

虚拟人动机驱动的自主情绪模型研究

刘 箴¹⁾ 潘志庚²⁾

¹⁾(宁波大学信息科学与工程学院, 宁波 315211) ²⁾(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310058)

摘 要 模拟虚拟人的各种情绪计算模型在很多领域具有重要意义, 一个可信的虚拟人不仅要有3维几何形状, 而且也要具有自主的情绪。基于已有的情绪模型研究, 建立了一种新的基于动机驱动的自主情绪模型。根据心理学和认知科学, 提出了虚拟人的认知结构, 该结构集成了知觉、情绪、心境、个性和行为。构建了内部动机和外部刺激的一种形式化描述, 基本情绪强度可以采用这种模型来计算, 而情绪状态是各种基本情绪状态的合成。为了实现情绪的自适应, 提出了情绪的增强学习方法。在微机上实现了一个包含虚拟人的3维虚拟场景, 这种新的情绪模型能够使虚拟人的自主情绪表现更加可信, 实验结果表明了该方法是有效的。

关键词 虚拟人 情绪 动机

中图法分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)05-773-09

Research on Motivation-driven Based Autonomous Emotion Model for Virtual Human

LIU Zhen¹⁾, PAN Zhi-geng²⁾

¹⁾(Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211)

²⁾(State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310058)

Abstract Computational emotion models for virtual humans are very important in many fields. A believable virtual human should have both geometry shape, and autonomous emotion. Based on previous researches on emotion models, a new motivation-driven based autonomous emotion model is set up. A cognitive architecture of virtual human is presented by psychology and neural science; it includes perception, emotion, mood, personality, motivation and behavior. A formalization of inner motivation and external stimuli is built; the intensity of a basic emotion can be calculated in the model, and emotion state is the union of all basic emotions. In order to realize the self-adapting mechanism of emotion, a Q-learning method for emotion learning is also proposed. A 3D virtual scene with virtual humans is realized on PC, new emotion model can make a virtual human's autonomous emotion expression more believable, the experiment shows that our method is effective in virtual human's emotion simulation.

Keywords virtual human, emotion, motivation

1 引言

现代信息社会的快节奏生活使人们的心灵面临各种情绪体验, 对人类情绪模拟的研究正在成为计算机应用的一个新领域^[1]。情绪和情感有所不同,

情感着重于表达心理过程的感受, 它一般具有较大的稳定性和深刻性。而情绪, 则常用于情感的表现形式, 它具有较大的情境性和短暂性。尽管心理学中的情绪理论尚不成熟^[2], 但这并不妨碍人们对情绪模拟的探索。建立虚拟人的情绪模型, 也是对人类心灵的一种审视过程, 这些研究也必将有助于启

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2006AA01Z303); 宁波市自然科学基金项目(2007A610038)

收稿日期: 2008-10-12; 改回日期: 2008-12-12

第一作者简介: 刘 箴(1965 ~), 男, 副研究员。1996年于哈尔滨工业大学获工学博士学位。目前主要研究兴趣为情感计算、虚拟现实、计算机动画等。E-mail: liuzhen@nbu.edu.cn

发完善现有的情绪理论。

目前心理学中有关情绪的各种理论方法存在着多样性^[3],很难找到适合在计算机系统上实现的自主情绪模型。已有的情绪模型研究往往偏重在人类认知过程的某个侧面^[4],而人的认知过程是一个有机的整体。正如心理学家伊扎德所指出的,“任何情绪系统应该包含动机,并和知觉系统集成在一起”^[5]。现代脑科学的研究成果表明,人的大脑有情绪产生的区域,下丘脑、边缘叶和杏仁体是情绪产生的重要器官。此外,大脑半球皮层也参与情绪认知过程。人的情绪产生过程是一个极其复杂的过程,是内部动机和外部刺激共同作用的结果,并与人的自主神经系统紧密联系在一起^[6]。

心理学家 Hull 曾经试图建立行为心理学的形式化体系^[7],尽管它的理论细节存在不足,但对人类心理现象的定量描述一直是人们不断探索的目标。我们从 2001 年开始探索虚拟人的情绪模型,受到 Hull 工作的启发,本文基于已有的工作基础^[8-12],提出了虚拟人动机驱动的自主情绪模型,并试图定量地揭示情绪与动机,情绪与外部刺激之间一般性关系,为创造具有自主情绪特征的虚拟人提供定量的控制方法。

2 对动机、刺激、个性和情绪的评述

动机是人活动的内部推动力,它是引导和维持个体行为导向某个目标的意念。从心理学的角度,引起动机的条件包括内部需求和外部刺激。所谓需求是个体内部对某种东西的缺乏而引起的不平衡状态,马斯洛提出了关于人类需求的一般性规律,人类的需求可以划分为若干等级,某个等级的需求至少部分地得到满足,才会萌发下一个等级的需求^[13]。人类对各种基本需求的支配力是不同的,在所有的基本需求中,对人的行为具有最大支配力的需求可称为“优势需求”,人的行为基本上围绕着满足“优势需求”来展开的。

各种外部刺激在心理学上又称为诱因,凡是个体趋向或接受它而得到满足的诱因称为正诱因;凡是个体因为躲避或逃离而得到满足时的诱因称为负诱因。劳伦兹从生态学的角度,提出了动机液压机模型^[14],该模型认为一种行为是内部驱动和外部驱动(刺激)共同驱动的结果,一旦这些驱动达到某个阈值,将触发相应的行为或情绪。尽管劳伦兹的

模型有些不足,但它较好地解释了当内部需求或者外部诱因足够大时,将触发某种行为或情绪。

个性是个体行为的内部倾向性的心理特征。表现为能力、气质、兴趣、需要、动机等方面的整合,是个体在社会化过程中形成的独特身心组织。整体性、社会性、稳定性、独特性是个性的基本特征。个性是人类重要的心理参数,个性与人的感知、情绪、动机具有密切的关系,每个可信服的虚拟角色应具有独一无二的个性。有关虚拟角色的个性建模工作仍然是十分初步的,如对个性变量的选择和内部结构缺乏描述,对个性和其他心理变量之间的关系也缺乏描述。

在情绪研究中,基本情绪一直是一个比较有争议的话题。然而,越来越多的证据表明,人类确实具有一些跨文化的基本情绪^[15],计算神经科学的发展使人们加深了对情绪机理的理解^[16]。如果我们要建立情绪的计算机模型,就不能回避基本情绪的问题,我们可以把心理学意义上的基本情绪概念再做延伸。假如要模拟特定领域的人类情绪,我们需要进行必要的调研,划分情绪状态之间的包含关系,其实 OCC 理论(Ortony、Clore 和 Collins 创立的理论)也对人类的情绪进行了划分,从而确定这些领域中到底包含哪些基本情绪。人类对情绪的认识必然也是多层次的,在一定层次下,如果一种情绪不能继续分解为其他情绪的组合,则可以认为该情绪是一种基本情绪。按照这样的划分,一种情绪状态总可以利用基本情绪状态组合而成,并为情绪模型的建立提供了方便。假如拒绝使用基本情绪的观点,就不能充分利用对情绪划分的知识,并在数学上无法对情绪做更深入的形式化分析。

3 虚拟人情绪模型研究现状

1988 年,Ortony 等人提出了一种情感理论(即 OCC 理论)^[17],这是最早从人工智能的角度描述人类情感的著作,近年来 OCC 理论被广泛地应用于虚拟现实等领域,但该理论并未给出具体的情绪模型算法。1977 年,Picard 教授系统阐述了人类情感计算的问题^[18],从而极大地推动了情感计算研究。Oz 项目组开展了可信性智能体研究^[19-20],可信意味着行为和个性更加逼真。可惜 Oz 项目工作缺乏生动的演示作品,他们采用了 OCC 理论构建角色的情感结构,但是尚未建立一个可计算的情绪模型,智能体

还可以进一步把上述的 t-协范式算子推广到多维变量的情况,设 TNM 是一个从 $[0, 1]^n$ 到 $[0, 1]$ 的映射,如果 $z = TNM(x_1, x_2, \dots, x_n)$, TNM 称为多维协范式算子,满足下面的 3 个条件:

$$(1) \text{ 有界性 } TNM(x_1, 0, \dots, 0) = x_1$$

$$(2) \text{ 交换性 } TNM(x_1, x_2, \dots, x_n) = TNM(x_n, \dots, x_2, x_1)$$

$$(3) \text{ 单调性 } \text{If } y_1 \leq y_2, \text{ then } TNM(x_1, x_2, \dots, y_1, \dots, x_n) \leq TNM(x_1, x_2, \dots, y_2, \dots, x_n)$$

设 MV 是一个动机集合,它包括各种动机变量。设 $MV(m) (\rightarrow E)$ 代表能够驱动基本情绪 E 的动机集合, $m \in [1, w]$, w 是动机变量的个数。 MV_m 是 $MV(m) (\rightarrow E)$ 的一个元素, $\mu(MV_m)$ 是 $MV(m) (\rightarrow E)$ 的隶属函数。如果 $\mu(MV_m) = 1$, 虚拟人对 MV_m 的需求达到最大值;如果 $\mu(MV_m) = 0$, 虚拟人对 MV_m 的需求达到最小值。

设 $\mu(MV)$ 是所有 $\mu(MV_m)$ 的最大值,它表示为

$$\mu(MV) = \max_{m=1}^w \mu(MV_m) \quad (1)$$

一般地,只有人的内部需求达到一定的程度,才能主动感知外部环境中的刺激,对每个虚拟人,可以设定一个 $\mu(MV)$ 的界限值 LMO , 只有 $\mu(MV)$ 大于 LMO 时,才会考虑外部刺激对情绪的影响。

设 STI 是一个外部刺激集合, $STI(s)$ 是 STI 的一个元素, $s \in [1, nst]$, nst 是刺激的个数。一般地,虚拟人和刺激的距离会影响知觉和情绪状态。所谓外部刺激的强度是知觉对外部刺激的一种评价。人的情绪可以看成是知觉对外部刺激评价的结果,基本情绪 E 是指情绪类型划分中最基本的类型。 $STI(s) \rightarrow E$ 代表能够产生基本情绪 E 的一个外部刺激,设 $PER(j) (STI(s) \rightarrow E)$ 是该刺激在知觉器中的主观映像集合。 PER_j 是 $PER(j) (STI(s) \rightarrow E)$ 的元素, $j \in [1, v]$, v 是知觉变量的个数。

设 $\mu(PER_j)$ 是 $PER(j) (STI(s) \rightarrow E)$ 的一个隶属函数,它可以表示知觉的强度。可以设计面向某个领域的刺激知识库,对于给定的刺激类型 ty , $PER(j) (STI(s) \rightarrow E)$ 代表对该类型刺激在知觉器中的主观映像集合。 $\mu(PER_j)_{ty}$ 是 $PER(j) (STI(s) \rightarrow E)$ 的隶属函数,它和刺激到虚拟人的距离密切相关。根据 Herrero 所提出的知觉清晰度概念,如果知觉清晰度达到最大值 1,意味着观察者能够感知物体(刺激)的全部细节;如果知觉清晰度达到最小值 0,意味着观察者无法感知物体的任何细节。换言

之,存在着清晰感知某个物体(刺激)的最大和最小距离^[32]。基于这种思想,设 dis_{ty} 代表从刺激 $STI(s)_{ty}$ 中心到虚拟人的距离,为给出简便计算 $\mu(PER_j)_{ty}$ 的方法,假设 $\mu(PER_j)_{ty}$ 是 dis_{ty} 的函数,可以选定某种类型刺激,规定该类型刺激外观的正常规模(依据尺度和颜色等因素)。

不失一般性,对于适度规模的刺激。设 $dzero_{ty}$, $dmin_{ty}$ 和 $dmax_{ty}$ 是 3 个界限值,可以构造 $\mu(PER_j)_{ty}$ 如下:

(1) 如果 $dis_{ty} \leq dzero_{ty}$, 虚拟人对刺激的整体感知清晰度将随着 dis_{ty} 减少而减少,如果虚拟人是逐渐接近刺激,那么可以不考虑感知清晰度, $\mu(PER_j)_{ty} = 1$ 。如果虚拟人是突然接近该刺激的,要考虑感知清晰度的概念,在这种情况下,可以设 $\mu(PER_j)_{ty} = dis_{ty} / dzero_{ty}$ 。

(2) 如果 $dis_{ty} \geq dmax_{ty}$, 意味虚拟人距离刺激“足够远”,感知清晰度为零, $\mu(PER_j)_{ty} = 0$ 。

(3) 如果 $dzero_{ty} \leq dis_{ty} \leq dmin_{ty}$, 感知清晰度最大, $\mu(PER_j)_{ty} = 1$ 。

(4) 如果 $dmin_{ty} < dis_{ty} < dmax_{ty}$, 设 $d_+ = dmax_{ty} + dmin_{ty}$, 和 $d_- = dmax_{ty} - dmin_{ty}$, $\mu(PER_j)_{ty}$ 可以采用下式来计算:

$$\mu(PER_j)_{ty} = 0.5 - 0.5 \sin \frac{\pi}{d_-} (dis_{ty} - 0.5d_+) \quad (2)$$

如果刺激的外观规模很大,可以设定一个界限值 $dmin_{ty}$, 如果 $dis_{ty} \leq dmin_{ty}$, $\mu(PER_j)_{ty} = 1$ 。如果, $dis_{ty} \geq dmin_{ty}$, 设 $ka > 0$, $\mu(PER_j)_{ty}$ 可采用下式来计算:

$$\mu(PER_j)_{ty} = e^{-ka(dis_{ty} - dmin_{ty})^2} \quad (3)$$

对于基本情绪 E , 设 $\mu(O)$ 是所有刺激类型的最大 $\mu(PER_j)_{ty}$ 值,即

$$\mu(O) = \max_{s=1}^{nst} [\max_{j=1}^v \mu(PER_j)_{ty}] \quad (4)$$

一种基本情绪的触发是外部刺激和内部驱动共同作用的结果,如下暂时不考虑个性的影响,设 $\mu(O)$ 是外部刺激的度量, $\mu(MV)$ 是内部动机的度量。根据 t-协范式算子的定义,可以把触发基本情绪的驱动力定义为关于 $\mu(O)$ 和 $\mu(MV)$ 的 t-协范式算子。设 $TN(\mu(O), \mu(MV))$ 为 t-协范式算子。如果 $\mu(O) = 0$, 意味着没有外部刺激的影响,只有内部动机驱动基本情绪。设 RF_1 是界限值(也可以称为动机抵抗力),如果 $RF_1 \leq TN(0, \mu(MV))$, 则相应的基本情绪将触发。如果 $\mu(MV) = 0$, 没有来自内部动机的

影响,只有外部刺激驱动基本情绪。设 RF_2 是界限值(也可以称为刺激抵抗力),如果 $RF_2 \leq TN(\mu(O), 0)$, 则相应的基本情绪将触发。选择 $RF_a = TN(RF_1, RF_2)$, RF_a 可称为抵抗力,如果 $RF_a \leq TN(\mu(O), \mu(MV))$, 则相应的基本情绪将触发。在具体应用中,可以直接设定 RF_a 的大小。为了估算基本情绪强度 $\mu(E)$, 设 RF_b 是另外一个界限值,如果 $TN(\mu(O), \mu(MV)) > RF_b, \mu(E) = 1$ 。设 $\delta_+ = RF_b + RF_a, \delta_- = RF_b - RF_a, \mu(E)$ 可采用下式来估算:

$$\mu(E) = 0.5 + 0.5 \sin \frac{\pi}{\delta_-} (TN - 0.5\delta_+) \quad (5)$$

设 EM 是一个情绪集合, Em 是 EM 的一个元素,它代表一个情绪变量, $E(i)$ 是一个基本情绪集合, $i \in [1, N], E_i$ 是 $E(i)$ 的一个基本元素, N 是基本情绪的个数。 $\mu(E_i)$ 是 $E(i)$ 的隶属函数,代表基本情绪的强度, $\mu(E_i) \in [0, 1]$ 。一般地,情绪状态可以看成是基本情绪状态的合成,即

$$EM = \bigcup_{i=1}^N E(i) \quad (6)$$

如果希望给出 EM 的强度估算函数 $\mu(Em)$, 则可以把它看成是多维 t-协范式算子的结果,设 TNM 是一个多维 t-协范式算子, $\mu(Em)$ 可以表现为

$$\mu(Em) = TNM(\mu(E_1), \dots, \mu(E_n)) \quad (7)$$

设 BH 是一个基本行为集合, $BH = \{bh_1, \dots, bh_{nb}\}$, $i \in [1, nb], bh_i$ 是一个基本行为, nb 是基本行为的个数。对于两个行为 bh_1 和 bh_2 , 可以定义一些行为的运算符号,从而描述行为执行的次序性。例如, $bh_1 \rightarrow bh_2$ 表现为 bh_1 先执行而 bh_2 后执行; $bh_1 \wedge bh_2$ 表现为 bh_1 和 bh_2 同时执行。

设 MD 是心境集合,心境可以看成一种长期的情绪状态。与描述情绪方法相类似, $MD(i)$ 是一个基本心境变量集合, md_i 是 $MD(i)$ 的一个元素, $\mu(md_i)$ 是 $MD(i)$ 的隶属函数, $\mu(md_i) \in [0, 1]$ 。一般地, MD 可以表现为

$$MD = \bigcup_{i=1}^N MD(i) \quad (8)$$

可以将每一次的情绪体验叠加到心境中,同样一定的心境也会影响到虚拟人的情绪表现。设 $\mu(E_i)_{em}$ 是一种基本情绪在考虑心境后的隶属函数,它可以采用下式来计算:

$$\mu(E_i)_{em} = \mu(E_i) + \mu(MD_i) \quad (9)$$

当情绪强度从最大值开始衰减时,考虑情绪强度的衰减是在何种外部条件下进行的。如果驱动力快速

消失,则情绪强度的衰减可以采用下式来计算:

$$\mu(E) = e^{kb(TN - \delta_i)^2} \quad (10)$$

如果驱动力是逐渐减弱的,则情绪强度的衰减也和驱动力本身密切相关,这样的过程和情绪强度上升的过程类似,但是要考虑一些衰减的因素,设 $\gamma \in [0, 1]$, 情绪强度的衰减可以采用下式来计算:

$$\mu(E) = 0.5 + 0.5\gamma \sin \frac{\pi}{\delta_-} (TN - 0.5\delta_+) \quad (11)$$

在上式中,当 $TN = 0$, 可以把相应 $\mu(E)$ 的结果叠加到心境中。

设 PS 是个性集合,可以将心理学意义的个性概念加以推广,把一个虚拟人的个性看作一些个体独有的变量,包括生理变量和心理变量。设 $PS(k)$ 是某个个性的集合, $k \in [1, pn], pn$ 是个性的类型数量。 $PS(k)$ 是 $PS(k)$ 的一个元素, $\mu(PS(k))$ 是 $PS(k)$ 的隶属函数,用来表示是否具有某种个性变量的程度。一般地, PS 可以表示为

$$PS = \bigcup_{k=1}^{pn} PS(k) \quad (12)$$

在前面的分析中,均未考虑虚拟人的个性因素。而个性其实会影响基本情绪的触发条件。例如,个性会影响到 RF_a , 设 ud 是影响系数, $ud \times RF_a$ 是考虑个性后新的 RF_a 值。设 $ud = FP(ud_1, ud_2, \dots, ud_{pn})$, FP_k 是一个从 $\mu(PS(k))$ 到 ud_k 的函数, $k \in [1, pn], ud_k = FP_k(\mu(PS(k)))$, 如果 $\mu(PS(k)) = 0, ud_k = 1$ 。

虚拟人的情绪主要通过表情和身体姿态来表现,这里暂不考虑镜头或者虚拟人面部颜色变化对表现虚拟人情绪的影响,而主要考虑如何根据基本情绪强度来定量控制虚拟人的情绪表现,这也正是虚拟人情绪模型研究的重要应用。设 N 是基本情绪类型的个数, emp_i 是某个基本情绪的表现度量值(如关节角度或面部变形的程度), $i \in [1, N]$, 而 emp 是虚拟人总的情绪表现度量值,一般地, $\mu(E_i)_{em}$ 代表第 i 种基本情绪强度,在不考虑社会环境因素的前提下(在一定的社会压力下,人的情绪可能不一定通过表情或身体姿态表现出来),可以认为 $\mu(E_i)_{em}$ 代表第 i 种基本情绪的表现强度,可以将 emp 概括为如下的线性公式:

$$emp = \sum_{i=1}^N \mu(E_i)_{em} emp_i \quad (13)$$

利用式(13),可以创造虚拟人在复合情绪状态下的表情(见下节图2和图3)。

在上述的分析中,如果改变虚拟人的精神变量

的参数时,虚拟人将表现出不同的情绪状态。基本情绪的触发可以概括为“驱动力大于抵抗力”,而抵抗力对于不同的虚拟人来说是不尽相同的。利用机器学习中的增强学习模型^[33],可以实现某个虚拟人抵抗力的学习。我们可以先设置不同的抵抗力,并观察虚拟人相应的行为,设 st 为状态, ac 是行动, rw 是补偿, γ_q 是衰减系数, 设 nst 是新的状态, nac 是新的动作, 增强学习算法可以概括为下面的方程:

$$Q_n(st, ac) \leftarrow (1 - \alpha_n) Q_{n-1}(st, ac) + \alpha_n [rw + \gamma_q \max_{nac} Q_{n-1}(nst, nac)] \quad (14)$$

$$\alpha_n = 1 / (1 + visits_n(st, ac)) \quad (15)$$

这里 $visits_n(st, ac)$ 是状态-行动对在 n 次循环内被访问的总次数。

6 实验原型

在微机上实验了上述模型,将上面的模型具体化,首先定义如下的关系:

$$TN(\mu(O), \mu(MV)) = \min\{1, \mu(MV) + \mu(O)\} \quad (16)$$

在一个 3 维虚拟环境中,每个虚拟人具有个性和动机。

如果在虚拟环境要表现一个虚拟人动机驱动的自主情绪,应赋予该虚拟人寻找食物的动机,对于虚拟人 Jane, 可以赋予口渴的动机,使她能在口渴的驱动下,主动寻找饮料,如果她发现草地上有一瓶饮料,她的情绪产生过程(如图 4、图 5 所示)的判别方法如下:

(1) 设 Jane 具有 6 种基本情绪,即高兴、厌恶、生气、悲伤、恐惧、惊奇。其他情绪状态可以从这 6 种基本情绪组合产生,这样的组合能够产生较丰富的情绪状态。

(2) 考虑 Jane 可能的心理个性,即和悦性、开放性、公正性、外向性、情绪性。本例中,为简便起见,假设 Jane 同时只有一种个性。如果 Jane 的个性是和悦性, $PS(1) = agreeableness$, 并且 $\mu(PS(1)) = 1$ (其他 $\mu(PS(k)) = 0$)。如果 Jane 的个性是公正性, $PS(3) = conscientiousness$, 并且 $\mu(PS(3)) = 1$ (其他 $\mu(PS(k)) = 0$)。

(3) 考虑 Jane 可具有 5 种需求,即生理需求 (Physiological)、安全需求 (Safety)、联系和爱的需求 (Affiliation)、成功需求 (Achievement)、自我实现 (Self-Actualization)。为简便起见,虚拟人在某个时

刻只能具有一种动机, Jane 的生理需求仅考虑对食物和水的需求。为了模拟 Jane 口渴的程度, $\mu(MV)$ 代表 Jane 的喝水动机的隶属函数,如果有充分的领域知识,可以建立 $\mu(MV)$ 的经验公式,为了说明问题,这里仅给出了一种简便的方法。

(4) 设 M_{water} 是 Jane 的最大喝水量, V_{wspeed} 是 Jane 在单位时间里身体内水的消耗速度, T_{lapt} 是从上次喝足水后到目前的时间。 $\mu(MV)$ 可以采用如下式来计算:

$$\mu(MV) = \min\{1, (T_{lapt} \times V_{wspeed}) / M_{water}\} \quad (17)$$

设 $LMO = 0.3$, 只有当 $\mu(MV)$ 大于 LMO 才会考虑外部刺激的影响。

(5) 外部刺激为水源,为了具体给出 $\mu(O)$ 的公式,假设对于水源刺激,设 $dmin_{ty} = 2$ (单位), $dmax_{ty} = 32$ (单位), dis 代表水源距离 Jane 的距离。 $\mu(O)$ 可以采用如下式来计算:

$$\mu(O) = 0.5 - 0.5 \sin \frac{\pi}{30} (dis - 17) \quad (18)$$

(6) 为了判定基本情绪“高兴”的触发条件,可以设定 Jane 的 $RF_a = 0.3$, $RF_b = 0.9$, 假设 $dis = 27$ (距离单位), $T_{lapt} = 600$ (时间单位), $V_{wspeed} = 0.03$ (速度单位), $M_{water} = 50$ (质量单位), $TN(\mu(O), \mu(MV)) = 0.43$, 则高兴的情绪被触发。此时高兴的隶属函数根据上式(18)计算约为 0.11。如果考虑 Jane 的个性参数,则相应的情绪触发界限值和情绪强度也相应地发生变化。

(7) 个性对情绪触发的影响体现在对 RF_a 和 RF_b 的改变,因为 RF_a 和 RF_b 是没有考虑个性的“中间值”。 $NRF_a(k)$ 是仅考虑第 k 个个性变量后新的 RF_a , $NRF_b(k)$ 是仅考虑第 k 个个性变量后新的 RF_b 。设 $ANRF_a$ 是考虑全部个性变量更新后的 RF_a , $ANRF_b$ 是考虑全部个性变量后更新的 RF_b 。可以构造 $ANRF_a$ ($ANRF_b$ 的计算类似)的公式如下:

$$ANRF_a = \sum_{k=1}^{pn} \mu(PS(k)) NRF_a(k) / \sum_{k=1}^{pn} \mu(PS(k)) \quad (19)$$

如果 Jane 的个性是和悦性 $PS(1) = agreeableness$, 并且 $\mu(PS(1)) = 1$ (其他 $\mu(PS(k)) = 0$), 本例中设 $NRF_a(1) = 0.9 \times RF_a$, 及对这种个性的虚拟人,相应的“高兴”情绪更容易触发。

如果 Jane 的个性是公正性 $PS(3) = conscientiousness$, 并且 $\mu(PS(3)) = 1$ (其他 $\mu(PS(k)) = 0$), 本例中设 $NRF_a(3) = 1.5 \times RF_a$, $ANRF_a =$

$NRF_a(3) = 0.45$, 则 $TN(\mu(O), \mu(MV))$ 小于 $ANRF_a$, 不会触发“高兴”情绪。

(8) 创造具有情绪化的身体姿态和表情是情绪表现的重要技术环节, 其中对虚拟人复合表情的生成方法已经在前面的文献[12]中阐述, 这里介绍产生情绪化动作的方法。为描述不同身体姿态的变换, 可以采用动作图的概念^[34-35]。动作图是一个有向图, 动作图的节点表示虚拟人要执行的动作, 边表示动作之间的运算。动作运算要保证所有的动作信号有一个统一时间段, 然后选择动作中一些比较重要的事件发生的时刻作为关键时刻, 以便计算和对应各个动作的相位。为使人体动作的平滑过渡, 可以采用信号处理技术, 引入如下符号:

A_i : 表示动作信号, 下标 i 为动作的索引号

θ_{ij} : 表示第 i 个动作信号的第 j 个自由度

K_{im} : 表示第 i 个动作信号的第 m 个关键时刻

T : 实际时间

t : 规范时间, 经过时间映射后得到

P_s : 起始相位

P_e : 终止相位

一个动作信号可以表示为

$$A_i = \{ \theta_{ij}(T), K_m, P_s, P_e, |, i = 0, \dots, numExamples; j = 0, \dots, numDof - 1; m = 0, \dots, numKeytime \} \quad (20)$$

它由身体各个自由度的信号、关键时刻及相位信息组成。 $numExamples$ 为动作片段的数量, $numDof$ 为关节自由度数量, $numKeytime$ 为关键时刻分段数。通过关键时刻, 可以构造分段的线性映射将动作信号的实际时间 $[0, \dots, K_{numKeytime}]$ 映射到规范时间段 $[0, \dots, 1]$ 。动作信号的开始和结束都被看作为关键时刻, 即有 K_0 为 0, $K_{numKeytime}$ 为动作信号的时间长度。定义一个从实际时间 T 到规范时间 t 的映射^[36]:

其中, N_k 是动作信号中关键时刻的个数, $m = \max(i | K_i < T)$ 。 $t(T)$ 可以表示为

$$t(T) = \left[m - 1 + \frac{T - K_m}{K_{m+1} - K_m} \right] \frac{1}{N_k - 1} \quad (21)$$

在两个关键时刻之间, t 通过线性插值得到。对相同类型的动作来说, 经过时间映射之后, 相同的 t 时刻对应信号的相似部分。在实际应用中, 上述使用关键时刻进行动作对应方法过于复杂, 可以采用相位来进行动作信号间的对应。例如对行走等常见动作, 计算相位以运动的一个循环为基准, 其他非

循环动作, 均需预先给定起始和终止相位。对于运动信号插值, 可以在过渡时间段内定义单调递增的函数 f , f 取值在 $[0, 1]$ 之间, 定义一个 $[0, 1]$ 之间插值系数 (根据经历的运动时间在该区段所占的比例), 在过渡时间段内使用 $(1 - f)$ 和 f 对主从动作信号进行线性插值, 就可生成过渡的动作。

(9) 为创建虚拟人非言语情绪交互, 可以针对每个虚拟人设置一个情绪交互脚本文件, 其中记录着每个虚拟人与其他虚拟人的相互身份关系、情绪交互距离和优先度、情绪交互规则 (确定产生何种情绪给对方), 当虚拟人与环境中其他虚拟人相遇时, 可以控制虚拟人之间的非言语情绪交互, 如图 6 和图 7 所示。

图 2 玛丽的表情 (“愤怒”和“厌恶”)

Fig. 2 Mary's expression (“anger” and “disgust”)

图 3 玛丽的表情 (“悲伤”和“愤怒 + 厌恶 + 悲伤”)

Fig. 3 Mary's expression (“sadness” and “anger + disgust + sadness”)

图 4 珍妮走向一个饮料瓶

Fig. 4 Jane walks to a drinking bottle

图 5 当珍妮发现饮料瓶时的表情

Fig. 5 Jane's expression when she find a drinking bottle

图 6 汤姆向玛丽微笑

Fig. 6 Tom smiles to Mary

图 7 玛丽也向汤姆微笑

Fig. 7 Mary also smiles to Tom

了虚拟人的认知结构,建立了一种基于动机驱动的自主情绪模型,该模型考虑了知觉、刺激、动机、情绪、心境和个性之间的定量关系。文中,对与情绪相关的虚拟人精神变量和外部刺激给出了形式化描述,并引入 t-协范式算子来表示虚拟人内部动机和外部刺激的合成运算,通过设定虚拟人抵抗力的概念,可以定量判定基本情绪的触发条件。本文给出了基本情绪强度估算公式,并提出了根据基本情绪强度来估算情绪表现的定量方法。此外,还提出了利用增强学习模型来实现对情绪触发条件的调整方法。在微机上对上述模型进行了实验,结果表明该模型可以使虚拟人的情绪表现更加自然,便于开发各种虚拟人情绪动画(如创建游戏中虚拟角色的情绪动画)。

本文的工作为建立在一定情境下的情绪模拟提供了一种途径,但由于人类情绪过程的复杂性,情绪建模仍有大量值得探索的课题。下一步工作是研究在制定虚拟社会规范的前提下,上述模型如何继续深化。

致 谢 对本文的工作给予支持和宝贵建议的同行表示衷心的感谢!

参考文献 (References)

- 1 Liu Zhen. Research on virtual human's emotion expression model in field of digital entertainment [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(10): 2865-2869. [刘箴. 数字娱乐领域中的虚拟人情绪表现模型研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(10): 2865-2869.]
- 2 Che Wen-bo. New Handbook of Modern Psychology [M]. Changchun: Jilin Publisher, 2001: 422-423. [车文博. 当代西方心理学新词典[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2001: 422-423.]
- 3 Bernstein D A, Stewart A C, Roy E J, et al. Psychology [M]. New York, USA: Houghton Mifflin Company, 1997: 359-377.
- 4 Stuart Walton. Humanity: An Emotion History [M]. Shang Hai Popular Science Press, 2007. [斯图亚特·沃尔顿. 人性: 情绪的历史[M]. 王锦等翻译. 上海: 上海科学普及出版社, 2007.]
- 5 Strongman K T. The Psychology of Emotion [M]. 5th ed. Chichester, England: John Wiley&sons, 2003, 124-125. [Strongman K T. 情绪心理学[M]. 第 5 版, 王力等翻译, 北京: 中国轻工业出版社, 2006, 124-125.]
- 6 Arbib M A. The Handbook of Brain Theory and Neural Networks [M]. 2ed. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 2002: 398-401.
- 7 Hull C L. Principles of Behavior [M]. New York, USA: Appleton-Century-Crofts, 1943.
- 8 Liu Zhen, Pan Zhi-geng, Xu Wei-wei. A method of emotional behavior

7 结 论

具有自主情绪的虚拟人能够按照自己的意愿来表现情绪,它不是根据动画师的预先设计来表现情绪,而是根据内在的情绪模型来驱动的。本文提出

- animation of virtual human [A]. In: Proceedings of Virtual Environment on PC Cluste [C], Protvino-St. Petersburg, Russia, 2002: 277-283.
- 9 Liu Zhen, Pan Zhi-geng. Animation model of emotional behavior on virtual human [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, **8**(7): 817-822. [刘箴,潘志庚.虚拟人情绪行为动画模型[J].中国图象图形学报,2003,**8**(7):817-822.]
- 10 Liu Zhen. Research on behavior and plan model of virtual human [J]. Journal of System Simulation, 2004, **16**(10): 2149-2152. [刘箴.虚拟人行为规划模型研究[J].系统仿真学报,2004,**16**(10):2149-2152.]
- 11 Liu Zhen, Pan Zhi-geng. An emotion model of 3D virtual characters in intelligent virtual environment [A]. In: First International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction [C], Beijing, China, 2005: 629-636.
- 12 Liu Zhen. Synthesis of emotion vector and expression vector for virtual human [J]. Journal of System Simulation, 2006, **18**(Suppl.1): 404-406. [刘箴.虚拟人情绪向量和表情向量的合成[J].系统仿真学报,2006,**18**(Suppl.1):404-406.]
- 13 Maslow Abraham H. Motivation and Personality [M]. New York: Harper, 1970. [亚伯拉罕·马斯洛.动机与人格[M].第3版.许金声译.北京:中国人民大学出版社,2007:3-79.]
- 14 Lorenz K, Leyhausen P. Motivation of Human and Animal Behavior: an Ethological View [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1973.
- 15 Ekman Paul. Understanding Faces and Feelings [M]. London, UK: Weidenfeld & Nicolson, 2003. [[美]保罗·艾克曼著.情绪的解析[M].海口:南海出版社,2008.]
- 16 Anders S, Ende G, Junghofer M, et al. Understanding Emotions [M]. Amsterdam: Elsevier B V, 2006. [[德]安德斯,恩蒂,钟郝佛等编著(2007).情感理解[M].北京:科学出版社,2007.]
- 17 Ortony A, Clore G L, Collins A. The Cognitive Structure of Emotions [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988: 68-83.
- 18 Picard R W. Affective Computing [M]. Cambridge, London, England: MIT Press, 1997.
- 19 Reilly W S N. Believable Social and Emotional Agents [D]. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie-Mellon University, 1996.
- 20 Nelson M, Mateas M. Search-based drama management in the interactive fiction anchorhead [A]. In: Proceedings of Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AHDE 2005) [C], Marina del Rey, California, USA: AAAI Press, 2005: 99-104.
- 21 Chi D, Costa M, Zhao L, et al. The emote model for effect and shape [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH 2000 Conference [C], New Orleans, Louisiana, USA, 2000:173-182.
- 22 Gratch J, Marsella S. A Domain-independent framework for modeling emotion [J]. Journal of Cognitive Systems Research, 2004, **5**(4): 269-306.
- 23 Sevin E de, Thalmann D. A motivational model of action selection for virtual humans [A]. In: Computer Graphics International Conference (CGI) [C], New York, NY, USA: IEEE Computer Society Press, 2005:540-543.
- 24 Egges A, Kshirsagar S, Thalmann N M. Generic personality and emotion simulation for conversational agents [J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2004, **15**(1): 1-13.
- 25 Wen-PohSun, Binh Pham, AsterWardhani. Personality and emotion-based High-level control of affective story characters [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, **13**(2): 281-292.
- 26 Aylett R, Louchart S, Dias J, et al. Unscripted narrative for affectively driven characters [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2006, **26**(3):42-52.
- 27 Wang Zhi-Liang. Artificial psychology and artificial emotion [J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2006, **1**(1): 38-43. [王志良.人工心理与人工情感[J].智能系统学报,2006,**1**(1):38-43.]
- 28 Tao Jian-hua, Tan Tie-niu. Digitalization of human's emotion [J]. PC World, 2004, (1): 29-32. [陶建华,谭铁牛.数字化人类情感[J].微电脑世界,2004,(1):29-32.]
- 29 Fu Xiao-lan. Affective computing in E-learning [J]. Computer Education, 2004, (12): 27-30. [傅小兰.电子学习中的情感计算,计算机教育,2004,(12):27-30.]
- 30 Jiang Dan-ning, Cai Lian-hong. Speech emotion recognition using acoustic features [J]. Journal of Tsinghua University (Sci & Tech), 2006, **46**(1), 86-89. [蒋丹宁,蔡莲红.基于语音声学特征的情感信息识别[J].清华大学学报(自然科学版),2006,**46**(1),86-89.]
- 31 Siler W, Buckley J J. Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning [M]. New York: John Wiley & Sons, 2005: 57-58.
- 32 Herrero P, Antonio A D. A human based perception model for cooperative intelligent virtual agents [A]. In: Proceedings of the Tenth International Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS 2002) [C], Irvine, CA, USA, 2002:195-212.
- 33 Mitchell T M. Machine Learning [M]. New York, NY, USA: McGraw-Hill Publishing Company, 1997:380-382.
- 34 Xu Wei-wei, Pan Zhi-geng, Zhang Ming-min. Footprint sampling-based motion editing [J]. International Journal of Image and Graphics, 2003, **3**(2): 311-324.
- 35 Kovar L, Gleicher M. Motion graph [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'2002 [C], San Antonio, TX, USA, 2002: 473-482.
- 36 Rose C F, Cohen M, Bodenheimer B. Verbs and adverbs: multidimensional motion interpolation [J]. IEEE Computer Graphics & Application, 1998, **18**(5): 32-40.