

基于云模型的人—虚拟角色思想交互模型^{*}

范艳峰, 杨志晓

(河南工业大学 信息科学与工程学院, 郑州 450001)

摘要: 基于情感、动机的非语言交互是影响人—虚拟角色交互效果的重要因素, 提出了基于云模型的人—虚拟角色非语言交互模型。以尊敬的交互为例, 设计了基于云模型的三级尊敬分级模型, 提出了基于云模型的交互按钮设计方法。提出了尊敬按钮云滴归属算法, 使虚拟角色理解尊敬的过程符合人类认知的不确定性; 提出了基于二维鞠躬尊敬云的鞠躬控制算法, 随机产生鞠躬最大角和低位保持时间, 刻画鞠躬表达尊敬的不确定性。算法分析和交互合成效果表明, 所提方法能够刻画交互双方对非语言信息理解的模糊性和随机性。

关键词: 非语言交互; 云模型; 虚拟角色; 模糊性; 随机性

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)07-2475-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.020

Cloud model based mind interaction between human and virtual role

FAN Yan-feng, YANG Zhi-xiao

(College of Information Science & Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Non-verbal information such as emotion and motivation has important influence on human-virtual role interaction. This paper proposed a cloud-based human-virtual role interaction model. Taking respect as an example, it designed its cloud model with 3 levels and designed a cloud-based respect button. It also proposed an algorithm for cloud drop membership of respect button. It facilitated virtual role to understand respect extent considering uncertainties existed in human cognition. At last, the paper proposed a bow respect cloud based algorithm to randomly generate maximal bow angle and time pausing at the angle, described uncertainties of bow indicating respect. Analysis of proposed algorithms and synthesized interaction results show that proposed method is able to describe fuzziness and randomness of understanding non-verbal information in the interaction between human and virtual role.

Key words: non-verbal interaction; cloud model; virtual role; fuzziness; randomness

0 引言

人与虚拟角色的交互技术已广泛应用于许多领域, 如数字博物馆、3D 游戏、远程交互^[1]、MSN 机器人、ATM 等。在这些系统中, 人对虚拟环境进行各种操作, 虚拟角色作出适当的回应满足人的各种需求。在人—虚拟角色交互过程中, 虚拟角色对人的思想的理解是最为关键的一个环节, 它是虚拟角色作出满意回应的基础。

人的思想既包括各种语言值表达的概念、知识, 也包括各种非语言值传递的情感、动机等深层信息。后者一般通过语调、表情、体态、肢体动作进行传递, 称之为非语言信息。与显式语言相比, 非语言信息在人际交往中往往发挥着更为重要的作用。

人类非语言信息具有模糊性和随机性。以情感为例, 人很难清晰地对自己所处情感状态的强烈程度进行区分, 情感强度级别间不存在明确的边界。另一方面, 人即使要表达同类型同等强度的情感, 每次所运用的语调、表情、肢体动作都存在差异, 因此, 情感的表达又是随机的。正是这种丰富的差异性, 使人类身体语言展现出无穷魅力。确定性方法^[2,3]显然无法表

现这种差异性。

在人—虚拟角色交互中, 如何表示具有模糊性、随机性的非语言信息, 让虚拟角色理解进而作出适当且富有差异性的反应, 成为影响交互效果的重要因素。云模型^[4]能够将模糊现象和随机现象统一量化描述, 适合表示人的情感、动机等定性概念。本文以云模型为工具, 研究一种基于云模型的人—虚拟角色思想交互模型。

1 人—虚拟角色交互系统及非语言交互模型

1.1 人—虚拟角色交互系统结构

交互系统如图1所示。用户输入语言值与虚拟角色交谈, 同时选择并点击非语言信息按钮, 输入所要表达的非语言信息类型及强度级别。非语言信息按钮具备语言值发送、非语言信息类型选择及其强度设置三位一体功能。用户一次点击按钮, 同时实现语言值的发送、非语言信息类型选择和强度设置。虚拟角色根据输入的语言值作出文字或语音形式的语言性回应, 同时识别用户输入的非语言信息类型及其强度, 依照规则制定非语言回应策略, 通过表情、肢体动作等身体语言进行适当的回应。

收稿日期: 2011-11-30; **修回日期:** 2012-01-19 **基金项目:** 河南省重点科技攻关计划资助项目(082102210096); 河南省高校青年骨干教师资助项目(2009GGJS-056); 郑州市科技局科技攻关计划资助项目(2010GYXM364)

作者简介: 范艳峰(1973-), 女, 河南郑州人, 副教授, 博士, 主要研究方向为不确定性人工智能(yanfengfan@126.com); 杨志晓(1974-), 男, 河南郑州人, 副教授, 博士, 主要研究方向为智能计算技术及应用、人机交互。

1.2 人一虚拟角色非语言交互模型

图1所示的人—虚拟角色交互中,基于情感、动机等深层思想的非语言交互是影响交互效果的关键,能够作出得当、形象的非语言回应的虚拟角色将更容易赢得用户喜爱。对人来说,在非语言交互中,需指定当前自己所处的精神状态的类型和强度级别。虚拟角色感知用户输入的信息,判断其非语言信息的类型和强度等级,依照规则制定非语言回应策略,最终运用表情、肢体动作等身体语言作出具体的回应。

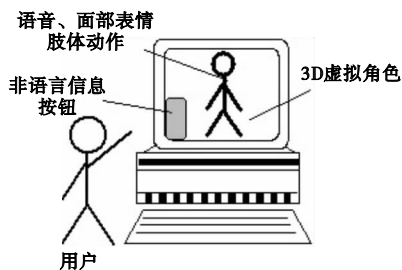


图1 人一虚拟角色交互系统结构

一般来说,人在交互中对伙伴的回应分为几个步骤,如图2左侧虚线框所示。a)通过眼睛、耳朵等感官感知对方的语音、语调、身体语言等信息;b)对感知到的信息,根据经验知识判断对方表达的深层思想的类型,如高兴、悲伤、恐惧等情感,感谢、尊敬、求助等动机,以及它们的强度等级;c)依照年龄、性别、职业、上下级等规则从策略库选取回应策略,如同等类型同等强度策略、同等类型高一级强度策略、同等类型低一级强度策略、其他类型策略等;d)根据回应策略,依照规则从行为库选择回应行为作出具体的回应,如鞠躬、敬礼、微笑、大笑、挥手、挥动双臂、手舞足蹈等。对虚拟角色而言,期望它具有人在非语言交互中的这些感知、推理、决策、执行等功能,在人机交互中发挥更为重要的作用。

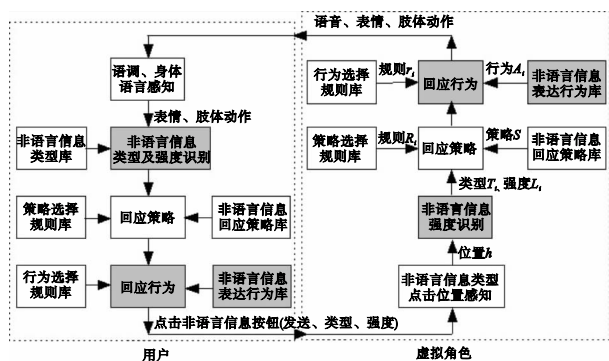


图2 人一虚拟角色交互模型

在图1所示的交互系统中,用户通过单次点击非语言信息按钮发送语言值、选择非语言信息类型并设置其强度等级。虚拟角色通过区分按钮识别非语言信息类型,通过感知被点击位置判断其强度等级。如图2右侧虚线框所示,虚拟角色对感知到的非语言信息类型及强度等级,依照规则从回应策略库选择回应策略。本文采用对等策略,即虚拟角色按照同等类型同等强度策略回应用户的非语言信息。在此策略下,依照规则从非语言信息表达模型库选择回应行为,最终通过语音、表情、肢体动作等身体语言完成非语言信息的形象回应。

如前文分析,人的情感、动机等深层思想具有模糊性、随机性等不确定性。它们既存在于用户点击非语言信息按钮设定强度等级的过程中,也存在于虚拟角色对非语言信息强度的感知、表达等过程,如图2的阴影模块所示。云模型能够将这两

种不确定性定量描述,因此本文采用云模型刻画人类的非语言思想。下面以尊敬为例,提出一种基于云模型的人—虚拟角色非语言交互方法。

2 基于云模型的人—虚拟角色非语言交互

2.1 基于云模型的尊敬强度分级模型

对不同的交互对象和状况,人要表达的尊敬具有强度差异,可以大致将尊敬的程度分为轻度、中度和深度三个级别。不过,人很难将自己要表达的尊敬程度进行清晰的量化。在许多情况下,人所认识到的尊敬程度是模棱两可的,不同级别之间并不存在明确的界线。

图3给出了云模型表示的尊敬强度分级模型。云模型的定义及其算法参见文献[4,5]。图中横轴表示强度级别,纵轴为确定度。云的期望分别在1、2、3处,对应轻度尊敬($l=1$)、中度尊敬($l=2$)和深度尊敬($l=3$)三个级别。三级尊敬强度云采用相同的熵($En=0.2$)和超熵($He=0.02$)估计值。不同级别间不存在明确的界线。相邻云模型间的云滴(即实现了的尊敬程度)既可能属于低一级强度,也可能属于高一级强度。确定云滴归属于某级强度云的方法是分别对三个云模型计算其确定度,将云滴归属于确定度最大的云模型。

2.2 基于云模型的尊敬按钮设计

在图1的人—虚拟角色非语言交互中,用户通过点击一次尊敬按钮选择非语言信息类型为尊敬,并同时设定其强度等级。尊敬强度依照点击位置距按钮下边沿的距离 h 设置,点击位置越靠上(h 值越大),尊敬的强度越高。因此,对用户和按钮来说,尊敬程度表现为按钮被点击位置的 h 值。

由于尊敬自身具有模糊性和随机性,用户点击按钮设定其强度等级时带有这两种不确定性。其模糊性表现在按钮上不同强度级别之间的区域没有明确的界线,一些区域可能既属于低一级强度,也可能属于相邻的高一级强度。其随机性表现为用户设定同等强度时,并不总能准确点击具有相同 h 值的点,而是呈现一定随机性。采用确定性方法如线性法^[6,7]显然不能描述这些不确定性。

图4给出了基于云模型的按钮强度等级设计方法。按钮的高度为30 mm。以 $U=[0,30]$ 为论域,分别以 $h=5、15、25$ mm为期望,对应图3尊敬强度的1、2和3级;以相同的熵($En=1.5$)和超熵($He=0.2$)估计值,设计按钮不同区域表达尊敬强度的云模型。图4中,横轴为 h 值,纵轴为云滴(即被点击位置的 h 值)所代表尊敬强度的确定度。

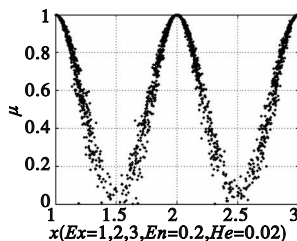


图3 基于云模型的尊敬强度分级

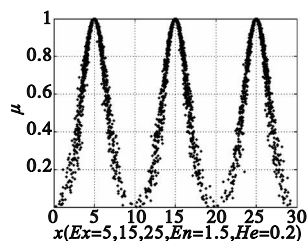


图4 按钮尊敬云

由于图4的云模型刻画了按钮不同位置表达尊敬的程度,可称之为按钮尊敬云。从图中可以看出,它能够刻画根据被点击位置描述尊敬强度级别的模糊性和随机性特征。图中三个期望值所在的点是最能够表达相应强度等级的点,相邻的两个

强度等级之间不存在明确的界线。一些点可能属于低一级强度,也可能属于高一级强度,究竟属于哪一个强度,需通过比较确定度来确定。将云滴归属于在三个云模型中取得最大确定度的强度云模型。云滴归属算法(algorithm of cloud drop membership, ACDM)描述如下:

- a) 输入 h 。
- b) 对三个云模型 $C_i (i=1,2,3)$ 分别计算 $\mu_i(h)$ 。
 - (a) 分别由 $En_i' \sim N(En_i, He_i^2)$ 产生 En_i' ;
 - (b) 分别计算 $\mu_i = \exp[-(h - Ex_i)^2 / (2En_i'^2)]$ 。
- c) 确定 I , 使 $\mu_I = \max\{\mu_i, i=1,2,3\}$ 。
- d) 令 $h \in C_I$ 。

值得说明的是云滴的确定度 μ 是一个有稳定倾向的随机数。因此对同一个 h 值,不同次运用 ACDM 算法并不能取得一个确定的结果 I ,而是依概率 p 取得结果 I 。 p 值与 h 、 En_i 、 He_i 有关,这正是由定性概念的模糊性和随机性所决定的。

2.3 基于二维云模型^[8]的虚拟角色鞠躬控制

以直立状态为中性体位,鞠躬动作可以描述为:上半身绕髋关节向下旋转至最大角度 $\theta_{\max}$,保持一小段时间 T ,然后返回中性体位,如图5所示。鞠躬最大角度 $\theta_{\max}$ 和低位保持时间 T 是最关键的两个控制参数。为简化处理,忽略鞠躬时身体其他部位的运动变化,并认为人鞠躬时的弯腰动作遵照正弦规律,将鞠躬的运动方程描述为

$$\theta = \begin{cases} \theta_{\max} \sin(\omega t) & 0 \leq t < \pi/(2\omega) \\ \theta_{\max} & \pi/(2\omega) \leq t < \pi/(2\omega) + T \\ \theta_{\max} \sin(\omega t) & \pi/(2\omega) + T \leq t < \pi/\omega + T \end{cases} \quad (1)$$

式中, ω 为弯腰的角速度。

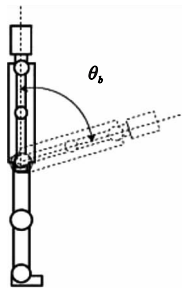


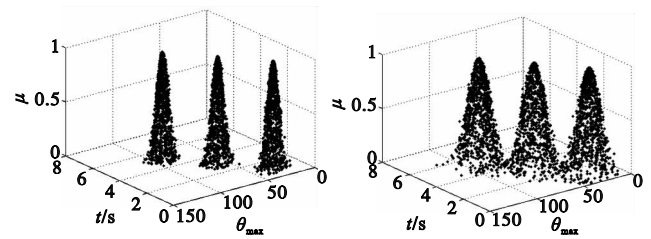
图5 鞠躬的控制模型

一般来说,鞠躬最大角 $\theta_{\max}$ 和低位保持时间 T 能够表达尊敬的强烈程度。二者的值越大,所表达的尊敬程度越高;反之则越小。由于尊敬的模糊性和随机性,这两个参数在不同的鞠躬动作中也表现出不确定性。对两个参数建立它们表达尊敬的二维云模型,运用正向算法产生云滴 $(\theta_{\max}, T)$,即可为每个鞠躬动作产生随机的控制参数值。

以度为单位,选 $[0, 180]$ 的连续区间作为论域 U_a ,表示最大鞠躬角 $\theta_{\max}$ 可能的取值范围。以 s 为单位,选 $[0, 5]$ 的连续区间作为论域 U_t ,表示身体在低位停留时间可能的取值范围。 $(\theta_{\max}, T)$ 所代表的尊敬程度为二维论域 $U_a \times U_t$ 上的定性概念,记为 C_b ,它的二维云模型数字特征值为 $C_b(Ex_\theta, En_\theta, He_\theta, Ex_t, En_t, He_t)$ 。由于它刻画了以鞠躬动作表达尊敬的不确定性,可称之为鞠躬尊敬云。它的云滴 $(\theta_{\max}, T)$ 即为定性概念 C_b 在二维论域 $U_a \times U_t$ 上的一个实现,也即是某次鞠躬的最大角度 $\theta_{\max}$ 和低位保持时间 T 。

为表达不同强度的尊敬,对应图1所示的强度分级模型,

分别估计不同的期望 Ex_θ 、 Ex_t 的值,并估计 En_θ 、 He_θ 、 En_t 、 He_t 的值,可以建立不同强度的鞠躬尊敬云,表达轻度尊敬、中度尊敬和深度尊敬。图6(a)给出了期望 Ex_θ 分别为 30° 、 60° 、 90° , Ex_t 分别为 1 s、3 s、5 s 的三个二维鞠躬尊敬云模型。它们的最大鞠躬角的熵同为 $En_\theta = 5$,超熵同为 $He_\theta = 1$ 。低位保持时间的熵同为 $En_t = 0.2$,超熵同为 $He_t = 0.05$ 。由于三个二维云模型的最大鞠躬角云和低位保持时间云分别采用了相同的熵和超熵值,因此它们所描述的模糊性和随机性相同,只不过期望值不同。



(a) $En_\theta=5, He_\theta=1, En_t=0.2, He_t=0.05$ (b) $En_\theta=8, He_\theta=2, En_t=0.5, He_t=0.1$

图6 二维鞠躬尊敬云($Ex_\theta=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, Ex_t=1, 3, 5$)

三个二维云模型的任一云滴,在 $\theta_{\max}$ 轴和 t 轴的投影即为鞠躬最大角和低位停留时间的实现值,在 μ 轴的投影表示该云滴能代表本级鞠躬尊敬的程度。改变 $\theta_{\max}$ 、 T 的期望、熵和超熵,可以获得不同分级、离散程度不同的鞠躬尊敬云,灵活地满足各种需求。图6(b)给出了期望值不变,熵和超熵分别增大至 $En_\theta = 8$, $He_\theta = 2$, $En_t = 0.5$, $He_t = 0.1$ 的三级鞠躬尊敬云。可以看出,与(a)相比,其分级相对模糊,云滴变得分散。

对尊敬强度 l ,运用对应的鞠躬尊敬云正向算法,产生云滴 $(\theta_{\max}, T)$,并将其作为参数值带入式(1),可获得一次鞠躬动作控制曲线。基于二维云模型的鞠躬控制算法(2 dimensional cloud based bow control algorithm, 2DCBCA)描述如下:

- a) 输入 l, ω , $(Ex_\theta, En_\theta, He_\theta)$ 和 (Ex_t, En_t, He_t) 。
- b) 对 C_{bl} ,运用正向云算法产生云滴 $(\theta_{\max}, T)$ 。
 - (a) 由 $\theta_{\max} \sim N(Ex_{\theta_i}, En_{\theta_i}^2)$ 产生 $\theta_{\max}$;
 - (b) 由 $T \sim N(Ex_{t_i}, En_{t_i}^2)$ 产生 T 。
- c) 带入式(1)。

对同一值 l , 2DCBCA 算法每次产生的 $\theta_{\max}$ 和 T 值都不同,表现出随机性,从而使得虚拟角色的鞠躬动作呈现丰富的多样性。

2.4 基于云模型的人—虚拟角色尊敬交互算法

基于云模型的人—虚拟角色尊敬交互算法(algorithm for human-virtual role interaction based on cloud models, AHRICM)描述如下:

- a) 用户点击按钮,输入 h ;
- b) 调用 ACDM,输出 I ;
- c) 令 $l=I$,调用 2DCBCA,输出鞠躬控制律。
- d) 调用虚拟场景渲染模块,合成鞠躬动作。

3 算法分析

3.1 ACDM 算法性能分析

选取典型 h 值,分别运行 2 000 次尊敬按钮云滴归属算法 ACDM。结果如表1所示。表中 $n_i (i=1,2,3)$ 表示 h 值归属于 i 级尊敬云的次数。可以看出,对 $h=2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27.5$ 等云滴,分别在 2 000 次中都归属于期望值离它们最近

的云模型。云滴的确定度是一个随机数。虽然对这些云滴而言,它们仍有机会归属于其他级别的云模型,但这种概率非常小,它们以较大的概率归属于期望值离它们最近的云模型。而对 $h = 10.0, 20.0$ 等云滴,由于它们位于相邻云模型的中间地带,分别有一定的机会既可能归属于高一级云模型,也可能归属于低一级云模型。因此,基于云模型的尊敬按钮设计既能够将一些区域依照不同概率归属于某个强度级别,又能客观反映人对尊敬这一定性概念认知的模糊性和随机性。

表 1 ACDM 算法运行结果(各运行 2000 次)

h/mm	n_1	n_2	n_3
2.5	2 000	0	0
7.5	2 000	0	0
10.0	973	1 027	0
12.5	0	2 000	0
17.5	0	2 000	0
20.0	0	998	1 002
22.5	0	0	2 000
27.5	0	0	2 000

3.2 2DCBCA 算法性能分析

采用图 6(a) 的三个二维鞠躬尊敬云,分别 100 次运用 2DCBCA 算法得到的鞠躬控制曲线如图 7(a) 所示。图中横轴为时间,单位 s;纵轴为弯腰角度。每条曲线顶部的横线在纵轴上投影为鞠躬最大角 $\theta_{\max}$,横线长度为在鞠躬最大角保持的时间 T 。可以看出,每条曲线的 $\theta_{\max}$ 和 T 都呈现随机差异,使鞠躬动作千变万化。这些曲线的 $\theta_{\max}$ 和 T 分别聚集在各自期望值的周围,对应图 1 的尊敬强度分级模型。图 7(b) 给出了在图 6(b) 的三个鞠躬尊敬云指导下分别 100 次运用 2DCBCA 算法得到的鞠躬控制曲线。可以看出,曲线间差异性增大,更为分散。

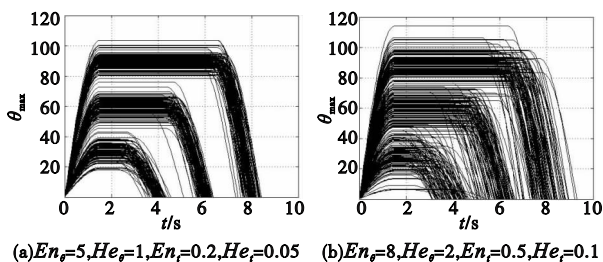


图 7 鞠躬控制曲线($Ex=30, 60, 90, Ex=1, 3, 5$)

3.3 AHRICM 算法交互效果

对图 1 的交互系统,用户选择尊敬按钮表达尊敬;点击其不同位置表达尊敬的强烈程度。虚拟角色感知用户的非语言信息类型和强烈程度。采用同等类型同等强度的回应策略,选择鞠躬动作表达同等强度的尊敬。图 8 给出了 $h = 7.5, 17.5, 27.5$ 时,分别运用 6 次 AHRICM 算法合成的鞠躬最大角效果。每行图左 1 为鞠躬最大角期望状态合成效果。

可以看出,对 $h = 7.5$,虚拟角色根据云滴归属算法运行结果将其理解为轻度尊敬。按照同等类型对等强度回应策略,在轻度鞠躬尊敬云的指导下,虚拟角色鞠躬表达轻度尊敬以示回应。每次鞠躬的最大角都不相同,呈现随机差异。对 $h = 7.5, 27.5$,虚拟角色根据云滴归属算法运行结果,分别将其理解为中度尊敬和深度尊敬。每个鞠躬级别的最大鞠躬角也呈现随机差异。

对介于相邻尊敬级别中间区域的一些 h 值,如 $h = 10.0, 20.0$,虚拟角色既可能将其理解为低一级尊敬级别,也可能理解为高一级尊敬级别。依据实现理解的尊敬级别,虚拟角色遵照相应级别的鞠躬尊敬云完成鞠躬动作。

合成结果表明,AHRICM 算法能够实现虚拟角色对尊敬及其强度的识别,并回应以相应级别随机的鞠躬动作,表达尊敬及其强烈程度。交互过程适应人对定性概念尊敬认知的模糊性和随机性。

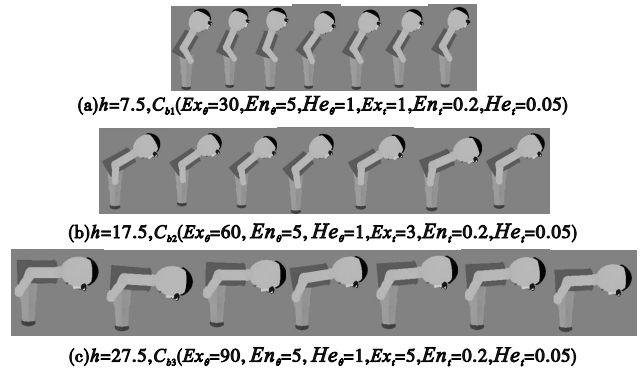


图 8 鞠躬最大角合成效果

4 结 束 语

基于情感、动机等非语言信息的思想交互是影响人一虚拟角色交互效果的重要因素,本文以云模型为工具,提出了人一虚拟角色的非语言思想交互模型。以尊敬的交互为例,采用三级云模型对尊敬程度进行分级。按照该分级模型建立三级按钮尊敬云,提出了基于云模型的尊敬按钮设计方法,刻画用户点击按钮不同位置设置尊敬程度的不确定性。提出了云滴归属算法,使虚拟角色理解尊敬强度的过程适应人对尊敬认识的模糊性和随机性。设计了基于二维鞠躬尊敬云的鞠躬控制算法,随机产生鞠躬最大角 $\theta_{\max}$ 和低位保持时间 T ,刻画鞠躬表达尊敬的不确定性。算法分析和交互合成效果表明,基于云模型的人一虚拟角色思想交互方法能够刻画交互双方对非语言信息理解的模糊性和随机性,虚拟角色的回应行为富有差异性。

参考文献:

- [1] 杨志晓,隋菲,张德贤. 基于可视语音合成的 3D 通信技术研究[J]. 计算机应用研究,2009,26(11):4209-4211,4214.
- [2] CHIN S, KIM K Y. Emotional intensity-based facial expression cloning for low polygonal applications[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2009,39(3):315-330.
- [3] 朱登明,王兆其. 基于动作单元分析的人体动画合成方法研究[J]. 计算机研究与发展,2009,46(4):610-617.
- [4] 李德毅,孟海军,史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展,1995,32(6):15-20.
- [5] 李德毅,刘常显. 论正态云模型的普适性[J]. 中国工程科学,2004,6(8):28-34.
- [6] KUROSE H, ITO K, NISHIDA S. Study on expressing emotions for reading texts with synthesized facial expression[C]//Proc of the 49th International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology. 2005:327-328.
- [7] 杨志晓,郭胜国,张德贤. 基于虚拟控件的遥操作救灾机器人界面[J]. 自动化仪表,2008,29(3):50-53.
- [8] 杨朝晖,李德毅. 二维云模型及其在预测中的应用[J]. 计算机学报,1998,21(11):961-969.