

# 智能体的一种个性模型<sup>\*</sup>

刘 箴

(宁波大学信息科学与工程学院 宁波 315211)

**摘 要** 模拟人类的思想正变得越来越重要,智能体就是模拟人类行为的重要工具。个性是智能体的一个重要属性,可信的角色不仅要具有行为、情绪,而且也要具有丰富的个性。建立智能体的个性化模型一直是心理学家和计算机学家的一个热门话题。综述了个性建模的研究现状,提出了一种新的个性建模途径,其目标是建立面向教育游戏的个性模型,并有效地集成行为、情绪、动机和个性。

**关键词** 个性,虚拟角色,动机

## Personality Model of Virtual Character

LIU Zhen

(College of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract** Simulation of human's thinking is becoming more and more important, intelligent virtual character is an important simulation tool of human's behavior. Personality is an important characteristic for virtual character, a believable character should not merely have behavior, emotion, and it should have abundant personality even more. Setting up the computer model of personality of virtual character is a hot topic of psychology and computer science all the time. The current state of research on modeling personality was reviewed, a new way of modeling personality was proposed. The goal was to set up a computer model of personality in digital entertainment, which can integrate behavior, emotion and personality together.

**Keywords** Personality, Virtual characters, Motivation

## 1 引言

近年来,智能主体(以下简称主体)的概念已经在数字娱乐(电脑游戏)中到了一定的应用,其属性包括:自主性(Autonomy)、主动性(Activity)、反应性(Reactivity)、可动性(Mobility)、社会性(Sociality)、长寿性(longevity)、移动性(mobility)、理性(rationality)、适应性(adaptability)等。在世界问题的不同层次上,可以设计出不同的主体模型<sup>[2]</sup>,根据问题的不同类型,个体的人或团体都可以视为智能体;其次,人本身就是智能系统中最重要的一环,真正有效的主体模型应是人与计算机有机结合在一起的多主体系统。因此,主体应该具有和人类类似的属性,除了具有知识、信念、意图、承诺等心智状态外,还应具有情绪和个性。

为了创造具有丰富个性化行为真实感的智能体,就需要建立能够模拟人类思考过程的计算机模型。自从情感计算的概念诞生以来<sup>[1]</sup>,研究人类行为的计算机模型一直是计算机和心理学家十分感兴趣的课题,一旦在此方面的研究得到突破,人们就可以利用这些成果构建具有行为真实感的智能体。认知科学最新研究表明,人的情绪产生不仅和外部刺激有关,也和人的内部个性密切相关,同样的外部刺激,不同个性的人对此常表现出不同的情绪反应。个性研究是情感计算研究走向深入的重要环节。

个性(Personality)是心理学中的一个重要概念,原指个体行为的内部倾向性的心理特征<sup>[2]</sup>。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,每个可信服的智能体应具有独一无二的个性。建立角色的个性计算机模型正在引起数字娱乐学术界和产业界的密切关注。例如,著名的电脑游戏《模拟人生》中,角色被赋予了简单的个性特征,用户可以扮演一个角色,和其他的角色交朋友,参加各种聚会活动,从而增强了游戏的娱乐性。但目前为止,有关个性的计算机模型研究远未深入,特别和情感计算领域相比,有关个性研究方面的文献仍然是十分零散的,现有的研究仍不能满足构建具有丰富个性的智能体的要求<sup>[3,4]</sup>。个性建模存在几个难点。首先,心理学中的个性理论有多种,个性建模必须综合现有的个性理论,选择尽可能多的个性参数。其次,应考虑如何建立个性和认知过程其他心理变量的联系,如建立个性和动机的联系等。再次,要考虑个性如何体现在角色运动表达上,即建立从高层的个性语义到底层的运动数据之间的联系。最后,要考虑到个性的社会属性,角色的个性在虚拟社会中应该具有进化的能力。

综上所述,为了构建具有丰富个性的智能体,必须将现代认知科学、心理学、脑科学等领域的研究成果与数字娱乐结合起来。个性作为人类认知过程的一个重要参数,必然和其他心理过程结合成一个整体来工作,建立一个可计算的个性模型,必须考虑人的认知过程的主要变量。

## 2 个性建模研究现状

卡内基-梅隆大学开发的 Oz 项目的目标是建立具有高度可信性的智能体<sup>[5-7]</sup>。Oz 项目组最突出的贡献在于提出可信

<sup>\*</sup> 基金项目:浙江省科学技术厅科技项目(No. 2006C33046),宁波市自然科学基金(No. 2007A610038)。

智能体的概念,可信意味着行为和个性更加逼真。他们很早就意识到构建角色个性的重要性,可惜 Oz 项目工作缺乏生动的演示作品,研究工作仅仅是个性建模的一个初步探索。他们采用了 OCC 情绪理论构建角色的情绪结构,但是尚未建立一个可计算的情绪和个性模型,角色缺乏有效的感知功能,仅能表现有限的情绪特征。美国 Pennsylvania 大学虚拟人课题组开发了智能体动画软件 Jack,该软件可以解决工业工程领域中的人-机工效仿真,Jack 采用的是一个多边形模型,具有刚性的分段、精确的关节运动和约束。利用 Jack,该课题组采用有限状态机来控制智能体的行为,提出了采用角色的运动参数来简单表现个性特征的方法<sup>[8]</sup>。此外,他们还借鉴现代舞蹈艺术的动作分析方法,提出了增强角色运动表现力的 EMOTE 系统<sup>[9]</sup>。Ball 等提出了一种基于贝叶斯网络的个性化讲话模型<sup>[10]</sup>,但该模型仅仅涉及两个个性特征(严肃性和友好性)。Perlin 使用周期性的噪声函数来增添个性表现力,采用脚本方法控制智能体的动作,由此生成的智能体更有个性<sup>[11]</sup>。Rousseau 等采用产生式规则来描述角色的个性<sup>[12]</sup>,但该模型只能描述简单的个性。Moffat 基于 Frijda's 的情绪评价理论,阐述了个性参数表达的思想,他的工作仍是框架性的,缺乏足够的细节<sup>[13]</sup>。瑞士 Thalman 夫妇领导的虚拟现实研究小组一直在从事智能体的研究工作<sup>[14]</sup>,该课题组提出了一种利用矩阵来表现个性的方法<sup>[15]</sup>,从而可以模拟智能体在人机对话中情态的变化,但是该模型没有和外部刺激联系起来。Gratch 等人还进一步提出了一种基于认知评价的情绪模型<sup>[16]</sup>,可以较好地模拟当前情境下的情绪表现,但该模型缺乏对情绪和个性内部结构的详细描述。最近,Read 等人提出了采用神经网络构建个性的方法<sup>[17]</sup>,他们认为,人的个性是可以进化的,但该模型仅建立了一个简单的认知结构,缺乏感知、情绪、外部刺激、个性之间的有机联系。

产生智能体具有个性化的身体动作曾得到许多研究者的关注。Unuma 等引入了一个基于傅立叶函数模型来描述和操纵智能体周期性的动作<sup>[18]</sup>。也有一些研究者提出智能体运动捕获数据的编辑方法,从而创造具有情绪化的身体动作<sup>[19]</sup>。有关面部表情代表性的方法是建立肌肉模型<sup>[20]</sup>。至今,在智能体的面部表情生成已经拥有 MPEG-4 国际标准<sup>[21]</sup>,这些工作为创建参数化的个性化表情动画提供了基础。事实上,为了创建具有丰富个性的智能体,不仅要考虑智能体的自身运动,也要考虑和环境的相互作用,因此,上述这些方法有待进一步完善。在电脑游戏领域和电子商务领域,通过采用运动捕捉技术,智能体的动作越来越逼真,同时人工智能技术也得到一定的应用。麻省理工学院媒体实验室在情绪建模方面也有一些研究工作,如 Blumberg 的课题组也一直从事人工动物方面的研究,他们建立了人工动物的动机模型<sup>[22]</sup>,Velasquez 提出了一种动机驱动的情绪模型<sup>[23]</sup>,这些工作尚未涉及个性建模。在构建个性化的人机对话可信智能体方面,主要的工作集中在表情和身体姿态的生成技术方面,而对个性还缺乏一个计算模型。

我国近年来开展了智能体的研究,主要工作集中在智能体的造型和运动算法方面,有关智能体个性方面的研究工作还不多见。北京科技大学开展了人工心理方面的系列研究<sup>[24]</sup>,建立基于 HMM 和 EHMM 的情感行为模型,并采用情绪熵与情感熵的概念约束模型的初始值,从而使该模型适应不同的性格特征。浙江大学人工智能研究所开展过角色运动捕获数据编辑处理方面的研究,浙江大学 CAD&CG 国家

重点实验室在智能体情绪行为动画方面也进行过系统研究<sup>[25]</sup>。北京大学提出人脸表情空间的概念等<sup>[26]</sup>。

综合国内外研究现状,可以发现,有关智能体的个性建模工作仍然是十分初步的,这些研究仍不足以构建具有丰富个性的智能体,具体表现在以下几点:

1) 缺乏对个性结构的清晰描述: 现有的工作没有为智能体的认知过程建立一个详细的结构,特别是个性变量的选择和内部结构缺乏描述,如何选择合适的个性参数,如何将现有的心理学成果和认知科学的最新进展结合起来都是值得深入研究的。

2) 个性和其它心理变量缺乏整体联系: 人的心理活动是一个整体过程,感知、情绪、个性、动机这些认知模块是不可分割的,现有的研究最多只局限在个性和情绪之间的联系,如何将个性和其它认知模块建立联系,这是构建个性模型的关键。

3) 个性作为一个不确定性变量,现有研究尚缺乏一种数学表述方法。如何将软计算理论应用到个性的描述不失为一种新思路。

### 3 智能体的个性模型

本节引入如下的定义,以便于个性的形式化处理,旨在建立行为(情绪)与个性与动机之间的关系。

**定义 1** 对于给定的智能体,  $BH$  是一个基本行为集合,  $BH = \{bh_1, \dots, bh_{NB}\}$ ,  $i \in [0, NB]$ ,  $bh_i$  是一个基本行为(如“搜索食物”)。  $NB$  是基本行为的个数。

**定义 2** 对于给定的智能体,  $E$  是情绪变量,  $BE$  是一个基本情绪集合,  $BE = \{be_1, \dots, be_N\}$ ,  $i \in [0, N]$ ,  $be_i$  是一个基本情绪(如“高兴”),  $N$  是基本情绪的个数。

**定义 3** 对于情绪变量  $E$ ,  $EI_i(t)$  是基本情绪变量  $be_i$  的强度函数,且  $EI_i(t) \in [0, 1]$ 。如果  $EI_i(t) = 0$ ,智能体不产生基本情绪  $be_i$ ,如果  $EI_i(t) = 1$ ,智能体的情绪状态正好处于基本情绪  $be_i$ 。

**定义 4** 对于给定的智能体,  $O_j$  是一个外部的刺激,  $j \in [0, no]$ ,  $no$  是外部刺激的个数。  $\Theta[O_j]$  是外部刺激  $O_j(t)$  的对激活基本情绪  $be_i$  的强度函数,  $\Theta[O_j] \in [0, 1]$ 。

**定义 5** 对于给定的智能体,  $BC_i$  是基本行为  $bh_i$  的抵抗强度,  $i \in [0, NB]$ 。  $BC_i$  越小,越容易触发基本行为  $bh_i$ ,  $BC_i \in [0, 1]$ 。

**定义 6** 对于给定的智能体,  $EC_i$  是基本情绪  $be_i$  的抵抗强度,  $i \in [0, N]$ 。  $EC_i$  越小,越容易触发基本情绪  $be_i$ ,  $EC_i \in [0, 1]$ 。

**定义 7** 对于给定的智能体,  $PS_k$  是个性变量,  $I[PS_k]$  是个性  $PS_k$  的强度函数,  $I[PS_k] \in [0, 1]$ ,  $k \in [1, nps]$ ,  $nps$  是个性的参数。

**定义 8** 对于给定的智能体,  $MV_m$  是动机变量,  $m \in [1, w]$ ,  $w$  是动机变量的个数。  $I[MV_m]$  是  $MV_m$  的强度函数,  $I[MV_m] \in [0, 1]$ 。  $R_m$  是  $MV_m$  的权重,且  $R_m \in [0, 1]$ ,所有的  $R_m$  和等于 1。

**定义 9** 对于给定的  $BC_i$ , 个性必然要影响到行为状态,  $PB_{ki}$  是  $PS_k$  对  $BC_i$  的影响系数,  $NBC_{ki}$  是考虑  $PS_k$  影响下更新的  $BC_i$ ,  $NBC_{ki} = \min [PB_{ki} BC_i, 1]$ ,  $PB_{ki} \geq 0$ 。如果  $PB_{ki} = 1$ ,  $NBC_{ki} = BC_i$ , 个性对行为的抵抗强度不产生影响。  $NBC_{ki}$  是考虑来自所有个性影响下的更新的  $BC_i$ , 它可以通过如下的公式来计算:

$$NBC_i = \sum_{k=1}^{n_{PS}} I[PS_k] NBC_k / \sum_{k=1}^{n_{PS}} I[PS_k] \quad (1)$$

定义 10 对于给定的  $EC_i$ , 个性必然同样影响到情绪状态,  $PE_{ki}$  是  $PS_k$  对  $EC_i$  的影响系数。  $NEC_{ki}$  是考虑来自个性  $PS_k$  影响下更新的  $EC_i$ ,  $NEC_{ki} = \min [PE_{ki} EC_i, 1]$ ,  $PE_{ki} \geq 0$ 。如果  $PE_{ki} = 1$ ,  $NEC_{ki} = EC_i$ , 个性对情绪的抵抗强度没有影响。  $NEC_i$  是考虑所有个性影响下更新的  $EC_i$ , 它可以通过如下的公式来计算:

$$NEC_i = \sum_{k=1}^{n_{PS}} I[PS_k] NEC_{ki} / \sum_{k=1}^{n_{PS}} I[PS_k] \quad (2)$$

定义 11 对于给定的  $BC_i$ , 动机对行为产生影响,  $MB_{mi}$  是  $MV_m$  对  $BC_i$  的影响系数。  $MBC_{mi}$  是考虑  $MV_m$  影响下更新的  $BC_i$ ,  $MBC_{mi} = \min [MB_{mi} BC_i, 1]$ ,  $MB_{mi} \geq 0$ 。如果  $MB_{mi} = 1$ ,  $MBC_{mi} = BC_i$ , 动机对行为不产生影响。  $MBC_i$  是考虑所有动机变量影响后更新的  $BC_i$ , 它可以通过如下的公式来计算:

$$MBC_i = \sum_{m=1}^n I[MV_m] R_m MBC_{mi} / \sum_{m=1}^n I[MV_m] R_m \quad (3)$$

定义 12 对于给定的  $EC_i$ , 动机同样对情绪产生影响,  $ME_{mi}$  是  $MV_m$  对  $EC_i$  的影响系数,  $MEC_{mi}$  是考虑来自  $MV_m$  影响下更新的  $EC_i$ ,  $MEC_{mi} = \min [ME_{mi} EC_i, 1]$ ,  $ME_{mi} \geq 0$ 。如果  $ME_{mi} = 1$ ,  $MEC_{mi} = EC_i$ , 动机不影响情绪状态。  $MEC_i$  是考虑所有动机变量影响后更新的  $EC_i$ , 它可以通过如下的公式来计算:

$$MEC_i = \sum_{m=1}^n I[MV_m] R_m MEC_{mi} / \sum_{m=1}^n I[MV_m] R_m \quad (4)$$

定义 13 对于给定的  $BC_i$ , 个性和动机均会影响到行为状态,  $TBC_i$  是考虑来自个性和动机影响下更新的  $BC_i$ ,  $TBC_i = \min (NBC_i, MBC_i)$ 。

定义 14 对于给定的  $EC_i$ , 个性和动机均会影响到情绪状态,  $TEC_i$  是考虑来自个性和动机影响下更新的  $EC_i$ ,  $TEC_i = \min (NEC_i, MEC_i)$ 。

如果  $\Theta[O_i] - TEC_i \geq 0$ , 基本情绪  $be_i$  被触发(基本行为触发条件与此类似), 一种基本情绪被触发后, 其情绪强度将经历上升、平稳、下降 3 个阶段。各阶段的具体公式可以作为情绪知识库的一部分, 根据游戏的内容来进行构造。

人的情绪往往不是处于单一的基本情绪状态, 人的若干基本情绪状态描述了人的情绪的状态。设  $be_i$  是基本情绪  $be_i$  的单位向量。例如,  $be_1 = \{1, \dots, 0\}$ ,  $be_N = \{0, \dots, 1\}$ 。设  $E$  代表情绪  $E$  的情绪状态,  $E$  在  $be_i$  的投影长度是  $EI_i(t)$ ,  $E$  可以按照如下的公式计算:

$$E = \sum_{i=1}^N EI_i(t) be_i \quad (5)$$

#### 4 实验原型

为了验证上述方法, 在微机上开发一个简单虚拟场景, Mary 是一个智能体, 假设她正在看电视, 电视节目构成了外界的刺激源, 根据电视节目是否有趣以及 Mary 的个性, 可以确定 Mary 的情绪表现如何, 我们可以假定 Mary 具有如下的一些认知参数:

(1) Mary 具有 6 种基本情绪的表现能力, 即高兴(Happiness)、厌恶(Disgust)、生气(Anger)、悲伤(Sadness)、恐惧(Fear)、惊奇(Surprise)。其他情绪状态可以从这 6 种基本情绪组合生成。

(2) 智能体可以具有 5 种个性, 即和悦性 (agreeableness)、开放性 (openness)、公正性 (conscientiousness)、外向性 (extraversion)、情绪性 (neuroticism)。因为现实的人, 可能

上述 5 种个性或多或少存在, 故引入了个性强度函数的概念。在本例中, 为简便起见, 假设 Mary 同时只有一种个性。如果 Mary 的个性是 agreeableness,  $PS_1 = agreeableness$ , 并且  $I[PS_1] = 1$  (其他  $PS_k = 0$ )。如果 Mary 的个性是 conscientiousness,  $PS_3 = conscientiousness$ , 并且  $I[PS_3] = 1$  (其他  $PS_k = 0$ )。

(3) 根据马斯洛的需求层次理论, 人类可以具有 5 种动机变量, 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, 假设智能体在某个时刻只能具有一种动机, 如 Mary 看电视是一种和外界交流的需求, 所以 Mary 的动机是 Affiliation, 假设所有  $R_m$  均相等,  $I[MV_3] = 1$ 。

(4) 设  $O_i = \{\text{有趣的电视节目}\}$ , 在当前时刻, 刺激的个数是 1, 设  $\Theta[O_1] = 0.8$ , 其他  $\Theta[O_i] = 0$  ( $i = 2, 3, 4, 5$ )。

(5) 设  $EC_1 = 0.7$ , 并定义  $NEC_1$  和  $MEC_1$  的计算规则, 如果角色的个性是 agreeableness,  $NEC_1 = EC_1$ ,  $MEC_1 = EC_1$ ; 如果角色的个性是 conscientiousness,  $NEC_1 = \min[1.2 * EC_1, 1]$ ,  $MEC_1 = \min[1.2 * EC_1, 1]$ 。

(6) 如果 Mary 的个性是 agreeableness,  $TEC_1 = 0.7$ ,  $\Theta[O_1] > TEC_1$ , 基本情绪 “Happiness” 被触发。如果 Mary 的个性是 conscientiousness,  $TEC_1 = 0.84$ , 基本情绪 “Happiness” 不会被触发, Mary 的表情为中性。

(7) Mary 的表情动画采用 VC++ 编程实现, 见图 1。此外, Mary 还可以表现复杂的表情, 见图 2。



图 1 当个性是和悦性或公正性时 Mary 的表情

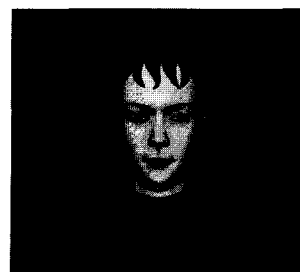


图 2 Mary 的面部情绪合成(悲伤+愤怒+厌恶)

结束语 本文在分析现有智能体个性建模研究现状的基础上, 针对现有模型未能建立个性与情绪、个性与动机相互联系的不足, 提出了一种智能体的个性模型。该模型计算量小, 综合地考虑外部刺激、个性、情绪、动机之间的相互联系, 从而可以构建具有丰富个性和情绪表现能力的智能体, 为开发智能化教育游戏提供一种方法。

智能体的个性建模是一项具有挑战性的任务, 本文的工作仍是十分初步的。个性还和很多因素有关, 例如, 个性与智能体的性别关系就很密切, 下一步工作是考虑如何构造性别模型, 以便完善现有的个性模型。另外, 人的个性也不是一成不变的, 如何建立个性的学习模型, 这也是值得进一步研究的

问题。

## 参考文献

- [1] Picard R W. Affective Computing. Cambridge [M]. London, England; MIT Press, 1997
- [2] Bernstein D A, Stewart A C, Roy E J, et al. Psychology (forth edition) [M]. New York: Houghton Mifflin Company, 1997: 360-361
- [3] Ortony A, Clore G L, Collins A. The cognitive structure of emotions [M]. New York: Cambridge University Press, 1988: 68-83
- [4] Ortony A. On making believable emotional agents believable [A] // Trappell R P, ed. Emotions in humans and artifacts. Cambridge: MIT Press, 2003: 189-211
- [5] Bates J. The role of emotion in believable characters [J]. Communications of the ACM, 1994, 37(7): 122-125
- [6] Loyall A B. Some requirements and approaches for natural language in a believable agent [A] // Trappell R, Petta P, eds. Creating Personalities for Synthetic Actors: Towards Autonomous Personality Agents. Berlin: Springer Verlag, 1997: 113-119
- [7] Reilly W S N. Believable Social and Emotional Agents. Ph. D. Dissertation. Carnegie-Mellon University, 1996
- [8] Badler N I, Reich B D, Weber B L. Towards personalities for animated agents with reactive and planning behaviors [A] // Trappell R, Petta P, eds. Creating Personalities for Synthetic Actors: Towards Autonomous Personality Agents. Berlin: Springer Verlag, 1997: 43-57
- [9] Chi D, Costa M, Zhao L W, et al. The Emote Model for Effect and Shape [A] // Proceedings of SIGGRAPH'2000 Conference. New Orleans, Louisiana USA, 2000: 173-182
- [10] Ball G, Breese J. Emotion and Personality in a conversational agent [A] // Cassell J, Sullivan J, Prevost S, et al., eds. Embodied conversational agents. Cambridge: MIT Press, 2000: 189-219
- [11] Perlin K, Goldberg A. Improv: a system for scripting interactive actors in virtual worlds [A] // Proceedings of SIGGRAPH'1996 Conference. New Orleans, Louisiana USA, 1996: 205-216
- [12] Rousseau D, Hayes-Roth B. A Social - Psychological Model for Synthetic Actors [A] // Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents. Minneapolis, MN, May 1998
- [13] Moffat D. Personality parameters and programs [A] // Trappell R, Petta P, eds. Creating Personalities for Synthetic Actors: Towards Autonomous Personality Agents. Berlin: Springer Verlag, 1997: 120-165
- [14] Magnenat-Thalmann N, Thalmann D. Handbook of Virtual Humans [M]. John Wiley & Sons, 2004
- [15] 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
- [16] Gratch J, Marsella S. A Domain - independent framework for modeling emotion [J]. Journal of Cognitive Systems Research, 2004, 5(4): 269-306
- [17] Read S J, Miller L S, Rosoff A, et al. Integrating Emotional Dynamics into the PAC Cognitive Architecture [A] // Proceedings of the 15th Annual Conference on Behavioral Representation in Modeling and Simulation. Orlando, FL: Institute for Simulation and Training, 2006
- [18] Unuma M, Anjo K, Takeuchi R. Fourier Principles for Emotion-Based Human Figure Animation [A] // Proceedings of SIGGRAPH'1995 Conference. Los Angeles, CA, 1995: 91-96
- [19] Rose C F, Cohen M, Bodenheimer B. Verbs and Adverbs; Multi-dimensional Motion Interpolation [J]. IEEE Computer Graphics & Application, 1998, 18(5): 32-40
- [20] Parke F I, Waters K. Computer Facial Animation [M]. Wellesley, Boston, USA: AK Peters, 1996: 105-147
- [21] Pandzic I S, Forchheimer R. MPEG - 4 Facial Animation: The Standard, Implementation and Applications [M]. John Wiley & Sons, 2002
- [22] Blumberg B, Galyean T. Multi-Level Direction of Autonomous Creatures for Real-Time Virtual Environments [A] // Proceedings of SIGGRAPH'1995 Conference. Los Angeles, CA, 1995: 47-54
- [23] Velasquez J D. Modeling emotions and other motivations in synthetic agents [A] // Proceedings of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-97). 1997: 10-15
- [24] 王国江, 王志良, 陈锋军, 等. 基于 Markov 决策过程的交互虚拟人情感计算模型 [J]. 计算机科学, 2006, 33(12): 135-138
- [25] 刘箴, 潘志庚. 智能体情绪行为动画模型 [J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 817-822
- [26] 裴玉茹, 查红彬. 真实感人脸的形状与表情空间 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(5): 613-619

(上接第 195 页)

- [6] 蔡颖琨, 谢昆青, 马修军. 屏蔽输入参数敏感性的 DBSCAN 改进算法. 北京大学学报: 自然科学版, 2004, 40(3): 480-486
- [7] Keogh E, Lonardi S, Ratanamahatana C A. Towards Parameter-free Data Mining // Proc. 2004 ACM SIGKDD Int'l Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. Washington, USA, 2004: 206-215
- [8] Hawkins D M. Identification of Outliers [M]. London: Chapman and Hall, 1980
- [9] Knorr E M, Ng R T. Algorithm for Mining Distance-Based Outliers in Large Datasets // Proc. of the 24th Int'l Conf. on Very Large Database. New York, USA, 1998: 392-403
- [10] Jin W, Tung A K H, Han J, et al. Ranking Outliers Using Symmetric Neighborhood Relationship // Proc. 10th Pacific-Asia Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. Singapore, 2006: 93-104
- [11] Katayama N, Satoh S. The SR - tree: An Index Structure for High-Dimensional Nearest Neighbor Queries // Proc. 1997 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data. AZ, USA, 1997: 369-380
- [12] Beckmann N, Kriegel H-P, Schneider R, et al. The R\* -tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles [C] // Proc. 1990 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data. New Jersey, USA, 1990: 322-331
- [13] White D A, Jain R. Similarity Indexing with the SS - tree // Proc. of the 12th Int'l Conf. on Data Engineering. New Orleans, USA, 1996: 516-523
- [14] Zhang T, Ramakrishnan R, Livny M. BIRCH: An efficient data clustering method for very large databases // Proc. of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Montreal, Canada, 1996: 103-114