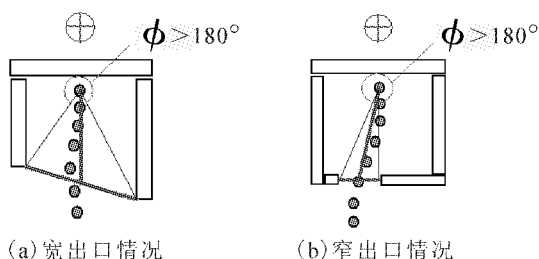


图7 寻找出口模式原理图

Fig. 7 Mode of find\_exit

以当前行进方向为准,虚拟人向左、向右分别探测障碍物的范围,满足下列条件时则进入寻找出口模式:

$$\begin{cases} \phi_1 > 90^\circ, \\ \phi_2 > 90^\circ, \\ \phi_1 + \phi_2 > 180^\circ. \end{cases}$$

式中: $\phi_1$  为左向夹角; $\phi_2$  为右向夹角。

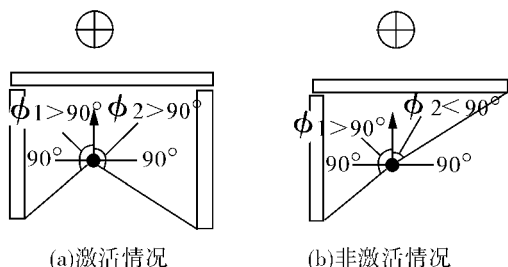


图8 寻找出口模式激活条件示意图

Fig. 8 Activation condition of finding exit mode

左向夹角和右向夹角需要同时大于  $90^\circ$ ,而不是只满足角度和大于  $180^\circ$ ,这是因为可能出现图8(b)所示的情况.此时,和角大于  $180^\circ$ ,但并没有处于三面环形的情形下,即  $\phi_2$  小于  $90^\circ$ .所以需要同时满足以上3个条件,才能进入寻找出口模式。

## 4 仿真实验

本文首先对认知行为中的各个模块进行了仿真,并使用 DirectX9.0 图形库在 VC++2005 平台上最终实现了智能家居虚拟环境下虚拟人的认知行为的三维仿真.下面依次给出模块仿真的结果,并对其进行了简单地阐述和分析。

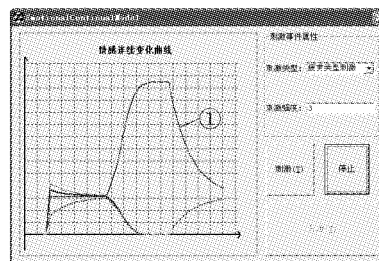


图9 情感决策模块仿真动态曲线图。

Fig. 9 Simulation of emotional decision module

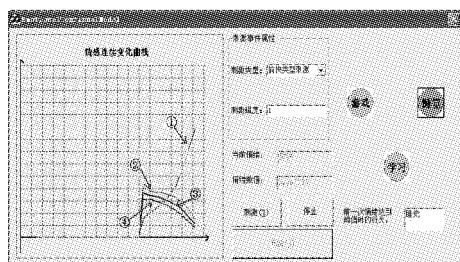
在虚拟人实际应用中,如第2节所述,本文赋予了虚拟人4种情感:兴奋、愉快、疲劳和确信.图9为情感状态转移过程的动态仿真图,该图中刺激类型有4种,对应上述4种情感.初始阶段,由于没有受到任何刺激,可以看到4条曲线呈现聚集状态,这时程序运行情绪状态自发转移过程,曲线都向预先设定的平静时的情感值靠拢.当将刺激类型选为疲劳类型,刺激强度设为3并按下“刺激”按钮时,程序进入情绪状态刺激转移过程,此时由于强度较大,对应疲劳情绪的①曲线迅速增长,但当达到一定值域时,曲线又变得曲率缓和,这是因为当某一刺激持续一段时间后,对人们的作用就不像开始时那么强烈了.之后,按下刺激过程的“停止”按钮,①曲线值逐步下降,其他曲线值逐步上升,再一次向平静值靠拢,程序又进入情绪状态自发转移过程.这2个过程在实际中较为合理,因为人们通常是在某一事件刺激之后,在一段时间内能保持某种情绪,即这种情绪占主导地位,随着时间的推移,刺激作用减弱,人们又慢慢恢复到平静状态。

行为规划模块是通过得到情感模块的输入之后,利用有限状态机算法,使虚拟人自行地在各种行为状态间进行转换,仿真结果如图10所示。

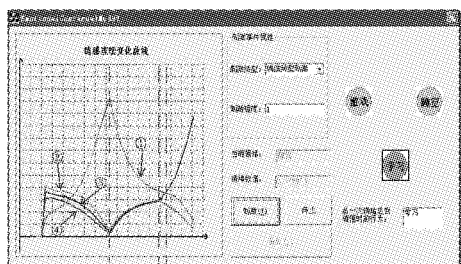
该模块中给兴奋、疲劳、确信、愉快4种情绪分别设定阈值,情绪达到阈值时自动转为情绪状态自发转移过程.程序设初始行为设为睡觉,并设所有事件刺激强度均为1,否则强度过大会使行为转换过快。

由图10(a)可知,虚拟人初始行为为睡觉(黑色方框标注表示当前行为),这时虚拟人受到了愉快类型的刺激,愉快情绪对应的①号曲线值开始上升.当愉快情绪达到阈值时,将进入到情绪状态自发转

移过程,即第1条垂直虚线和第2条垂直虚线之间的部分,如图(b),同时可以看到曲线①在下降,其他情绪曲线在上升。



(a) 初始状态



(b) 转化状态

图10 行为规划模块仿真图.

Fig. 10 Simulation of behavior planning module

由第2节中算法的阐述知道,情绪恢复到平静状态时,行为将继续进行转换.睡觉状态在达到愉快情绪阈值后有一定的概率转变为游戏行为,一定的概率转变为学习行为.在10(b)图中,此次程序运行,可知行为转变为了学习.在第2条虚线处,虚拟人受到了确信类型的情绪刺激,曲线②对应的确信情绪开始上升,但在第2条虚线和第3条虚线之间,需要注意的是,占主导地位的情绪仍是曲线①,即愉快情绪.可见,情绪并非在受到某种刺激之后就立即转变为与刺激相关的情绪,而是需要一定的时间,同时刺激的强度也影响了这一过程的长短,这与实际中人们的情绪变化较为相近.第3条虚线之后,曲线②的值最大,并呈上升趋势,此时虚拟人情绪为确信.图11显示了对于类似智能家居环境中的三面环绕的房间形状的障碍物,改进的行为避障算法进行二维路径规划的效果图.其中小的圆形实心点为路径起始点,十字箭头形状表示路径终止点,斜条纹矩形为每次运行时手动添加的虚拟障碍物.

根据改进的行为避障算法,虚拟人进行路径规划时,将在进入沿墙走模式前判断是否需要进入寻

找出口模式.图中连接出口的浅色直线代表虚拟人短期记忆时添加的临时障碍物,使虚拟人不会再次进入房间,而是在走出房间后寻找其他可通行路径达到目标.由图可知,虚拟人能够顺利地直接从房间直接掉头走出,可见改进的路径算法达到了预期的效果.最终系统将情感决策模块、行为规划模块、二维路径规划模块融合在一起,在三维虚拟仿真环境中实现.图12显示了虚拟人当前位于客厅.由程序中的文本框可知虚拟人当前的情绪状态,行为状态等情况.

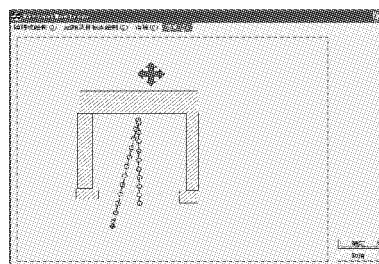


图11 路径规划模块仿真图

Fig. 11 Simulation of path planning module

图13是虚拟人在一段时间内的三维路径序列图.中间三维空间的仿真图用不同颜色标明了8段运动轨迹,对应了虚拟人在实际虚拟空间中的9个点,虚线箭头指向的是这9个位置的实际显示图.初始时,虚拟人处于睡觉状态,位于点1指向的状态.在身体从疲劳恢复之后,虚拟人想去游戏,于是从卧室移动到客厅,即由1→2,2→3,3→4 3条线段组成的路径.又过了一段时间,虚拟人想去学习了,于是从客厅移动到书房,即4→5的过程.最后,在感到疲劳后,虚拟人又从书房到卧室去休息,是5→6,6→7,7→8,8→9的过程.由5→6可知,虚拟人先是希望从书房以直线的方式直接到达卧室的,但发现前方有墙,于是直接转向入口出去,即6→7,这是寻找出口模式的实现.

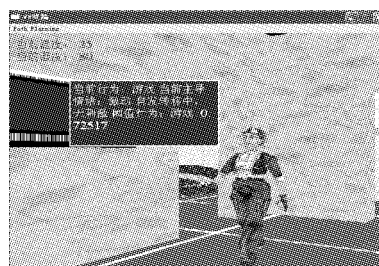


图12 情感与行为状态三维实现图

Fig. 12 Realization of emotion and behavior in 3-D

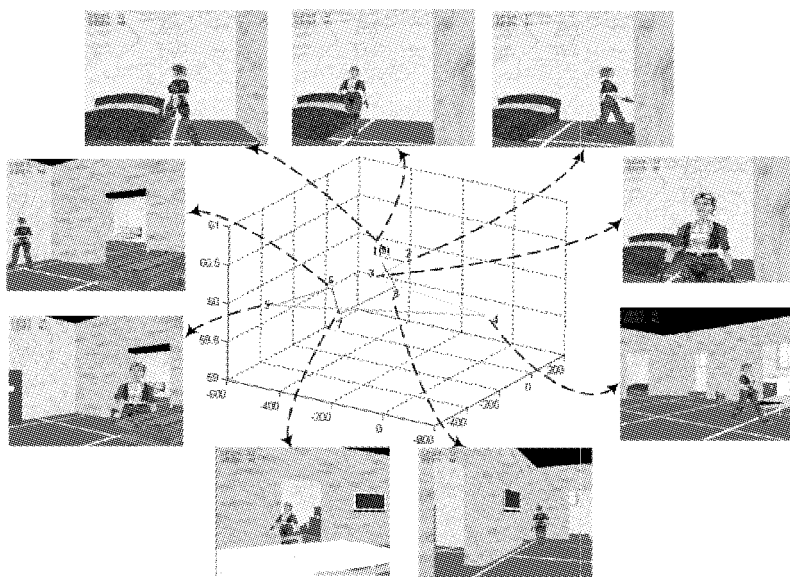


图13 三维路径序列图

Fig. 13 Sequence charts of path in 3-D

## 5 结束语

本文主要对虚拟人的智能与行为方面的问题进行了研究.建立了针对智能家居应用环境的虚拟人行为模型,在该模型中,提出了认知过滤层,该层可以将来应用于通用的行为建模问题.对于虚拟人的智能,主要研究了情感智能的作用,具体实现了虚拟人的4种情感,并通过情感智驱动行为规划,使虚拟人实现一定程度上的认知行为.针对智能家居环境,还对基本行为——路径规划进行了实现并改进了行为避障算法.通过仿真实验,验证了认知行为各个模块的可行性.

在今后的研究中,本文还可以做进一步的改进,如行为决策机制只采用有限状态机算法,虽然算法高效,实时性较好,但适合较简单智能的实现.随着研究的深入以及虚拟人智能需求程度的提高,该算法可能将不能满足行为选择的要求.如果将来能在智能层加入学习等机制,虚拟人将拥有不断成长的智能.虚拟人的研究有着广阔的应用前景,同时,对虚拟人的研究也是对人类智能研究的新途径.

## 参考文献:

- [1] 史晶晶. 虚拟环境下虚拟人感知模型的研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2007.
- [2] SHI Jingjing. A research on virtual human's perceptive model in virtual environment[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2007.
- [3] 倪慧. 自主虚拟人关键技术的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [4] NI Hui. Research of the key technologies for autonomous virtual human[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [5] HENDRIK A H C, VAN VEEN, HARTWING K D, BRAUN S J, et al. Navigating through a virtual city: Using virtual reality technology to study human action and perception[J]. Future Generation Computer Systems, 1998, 14 (3-4): 231-242.
- [6] FETTER W A. A progression of human figures simulated by computer graphics[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1982, 2(9): 9-13.
- [7] BLAKELEY F M. Cyberman[M]. Detroit, Mich: Chrysler Corp, 1980:25-29.
- [8] ZERRIN K, NADIA M T. Intelligent virtual humans with autonomy and personality: state-of-the-art[J]. Intelligent Decision Technologies, 2007, (1): 3-15.
- [9] 王兆其. 虚拟人合成研究综述[J]. 中国科学院研究生院学报, 2000, 17(2): 89-98.
- [10] WANG Zhaoqi. Study on synthesis of virtual human[J]. Journal of Graduate School, Academia Sinica, 2000, 17

- (2): 89-98.
- [8] 刘箴, 赵杰煜. 一种基于心理学的智能虚拟人动机模型[J]. 系统仿真学报, 2008, 20 卷(增刊): 458-461.  
LIU Zhen, ZHAO Jieyu. Psychology-based motivation model for intelligent virtual humans[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(Suppl): 458-461.
- [9] CHAN M, CAMPO E, ESTÈVE D, et al. Smart homes - Current features and future perspectives [J]. Maturitas, 2009, 64(2): 90-97.
- [10] KRZYSKA C. Smart house simulation tool (MA Dissertation) [D]. Kongens Lyngby: Technical University of Denmark, 2006.
- [11] 杜亚军. 搜索引擎智能行为的研究与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.  
DU Yajun. Study and implementation on intelligent action of search engine [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2005.
- [12] 许威威, 潘志庚, 张明敏. 智能虚拟环境中的决策模型及其应用[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(5): 496-502.  
XU Weiwei, PAN Zhigeng, ZHANG Mingmin. Decision model in intelligent virtual environment [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(5): 496-502.
- [13] 刘 艳. 三维虚拟人行为控制关键技术的研究[D]. 天津: 天津大学, 2003.  
LIU Yan. Research of the key technologies in behavior controlling for 3-D virtual human [D]. Tianjin: Tianjin University, 2003.
- [14] 杨宏伟. 可交互智能虚拟主体及其情感研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.  
YANG Hongwei. Study on interactive intelligent virtual Agent and its emotion [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [15] MARTÍNEZ-MIRANDA J, ALDEA A. Emotions in human and artificial intelligence [J]. Computers in Human Behavior, 2005, 21(2): 323-341.
- [16] 祝长生, 王志良. 人工情感[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 17-25.
- [17] PICARD R W. Affective computing. Cambridge, Mass, London England, 1997.
- [18] 滕少冬. 应用于个人机器人的人工心理模型的研究[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.
- [19] 董刚. 基于自主智能体的群体动画创作方法研究与实现[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004.  
DONG Gang. Study and implement of group animation based on autonomous Agents [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2004.
- [20] 谭民, 王硕, 曹志强. 多机器人系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 83-97.

#### 作者简介:



黄晓丹, 女, 1983 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机图形学, 人机交互与虚拟现实, 人工智能。



王粉花, 女, 1971 年生, 副教授, 主要研究方向为智能信息处理, 单片机及嵌入式应用等, 发表学术论文多篇。



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、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。