

紧急状态下虚拟人群行为仿真

郭占军^{1,2}, 秦文虎¹, 舒鑫¹

(1. 东南大学 仪器科学与工程学院, 江苏 南京 210096;

2. 总装汽车试验场, 江苏 南京 210028)

摘要:针对公共场所发生火灾等事故时人群密集的特点,研究了紧急状态下人群行为的仿真。分析了紧急状态下人群的行为特点,定义了逃跑、跟随和拥挤行为;采用虚拟视觉和九宫避碰策略,实现了虚拟人行为的自治控制方式。针对紧急状态下人群逃生时个体行为之间的差异性,依据个体与个体之间的作用力、摩擦力动态改变个体的行进方向和依据人群密度采用人群疏散速度模型实时确定每个个体的运动速度,解决了个体之间的动态避碰、绕行和超越等问题。经实验验证,文中的人群行为仿真技术能达到较好的效果。

关键词:虚拟人群;行为仿真;避碰策略;虚拟视觉;社会力模型

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)06-0047-04

Simulation of Virtual Crowd Behaviors in Emergency

GUO Zhan-jun^{1,2}, QIN Wen-hu¹, SHU Xin¹

(1. School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Automotive Proving Ground of Department of General Equipment, Nanjing 210028, China)

Abstract: Focus on the crowd denseness in public place when fires happen, study on the simulation of virtual crowd behaviors in emergency. The characteristics of real-life crowd behaviors in emergent statue is analyzed. According to this, escape, follow and crowd behaviors of virtual crowd are defined. Realized self-control model of virtual characters' behaviors by introducing virtual vision and nine-unit collision avoidance. Consider the otherness of crowd behaviors in emergency, to settle the problem of dynamic collision avoidance, bypass and beyond, interaction and friction are introduced to dynamic change the forward direction, and real-time to determine individual's movement speed by using crowd evacuate speed model that according to the crowd density. The results show that the simulation method of this article can get a satisfying effect.

Key words: virtual crowd; behavior simulation; collision avoidance; virtual vision; social force model

0 引言

人群是指某个时段在相同环境下,为共同目标而组成的集合体。人群的行为是由群中的个体行为构成,它受外界环境及个体之间的相互作用影响。研究人群的行为特点在许多领域有着较强的应用价值,如团体操编排和演练^[1,2]、公共场所的人员疏散^[3,4]等。真实地模拟人群行为一直是计算机仿真技术研究的难点。

国内外研究人员对疏散时的人群行为进行了多年

深入地研究,Helbing D等研究了恐慌下的人群社会力模型^[1],得出拥塞是群体行为异变的原因,以及个体的情绪波动对群体行为产生欲速则不达的结果。Still^[2]从粒子学的角度研究了群的行为控制问题,并把它应用到体育馆和车站的人群疏散中,对体育馆和车站的出口设计具有指导意义。Reynolds引入聚集系统^[3]对人类、鸟类和鱼类的群体行为进行仿真,用三条优先级递减的规则(避碰、速度匹配和中心聚集)控制群体的行为。Mataric采用基于人群的自然行为来定义群体的行为^[4],系统定义了4种基本群体行为:逃避、跟随、聚拢和散开。国内的方正和卢兆明的“网格模型”^[5]、徐高的“智能体模型”^[6]、潘忠的“几何模型”^[7]等实现了人员疏散仿真,并应用到实际案例^[8,9],取得了一定的效果。

上述文献研究的人群行为仿真主要采用二维平面表现,以点或规则多边形表示群中个体的位置和运动

收稿日期:2008-10-10;修回日期:2009-01-02

基金项目:江苏省社会发展计划(BS2007048);南京市科技发展计划(2007软资119)

作者简介:郭占军(1973-),男,黑龙江肇东人,博士研究生,研究方向为汽车电子测控技术、计算机仿真技术;秦文虎,博士,副教授,研究方向为测控、仿真与虚拟现实技术。

方向,通过点或规则多边形的流动方向模拟人员疏散过程。这种方式能快速验证算法的正确性,但缺乏直观性,同时,群中个体之间的相互作用在二维平面下也难以表现清楚。因此,把虚拟现实中的角色动画技术应用到人群行为的研究中^[10,11],实现紧急状态下虚拟人群行为的二维和三维仿真是该领域的一个研究方向。

1 紧急状态下人群行为建模

人群的行为遵从“心理—行为”模式^[12]:当人群所处的环境发生火灾、爆炸等危险状况时,由于恐慌、求生的本能,人群的行为特征表现为:

(1)每个人都希望以自己最快的速度逃生;

(2)人群集中在出口处,出口处变得拥挤,同时由于有的个体强壮,在人群中争先恐后,出口处出现拱形,人流速度变慢,出现“欲速则不达”的现象;

(3)拥挤的人群会造成一些人摔倒,更加阻碍了出口流速;

(4)恐慌的人群往往集中在一个出口处,而忽略其它的出口;

(5)足够多的人群拥挤会造成出口处墙面的倒塌,引起其他伤害。

根据紧急状态下的人群表现,虚拟人群的行为主要包括:逃跑、跟随、拥挤三种行为。

1)逃跑。当人群处于发生火灾或爆炸的环境时,人群将实施逃跑行为,个体不服从群的规定行为,每个人都想以最快的速度远离出事点,每个人逃跑的路径都采取在他脑中记忆的路径,或以从众的心理逃往人多处。

2)跟随。群的跟随行为表现在紧急状态下个人的行动跟随路标指挥或警察指挥,或跟随众人行动。

3)拥挤。人在出口处附件,会产生拥挤行为,同时人群密度越大,单位空间内的人数越多,行进的速度越慢。每个人都想快速通过出口,出口处会出现拱形,降低了出口流速。

2 人群行为仿真实现方法

根据用户交互的程度,把虚拟人群的仿真分为实时控制方式、指导控制方式和自主控制方式。在正常状态下,虚拟人群的行为采用实时控制方式和指导控制方式,由用户指导人群的任务目标、行动路径;在紧急状态下,虚拟人群的行为采用自主的控制方式,个体处于自主状态,每个人自主地进行活动。主要讨论这种自主的控制方式。

当虚拟人群处于紧急状态时,为了更真实地实现

虚拟人群的逃跑行为,虚拟人群中的个体应具有高度的自治,能自动进行路径规划,产生从当前位置到目标位置的最优路径,引导虚拟人完成相应的目标^[13]。由于虚拟环境中存在着各种静态和动态障碍物,因此根据对虚拟环境信息的了解程度,虚拟人的路径规划有两种方法。

(1)虚拟环境中的各种信息完全了解下的全局路径规划。即行为决策器能够全部获得场景中的所有静态障碍物的位置信息,以此确定出一条从当前点到目标点的最优路径。

(2)虚拟环境中的各种信息完全不了解或部分了解下的局部路径规划。局部规划能针对可能存在的动态障碍物,行为决策层根据感知层不断对周围环境进行探测的结果,利用避碰知识库,确定虚拟人群的下一步行为。

个体在恐慌状态下的行为表明个体不可能采用固定速度和预先制定的路径逃生,个体在逃生过程中受环境、人群密度、心理状态等影响,其逃生的速度和路径是实时变化的。因此,紧急状态下人群行为仿真主要从信息感知、避碰策略、疏散速度和行为调整等几个方面来考虑。

2.1 信息感知

虚拟人信息感知主要是视觉信息的获取,通过碰撞检测的方法来实现。假设虚拟人有一个预碰撞检测区域,该区域是一个半圆形,中心与虚拟人的中心重合。虚拟人占据的平面空间为圆形(半径为 R_1),结合虚拟视觉感知(半径为 R_3 ,感知角度取 180°),虚拟人的预碰撞检测区域的半径为 R_2 ,如图 1 所示。

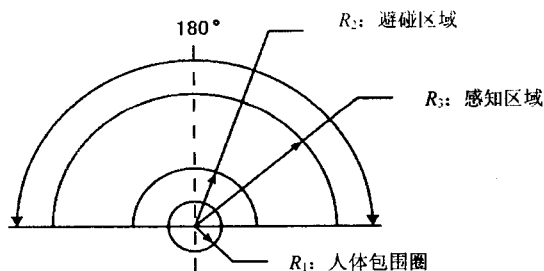


图 1 虚拟人感知碰撞模型

虚拟人在平面空间运动时,所感知的视觉信息时刻都在动态变化着,当障碍物(包括静态和动态两种)进入感知区域,障碍物最外层的点与虚拟人中心的距离 d 必须满足:

$$d \geq R_1 + \delta \quad (1)$$

式中 δ 为虚拟人和障碍物之间的允许间隙,一般取 R_2 表示 $R_1 + \delta$ 。

2.2 避碰策略

由于影响虚拟人行为决策的位置信息主要是虚拟

人周围的8个位置,因此,避碰区域的感知信息动态保存在一个九维数组中,如图2所示。

0	1	2
7		3
6	5	4

图2 九宫避碰策略

当有障碍物在避碰区域中,行为决策器先运行一个位置判断子程序,根据障碍物与虚拟人之间的相对位置计算障碍物相对于虚拟人的九宫位置,并保存该位置的动态信息。随着虚拟人的不断运动,虚拟人周围的九宫位置信息也在不断刷新,从而确保了虚拟人行为决策过程中的实时性。

虚拟人根据避碰策略库确定其下一步的行为。当虚拟人的前进方向即位置1上有障碍时,虚拟人依据避碰策略确定下一步动作。对于静态障碍,避碰策略是:查询位置0、2、3、7有无障碍,若无,则采用左超越的方式避碰;若部分有,则依据次序进行左上、右上、右转、左转处理;若全有,则要进行后退处理。

对于动态障碍物,需进行如下碰撞预测步骤:

(1) 根据虚拟人的行走速度、目前的位置、全局规划的路径,预测在此 nt 个时间内每个 t 时刻的行走位置。

(2) 根据动态障碍物的运行速度、运行轨迹预测障碍物每个 t 时刻的运行位置。

(3) 判断在同一个时间 t 内,虚拟人和动态障碍物的安全距离是否满足式(2),把所有不满足条件的点称为碰撞点,记为集合 C 。

避碰策略库根据 C 集合中的内容进行避碰规划。主要规则如下:

1) if C 集合中只有一个碰撞点,且虚拟人的速度小于障碍物的速度,then 虚拟人在上一个时刻等待一段时间;

2) if C 集合中只有一个碰撞点,且虚拟人的速度大于障碍物的速度,then 加快虚拟人的速度,并重新预测,使新的碰撞点集合中无碰撞点记录;

3) if C 集合中有多个碰撞点,且虚拟人的速度小于障碍物的速度,then 虚拟人采用左转 90 度绕道行驶。

2.3 疏散速度

个体的疏散速度与个体能力、心理状态、人群密度和所处位置有关。根据 Fruin 的试验统计^[14],人在正常情况下的行走速度为 1.2m/s;在紧张状态下,人员

的疏散速度可以达到 1.5m/s。当人群密度越大时,人群的行走速度会下降。陆君安^[15]通过分析大量的观测数据认为人群疏散速度的影响中前后拥挤占主导地位,人群疏散移动速度公式如式(2)所示:

$$v(\rho) = v(\alpha A + \beta B + \gamma) \quad (2)$$

其中 $A = 1.32 - 0.82\ln(\rho)$, $B = 3.0 - 0.76\rho$, $\alpha: 0.25 \sim 0.44$, $\beta: 0.014 \sim 0.088$, $\gamma: 0.15 \sim 0.26$, ρ 为人员密度。

通过试验比较,选取式(2)作为个体移动速度的模型,人员密度的选取以个体为中心,5米半径范围内的人数。

2.4 行为调整

个体在运动时会出现多个人争抢同一位置和速度快的个体超越速度慢的个体的现象。对于具有主观能动性的人,应具有预测碰撞并及时采取绕行和超越措施。文中利用 Helbing 的社会力模型^[1],根据个体与所处环境的自驱动力和排斥力的大小,决定个体下一步行进的方向。一个质量为 m_i 的行人 i ,期望以大小 v_i^0 ,方向为 e_i^0 的期望速度疏散。在行进过程中,行人与行人之间,行人与墙之间会出现排斥力和摩擦力,分别用 f_{ij} 和 f_{iw} 表示。人与人、人与墙之间的距离越近,排斥力越大;人与人、人与墙之间的切向相对速度越大,摩擦力越大。

个人的实际速度为 v_i ,假定他在 τ_i 时间内加速到 v_i^0 ,则时间 t 内的速度变化动力学方程为:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_w f_{iw} \quad (3)$$

个体 j 对个体 i 的影响力 f_{ij} 包括两个部分:个体间的排斥力和相互接触后的摩擦力,如公式(4)所示。

$$f_{ij} = \{A_i \exp[(r_{ij} - d_{ij})/B_i] + kg(r_{ij} - d_{ij})\}n_{ij} + \lambda g(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ji}^t \quad (4)$$

其中 $r_{ij} = r_i + r_j$ 为两个个体保持身体不接触的最小距离; $d_{ij} = ||r_i - r_j||$ 为个体 i 与个体 j 之间的距离; $n_{ij} = (r_i - r_j)/d_{ij}$ 为 j 指向 i 的单位向量; A_i, B_i, k 为常数, λ 为摩擦系数, t_{ij} 为切向向量, $\Delta v_{ji}^t = (v_j - v_i)t_{ij}$ 为切向速度差值,函数 $g(x)$ 在 $d_{ij} > r_{ij}$ 时, $g(x)$ 等于 0;否则等于 x 。

障碍物 W 对个体 i 的影响力 f_{iw} 是障碍物各个面对个体的作用力,如公式(5)所示。

$$f_{iw} = \{A_i \exp[(r_i - d_{iw})/B_i] + kg(r_i - d_{iw})\}n_{iw} + \lambda g(r_i - d_{iw})(v_i \cdot t_{iw})t_{iw} \quad (5)$$

其中 d_{iw} 为个体与障碍物面 W 的距离; n_{iw} 与 t_{iw} 分别为障碍物面 W 法线方向和切线方向的单位向量,前者指向个体移动空间,后者指向个体移动的反方向。

3 应用

利用上述方法,采用 VisualC++ 6.0 和 OpenGL 图形库,结合已经开发的虚拟角色实时运动控制系统,开发了虚拟人群行为仿真系统。图 3 显示二维和三维情况下的虚拟疏散人群仿真演示。



(a) 人群疏散二维仿真



(b) 人群疏散三维仿真

图 3 紧急状态下虚拟人群逃生拥挤行为仿真

4 结束语

文中的研究表明:

- (1)建立的紧急状态下人群行为模型符号人群行为特点,具有较好的通用性;
- (2)采用虚拟视觉和九宫避碰策略,能较好实现虚拟人的自主控制;
- (3)采用社会力模型确定个体的行进方向和采用速度模型实时刷新个体行进速度,能较好地仿真个体的差异性,使仿真的效果更趋于真实。
- (4)在仿真过程中采用了一系列经验公式,其仿真结果需进一步与现实结果进行对比验证。

参考文献:

- [1] Helbing D, Farkas I, Vicse T. Simulating dynamical features of escape panic[J]. Nature, 2000, 407(28): 487-490.
- [2] Still G K. Crowd Dynamics[D]. UK: Mathematics department, Warwick University, 2000.
- [3] Reynolds C. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model[J]. Computer Graphics, 1987, 21(4): 25-34.
- [4] Mataric M J. Learning to behave socially[C]//In Animals to Animals: International Conference on Simulation of Adaptive Behavior. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1994: 453-462.
- [5] 方正, 卢兆明. 建筑物避难疏散的网格模型[J]. 中国安全科学学报, 2001, 11(4): 10-13.
- [6] 徐高. 基于智能体技术的人员疏散仿真模型[J]. 西南交通大学学报, 2003, 38(3): 301-303.
- [7] 潘忠, 王长波, 谢步瀛. 基于几何连续模型的人员疏散仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(Sup1): 233-236.
- [8] 温丽敏, 陈宝智. 重大事故人员应急疏散模型研究[J]. 中国安全科学学报, 1999, 9(6): 69-42.
- [9] 李伏京, 方卫宁. 磁悬浮车辆中人员紧急疏散的仿真研究[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(8): 17-20.
- [10] 秦文虎, 吴宇晖, 赵正旭. 虚拟角色动作编辑及运动控制[J]. 东南大学学报, 2006, 36(5): 720-724.
- [11] Qin W H, Liu X M, Zhao Z X. Study on Action Control of Virtual Actors[C]//Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. London, UK: [s. n.], 2007: 907-912.
- [12] Villamil M B, Musse S R, de Oliveira L P L. A model for generating and animating groups of virtual agents[R]. Irsee, Germany: IVA, 2003.
- [13] 秦文虎, 查俊元, 苏国辉, 等. 人群疏散行为仿真技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(2): 22-27.
- [14] Heigeas L, Luciani A, Thollot J, et al. A physical based particle model of emergent crowd behaviors[R]. Graphicon: [s. n.], 2003.
- [15] 陆君安, 方正, 卢兆明, 等. 建筑物人员疏散逃生速度的数学模型[J]. 武汉大学学报, 2002, 35(2): 66-70.

(上接第 46 页)

- ACM SIGMOD Conference on Management of Data. New York, USA: ACM, 1994: 1-12.
- [5] 何炎祥, 陈莘萌. Agent 和多 Agent 系统的设计与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001: 18-19.
- [6] Chawathe D, Brewer. Adapting to Network and Client Variation Using Infrastructural Proxies: Lessons and Perspectives

- [J]. IEEE Personal Communications, 2005, 5(4): 10-19.
- [7] Lange D B, Oshima M. Seven good Reasons for Mobile Agents[J]. Communications of the ACM, 1999, 42(3): 88-89.
- [8] 吴婷婷, 章文嵩, 周兴铭. 移动环境下缓存弱一致性的研究[J]. 计算机工程与科学, 2004, 26(4): 59-61.