

一种基于动机理论的人群行为模型

黄 鹏, 刘 箴

(宁波大学信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘 要: 如何构建行为可信的虚拟人是自主人群仿真中的关键问题。根据马斯洛的动机理论, 建立自主人群的行为模型, 该模型利用产生式规则, 将刺激、动机和行为集成在一起。引入有限状态机描述刺激和动机的关系, 虚拟人通过虚拟视觉感知刺激, 虚拟人之间的局部碰撞检测通过排斥力控制。在微机上实现原型系统, 实验结果表明, 该模型能够较好地模拟自主群体行为。

关键词: 人群; 动机; 有限状态机; 动画模拟; 自主行为

A Crowd Behavior Model Based on Motivation Theorem

HUANG Peng, LIU Zhen

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

【Abstract】 The simulation research on autonomous crowd behavior is a challenging subject, and how to build a virtual human with credible behavior is the key technology. Based on Maslow's motivation theorem, a behavior model of autonomous crowd is set up. The model can integrate stimuli, motivation and behavior together with productive rulers. A Finite State Machine(FSM) is introduced to express the relation between stimuli and motivation. A virtual human can perceive a stimulus on virtual vision, and the local collision among virtual human is controlled by repulsive force. A prototype system is realized on PC, and the result shows that the model can closely simulate autonomous crowd behavior.

【Key words】 crowd; motivation; Finite State Machine(FSM); animation simulation; autonomous behavior

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2013.12.062

1 概述

人群动画技术可以广泛地应用于影视、城市规划、紧急疏散仿真、社会群体模拟等领域。群体行为动画的合成方法越来越受到人们的关注, 群体行为动画算法的研究最早可追溯到 Boids 系统^[1]。由于 Boids 的易用性被逐渐扩展用于模拟人群行为。计算机硬件水平的提高使得应用复杂行为模拟算法成为可能, 相关学者提出了大量群体行为模拟的方法^[2]。图形渲染技术的提升能够有效改善虚拟人群渲染效果, 但由于人类行为的多样性, 尤其是虚拟角色之间的交互计算, 需要耗费大量计算资源, 因此人群行为算法的研究是人群动画的关键技术。

由于人群个体行为的差异性, 迄今为止的人群建模研究多侧重在特定的人群建模问题, 如碰撞检测、路径规划以及成组行为、人群疏散仿真等。近年来人们逐渐将人工智能的方法引入到人群建模, 特别是基于智能体的群体建模方法能够有效表现人群行为的复杂效果, 在群体行为中

体现虚拟角色的自主行为。

研究发现, 人群中的虚拟角色会表现出行为差异性, 这种差异源于虚拟角色内在动机状态的不同。虚拟角色对自身动机状态和当前环境进行判断, 由此驱动行为。马斯洛^[3]的动机理论认为: 动机是人活动的内部推动力, 是引导和维持虚拟角色行为导向某个目标的意念。动机能够驱动虚拟角色产生行为。在以往的人群动画研究中, 很少考虑虚拟角色的动机, 因此, 在解释人群行为方法方面缺少心理学依据。

本文结合马斯洛的动机理论, 提出一种动机驱动的行为动画方法, 使用有限状态机描述不同动机转换规则, 结合人类基本动机产生机制, 探索一种人群行为模型。

2 相关研究

依据研究的不同出发点, 人群运动算法可以分为基于行为规则的方法、基于物理模型的方法、基于数据驱动的方法等。行为规则是人群行为模拟中的常用策略, 为每个

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(LY13F020037); 宁波市科技计划基金资助项目(2013D10011); 宁波市自然科学基金资助项目(2012A610002)

作者简介: 黄 鹏(1988—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 虚拟现实; 刘 箴, 研究员

收稿日期: 2012-10-09 **修回日期:** 2012-11-28 **E-mail:** liuzhen@nbu.edu.cn

虚拟角色预先制定运动生成规则, 关键是解决导航的碰撞避免与全局路径规划。Boids 系统 3 种简易规则是行为动画的最早模型^[1]。文献[2]提出了一个群组的层次化结构 ViCrowd 描述社会化人群行为, 组结构依靠多种个体属性组合形成多样化群组。群体之间的交互认知决定框架^[4]可以驱动中低密度行人行为。为产生群组队形控制运动效果, 文献[5]预先设定了队形控制规则。特定情况下的人群行为模拟如用于疏散仿真的社会力模型^[6]融合了心理排斥力、吸引力、摩擦力, 能够产生群体的自组织行为。社会力模型会产生人群振动和朝向混乱, 影响动画视觉效果。文献[7]使用基于 Agent 的角动量约束和朝向过滤技术修正社会力模型。高密度 HiDAC 模型建立了基于社会力的三层智能体交互结构^[8], 能够合成恐慌状况下人群疏散动画。Lin 课题组使用最小消耗力原则驱动虚拟角色产生到目标点的最优路径^[9]。复杂的虚拟角色交互策略使基于规则的方法耗费了很大的计算量。基于流体和势能场理论, 文献[10]提出的势能场产生的群体路径不需要进行碰撞避免的计算, 可以提高大规模人群的渲染效率。文献[11]使用微分方程解决了势能场中的局部最小问题。文献[12]提出了径向基函数方法, 根据虚拟角色的位置信息实时计算虚拟角色的运动方向和及时速率。相对于行为规则, 势能场可以驱动逼真的群体行进宏观效果, 但不能表现虚拟角色的差异性。数据驱动将采样的人群视频数据用于驱动人群的整体运动^[13], 文献[14]提出了一种基于视觉合成的行人定向行为算法, 文献[15]将基于行为和数据驱动的群体仿真技术用于指导虚拟角色寻径与避碰, 提出动机驱动的虚拟人自主情绪模型, 为模拟个体虚拟人行为和情绪表现建立定量描述方法。

综上所述, 已有的人群动画研究很少考虑个体的心理因素, 而心理因素是模拟人群运动不可缺少的变量。动机作为重要的心理变量, 是驱动人类行为的源动力, 值得在人群运动建模中加以考虑。

3 虚拟人的动机

3.1 基本动机理论

虚拟角色在环境刺激下激活动机, 并驱动虚拟角色行为^[16]。虚拟角色从环境提取信息, 经加工后激发动机, 并产生对应的行为。人类的基本需要层次可划分成 5 层^[3], 如图 1 所示, 由低到高分别是生理、安全、社交、尊重、自我实现。

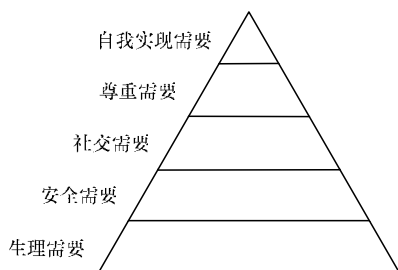


图1 马斯洛需要层次

生理需要位于最底层, 向上依次是人身安全需要, 归属感、友谊等社交需要; 自尊等尊重需要; 精神发展等自我实现需要。5 种需要是对应动机产生的基础, 例如虚拟角色有了安全需要, 才会有激发安全动机的可能性。这 5 种动机之间可以互相转换, 目前并没有一种通用方法描述这种规则, 若按照由低到高的次序严格界定, 则难以表现虚拟角色短期行为特征。比如当虚拟角色被社交动机驱动时, 安全和尊重的刺激同时来临, 激发安全动机的可能性增大。图 1 仅归纳了动机的一般性原理。

3.2 动机产生

首先给出需要、动机、刺激的集合描述, 下文均按照由低层到高层的顺序。

定义虚拟角色的需要集合:

$$R[i], 1 \leq i \leq 5 \quad (1)$$

其中, i 依次表示 5 种需要, 分别对应生理、安全、社交、尊重、自我实现等需求。

定义虚拟角色的动机集合:

$$MV[i], 1 \leq i \leq 5 \quad (2)$$

需要和动机是一一对应的, $R[i](\rightarrow MV[i])$ 表示 $R[i]$ 是产生基本动机 $MV[i]$ 的对应需要。

刺激源按照引发需求的不同进行分类, 每种刺激类型中的刺激还可以进一步划分, $S[j]$ 是虚拟角色的刺激集合, 其中 j 是刺激的种类, 范围是 1~5, 分别对应 5 种动机类型。

在内部需求和外部刺激的作用下, 动机将被激活, 这个过程可以形似化地表述为如下公式:

$$R[i] \text{ And } S[j] \rightarrow MV[i] \quad (3)$$

其中, $R[i]$ 和 $S[j]$ 是动机产生的充要条件。本文认为 $R[i]$ 是虚拟角色的固有属性, 即任意时刻, 虚拟角色的 5 种需要一直存在。每种需要都是存在的, 而刺激是变换的, 因而动机也是可改变的。

为说明问题, 作如下假定: 安全激发的动机能够保证虚拟角色正确地做出行为决策, 具有最高优先级, 而生理动机次之, 社交、尊重、自我实现的优先级依次升高, 但它们都低于安全和生理动机。假设虚拟角色拥有一个当前动机, 并正在运行由当前动机驱动的行为, 使用产生式规则描述进入其他动机的过程如下:

若虚拟角色的当前行为状态由生理驱动, 则:

IF $S[1]$ THEN $MV[1]$; IF $S[2]$ THEN $MV[2]$
IF $S[3]$ THEN $MV[1]$; IF $S[4]$ THEN $MV[1]$
IF $S[5]$ THEN $MV[1]$

若虚拟角色的当前行为状态由安全驱动, 则:

IF $S[1]$ THEN $MV[2]$; IF $S[2]$ THEN $MV[2]$
IF $S[3]$ THEN $MV[2]$; IF $S[4]$ THEN $MV[2]$
IF $S[5]$ THEN $MV[2]$

对于其他生成规则这里不再赘述。

3.3 动机转移

动机驱动行为, 行为可看作一种动机中的元素, 在时

序上是可以产生反复的,动机的转换可看作是不同行为集合操作的变更。动机具有以下性质:动机是一个包含许多行为的集合,由动机驱动的是一组行为序列;不同动机之间是转移的,取决于刺激和内在需要;同种动机可以反复出现,即动机在时序上可以自返回。

根据有限状态机原理,有限状态机是由若干状态集和状态集之间的转移条件组成的行为变换规则。根据上述对动机和行为之间关系的分析,可认为每种动机包含了一组状态。图 2 给出了以刺激物作为条件,以动机作为状态集的有限状态机描述。每种动机构成了有限状态机的一个属性集,内含虚拟角色的位置、速度等当前各种状态信息,包含多种组合式行为。转移条件是多种类型的刺激,例如产生生理动机的食物和水;产生安全动机的危险物;产生社交动机的友人和友人位置信息;产生尊重动机的其他虚拟角色影响;产生自我实现动机的精神刺激等。

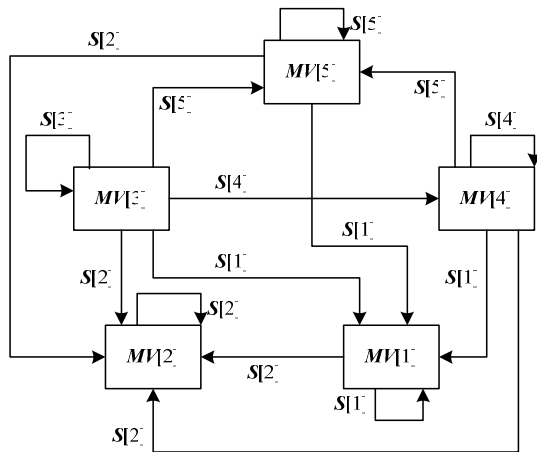


图 2 动机转移

定义 $BE[1 \dots m]$ 是 $MV[i]$ 驱动的一组行为集合,则有:

$$MV[i] \rightarrow BE[1 \dots m] \quad (4)$$

其中, m 是动机 $MV[i]$ 下的行为个数。例如, $BE[1 \dots m]$ 可以包含躲避、追击、寻找、观赏、交谈等。

图 2 对动机之间的转移规则进行了描述,也是一种行为集合之间进行转换的控制策略,而同一集合内部的行为序列依具体事件而定,以驱动符合一般原理的行为规则。

4 群体行为建模

行为模拟需要给每一虚拟角色设置感知范围,依据现实人类的视觉特征,本文将群体限于二维平面上运动,视觉范围仅考虑平面视角。使用视觉半径 d 和横向视角确定,用几何方法即可测试当前视觉范围内的虚拟角色或者其他刺激物。

图 3(a)中的场景刺激源 C_0 、 D_0 、 E_0 分别出现在视觉内部,图 3(b)是场景中虚拟角色的虚拟视觉测试图,刺激物正好出现在视觉范围内。虚拟角色之间采用 Helbing 模型排斥力方法防止产生穿透现象。但是 Helbing 方程驱动的法线方向排斥力易引起虚拟角色行进的剧烈抖动,影响运动的

真实感,因此,本文改进了心理排斥力,在距离足够小时,当前虚拟角色会自动产生一个侧向牵引力,驱动虚拟角色绕过其他虚拟角色,如图 4 所示。

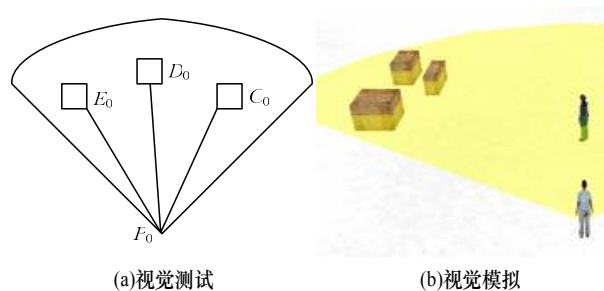


图 3 虚拟人视觉

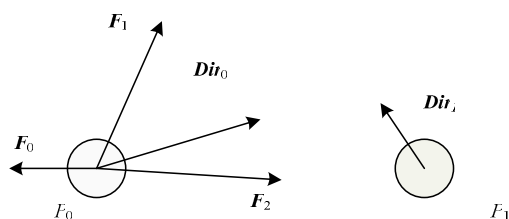


图 4 局部控制规则

在图 4 中, P_0 、 P_1 分别是 2 个即将交互的虚拟角色, P_1 的方向 Dir_1 , 当距离小于一定阈值, 生成阻力 F_0 , P_0 产生侧向牵引力 F_1 , 由于 P_0 的期望方向力 F_2 限制, F_2 与 F_0 、 F_1 合成了 P_0 的运动方向 Dir_0 。

5 实验结果与分析

本文实现了一个自主人群行为模拟的原型系统,自我实现动机是一种精神需求,具备很高的条件才能激发,因此,本文仅测试生理、安全、社交、自尊 4 种动机。实验采用 Visual C++ 和 DirectX 编程实现。

分别用城市广场展览人群运动和交通路口人群运动作为实验原型,参见图 5。



(a)城市广场展览人群运动



(b)交通路口人群运动

图 5 动机驱动的人群

图 5(a)中的食物和水驱动生理动机,一定范围内的其他虚拟角色和展览品驱动社交动机。图 5(b)中的危险物(汽车)驱动安全动机,一定距离内的其他角色驱动社交动机,其他虚拟角色的影响驱动尊重动机。图 5(a)中的虚拟角色能够由食物和水的刺激激发产生生理动机,驱动的行为包括发现、走向、吃食物和喝水、在食物和水周边行走、离开食物和水等行为序列;在周边虚拟人和展览品的刺激下产生社交动机,驱动的行为包括发现、走向、打招呼、欣赏、离开等行为序列。

生理和社交动机是可以转换的,即虚拟角色的行为规划是自主的。在图 5(b)中,虚拟角色能够产生安全动机,驱动的行为包括避开危险物、慌乱跑动、寻找安全区域等行为序列;产生社交动机,包括发现友人、走向友人、与友人打招呼、与友人组成小群体等行为序列;产生尊重动机,包括走向、领导其他虚拟角色等行为序列。根据实验结果可以看出,虚拟角色根据当前自身需要和刺激驱动了虚拟角色的个体行为,然而虚拟角色之间是可交互的,并且是相互影响的,因而也驱动了群体的自主行为。

6 结束语

本文论述了动机理论在人群行为模拟中的应用方法,根据马斯洛动机理论建立了虚拟角色的感知决策规则,并使用有限状态机描述了动机之间的转换规则,以及由其驱动的行为动画。总结如下:

(1)分析了马斯洛的需求层次理论在实际人类行为决策中的应用,以及各个层次之间的关联。

(2)使用产生式规则和有限状态机描述在外部刺激和需求的作用下,激发动机的过程。个体通过感知确定外部刺激类型,并激发不同的动机。动机驱动行为,个体的运动采用 Helbing 社会力模型实现,给出了个体间运动的碰撞检测方法。

(3)完成了实验原型系统,验证了上述方法。

本文提出的模型从虚拟角色行为层面建模群体运动,而不是详细分析虚拟角色的差异,但所表现的群体行为能出现人群整体运动中的虚拟角色群组、漫步等自主行为现象。由于给定的动机和行为规则有限,本文制定的行为控制策略对于模拟大规模复杂自主人群仍有限制,研究仍有待进一步深化。下一步拟考虑结合自然计算的理论和方法,对具有复杂行为的人群运动开展研究。

参考文献

[1] Reynolds C W. Steering Behaviors for Autonomous Characters[C]//Proc. of Game Developers Conference. San Jose, USA: [s. n.], 1999.

[2] Thalmann D, Musse S R. Crowd Simulation[M]. London, UK: Springer, 2007.

[3] Maslow A H. 动机与人格[M]. 3 版. 许金声, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2010.

[4] Yu Q X, Terzopoulos D. A Decision Network Framework for the Behavioral Animation of Virtual Humans[C]//Proc. of Eurographics Symposium on Computer Animation. [S. l.]: ACM Press, 2007: 119-128.

[5] 李 健, 毛天露, 蒋 浩, 等. 群组动画中的队形约束与控制方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(7): 1158-1165.

[6] Helbing D, Farkas I J, Vicsek T. Simulating Dynamical Features of Escape Panic[J]. Nature, 2000, 407(6803): 487-490.

[7] 叶 青, 夏时洪, 毛天露, 等. Agent-Based 群体模拟中的朝向计算方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(8): 1349-1356.

[8] Pelechano N, Allbeck J M, Badler N I. Controlling Individual Agents in High-density Crowd Simulation[C]//Proc. of Eurographics Symposium on Computer Animation. [S. l.]: ACM Press, 2007: 99-108.

[9] Guy S J, Chhugani J, Curtis S, et al. PLEdstrians: A Least-effort Approach to Crowd Simulation[C]//Proc. of Eurographics Symposium on Computer Animation. [S. l.]: ACM Press, 2010: 119-128.

[10] Treuille A, Cooper S, Popovic Z. Continuum Crowds[J]. ACM Transactions on Graphics, 2006, 25(3): 1160-1168.

[11] Zhang Yanping, Ji Qingge, Li Ka-Ho, et al. Resolving Local Minima Problem of Potential Field[C]//Proc. of the 9th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-reality Continuum and Its Applications in Industry. New York, USA: ACM Press, 2010: 339-346.

[12] Jin Xiaogang, Xu Jiayi, Wang C L, et al. Interactive Control of Large Crowd Navigation in Virtual Environments Using Vector Fields[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2008, 28(6): 37-46.

[13] 王 鑫, 孙守迁, 侯 易, 等. 数据驱动的人群场景动画合成方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(2): 250-256.

[14] Ondrej J, Pettre J, Olivier A H, et al. A Synthetic-vision-based Steering Approach for Crowd Simulation[J]. ACM Transactions on Graphics, 2010, 29(4): 1-9.

[15] 肖 俊, 李文通. 视觉信息在行人群体仿真中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(2): 217-226.

[16] 刘 箴, 潘志庚. 虚拟人动机驱动的自主情绪模型研究[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 773-781.