

自主性与可控性相结合的群体动画运动控制

姚 巍, 刘惠义, 沈赞芳

(河海大学计算机与信息学院 南京 210098)

摘 要: 提出一种自主性与可控性相结合的群体动画运动控制方法. 该方法利用全局路径规划方法寻找群体自主运动的最短路径, 群体在以该路径自主运动时, 可以通过改变路径曲线的控制顶点实现对群体运动的控制; 利用引导分量和范围保持分量的矢量场以及个体的引力或斥力分量叠加的方法实现个体的运动控制, 通过动态地改变引导分量实现个体运动过程的实时交互控制. 实验结果表明: 该方法较好地模拟了群体动画自主性运动, 同时满足实时交互控制的要求, 具有较好的可控性.

关键词: 群体动画; 运动控制; 个体自主性; 交互控制; 碰撞检测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)10-0109-05

The Motion Control with Combination of the Controllability and Autonomy for the Crowd Animation

YAO Wei, LIU Hui-yi, SHEN Yun-fang

(Computer & Information College, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: This paper proposes a method which combines the controllability and autonomy of the motion control for the crowd animation. This method uses the global path planning to find a best path for the autonomous motion of the group, and complete the controllability by changing the motion curve which the group move on, and it uses the vector field of the guide sub-vector and the range keeping sub-vector, and their superposition with the attraction/repulsion sub-vector of the individuals to complete the individuals motion, achieves the real-time interaction by changing the consistency sub-vector. The experiment result shows that this method simulates the autonomous motion really, and fulfills the requirement of the real-time interaction control, has a good controllability.

Key words: crowd animation; motion control; individual autonomy; interaction control; collision detection

1 引言

目前, 群体动画运动控制中可控性的研究往往忽略了自主性要求, 而对自主性为主的运动控制研究, 又缺乏动画师的交互控制. 因此, 本文提出自主性和可控性相结合的运动控制方法. 该方法利用全局路径规划方法寻找群体运动的最短路径, 在没有动画师干预的情况下, 群体在该路径下自主地运动. 动画师可以随时改变群体的运动路径和个体运动方向^[1-2].

2 群体动画中群体的运动控制

2.1 群体自主运动的路径规划算法

路径规划是自主性动画中最常见的问题^[3-4], 其实现依赖于对场景信息的组织. 为了提高系统的通用性, 采用四叉树分割算法对场景进行自适应划分. 四叉树节点的表示采用 Morton 编码方法, 邻域查找过程则利用编码转换的方法实现. 编码规则为划分的左上区域为 1、右上区域为 2、右下区域为 3、左下区域为 4.

设节点的 Morton 编码为 $m_1 m_2 m_3 \cdots m_{r-1} m_r$, 相同大小邻域的查找所用的编码转换规则(以求解左

邻域为例,其余编码转换规则可以类推):

(1) 若 $m_r = 1$ 或 4, 则分别将 m_r 变为 2 或 3, 问题转换为求 $m_1 m_2 m_3 \cdots m_{r-1}$ 的左邻域继续求解。

(2) 若 $m_r = 2$ 或 3, 则分别将 m_r 变为 1 或 4, $m_1 m_2 m_3 \cdots m_{r-1}$ 不变, 求解完毕。

若当前节点在某个方向上相同大小邻域不存在的时候, 就要执行非相同大小的邻域查找, 即要在求出的相同大小邻域节点的子集合和父集合中查找。

路径规划采用 A* 算法实现, 其启发式函数的形式为 $f(n) = g(n) + h(n)$, 其中, $g(n)$ 表示累计的消耗, $h(n)$ 用当前点与目标点间的欧几里得距离表示, 其计算如公式:

$$d(p_1, p_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

假设 Open 表用于存储算法中还没扩展、但已经计算过启发式函数值的节点; Closed 表用于存储已经扩展过的节点; T 表示搜索树, 其根节点为起始节点。路径规划算法流程为:

(1) 将起始节点设为 T 的根节点加入到 Open 表中, 标记该节点, 并计算其启发式函数值 f 。

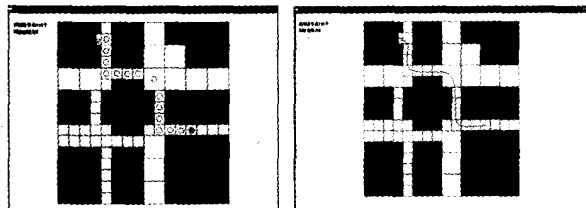
(2) 若 Open 表为空, 则路径不存在, 返回失败, 退出。

(3) 从 Open 表中取出 f 值最小的节点加入到 Closed 表中, 并设其为 A 节点。若 A 是目标节点, 则搜索成功, 返回 T 中的搜索路径, 否则执行(4)。

(4) 标记 A 节点, 搜索 A 的所有可通行的邻域节点, 选择它们中没有被标记的节点计算其启发式函数值, 并加入到 Open 表中, 同时在 T 中将它们的父节点设为 A 节点。

(5) 返回(2)。

对场景进行四叉树分割和采用 A* 算法搜索得到所有的路径节点, 如图 1(a) 所示。利用 Bezier 曲线生成平滑的运动路径, 如图 1(b) 所示。



(a) 曲线光滑前的路径节点

(b) 曲线光滑后的路径曲线

图 1 群体自主运动路径

2.2 群体运动的交互控制

群体的路径曲线采用分段三次 Bezier 曲线表示, 动画师可以通过改变 Bezier 曲线的控制顶点实现群体运动的交互控制。三次 Bezier 曲线段可以由

四个控制顶点确定, 相邻两曲线段需进行光滑连接, 设曲线段 $P(t)$ 的控制顶点 P_0, P_1, P_2, P_3 , 与之相邻的曲线段 $Q(t)$ 的控制顶点 R_0, R_1, R_2, R_3 , 两段三次 Bezier 曲线段连接时需满足一阶几何连续, 一阶几何连续的条件如下:

$$\vec{P}_3 = \vec{R}_0$$

$$\vec{P}_2 - \vec{P}_3 = k(\vec{R}_0 - \vec{R}_1), \text{ 其中 } k > 0 \quad (2)$$

当动画师有三种方式点可以改变 $P_2, P_3(R_0), R_1$:

(1) 沿着线段 $P_2 R_1$ 移动 P_2 或 R_1 , 并保持线段的方向不变;

(2) 绕连接点 $P_3(R_0)$ 旋转线段 $P_2 R_1$, 并保持连接点位置不变;

(3) 移动点 $P_3(R_0)$, 并保持 $P_2, P_3(R_0), R_1$ 三点成一线。

3 群体动画中个体的运动控制

个体运动控制主要要解决个体自主分量的生成, 个体与个体间以及个体与障碍物间的碰撞避免, 个体运动实时交互控制的实现等问题^[5-6]。

3.1 个体自主分量的生成

个体的自主分量可以通过生成引导分量和范围保持分量并进行叠加实现。引导分量主要体现个体运动的一致性原则, 范围保持分量主要体现群体动画的保持一定范围原则。

3.1.1 个体引导分量的生成

在生成引导分量之前, 需要设置一个中心控制点以表示群体的大概位置。中心控制点位置可以设在个体所围成区域内的中心位置, 也可以设在某个个体位置上。设 $v_{\max}$ 表示群体行进的最大速率, 由动画师预先设定。引导分量的生成过程: 先取起始点为第一个中心控制点, 之后在曲线上每隔 $v_{\max}$ 长度取一个点作为下一个中心控制点。引导分量计算如公式:

$$\vec{v}_g = \text{oriented}\left(\frac{v_{\max}}{\sqrt{k^2 + 1}}, \frac{kv_{\max}}{\sqrt{k^2 + 1}}\right) \quad (3)$$

引导分量方向为中心控制点处沿运动曲线的切线方向, 用该切线的斜率 k 表示。oriented 为引导分量的指向符号, 取值为 -1 或 1。设中心控制点为 p_c , 则 k 的计算公式:

$$k = Q'(p_c) \quad (4)$$

在求得引导分量后, 还需要对该分量进行加权计算:

$$\vec{v}_g = \alpha \vec{v}_g \quad (5)$$

式中,权值 $\alpha \in (0, 1]$, 其大小表明了引导分量对个体运动的影响程度. 为了较好地体现群体性, α 取值应大于 0.5.

引导分量对个体运动的控制通过矢量场实现, 矢量场是指在运动空间中生成的一种势场, 空间中物体所受的矢量只与其在势场中的位置有关. 用数学的方式可以表示为空间点到矢量的映射:

$$f(p) = \vec{v}$$

引导分量产生的矢量场如图 2 所示.

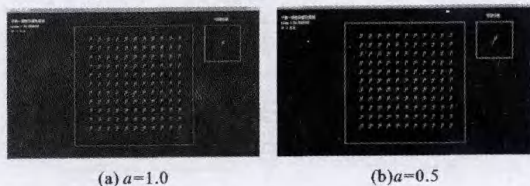


图 2 引导分量产生的矢量场

3.1.2 范围保持分量的生成

范围保持分量用于控制群体的聚拢程度, 聚拢程度可以通过个体位置与中心控制点的距离来度量. 动画师可以先设定一个基准距离 d_m , 当 d_m 变大时, 群体的聚拢程度变低, 个体分布就会呈现相对散漫的状态; 而当 d_m 变小时, 群体的聚拢程度变高, 此时个体的分布将更加紧凑.

若个体与中心控制点的距离大于 d_m , 表示个体已经远离群体, 则此时应当生成范围保持分量, 控制个体向群体靠拢; 而当距离小于 d_m 时, 则该分量为 0, 表示个体不用向中心靠拢. 默认情况下, d_m 的值与群体运动最大速率 $v_{\max}$ 的值相同.

范围保持分量也要执行加权操作, 其权值 β 的取值范围为 $[0, 1]$, 满足 $\alpha + \beta \leq 1$, 具体取值由动画师指定. β 值决定了个体向群体靠拢的快慢, 也对个体的运动速率起着一定的调节作用, 使得个体的各个运动分量合成后的速率不会大于 $v_{\max}$. 若个体与中心控制点的距离为 d , 当个体远离中心控制点大于三倍的基准距离 d_m 时, 个体将以该分量的最大速率靠近群体. 设加权后的最大速率为 $\beta v_{\max}$, 范围保持分量的计算公式:

$$\vec{v} = \begin{cases} 0 & d < d_m \\ \beta v_{\max} \frac{d}{3d_m} & d_m \leq d \leq 3d_m \\ \beta v_{\max} & d \geq 3d_m \end{cases} \quad (6)$$

范围保持分量的方向为个体的坐标点到中心控制点的连线方向. 范围保持分量对个体运动的控制

同样通过矢量场来实现, 范围保持分量产生的矢量场如图 3 所示, 图中中心控制点位于矩形区域的中央.

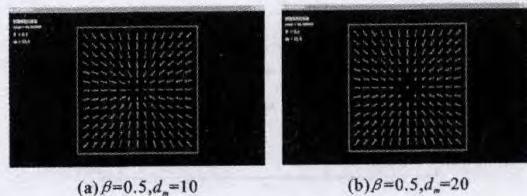


图 3 范围保持分量产生的矢量场

3.2 个体间的碰撞避免

个体间的碰撞避免可以应用引力和斥力的思想来实现. 引力和斥力的引入借鉴了物理学中万有引力的思想, 即当两个个体距离过远时, 就产生“引力”拉近两个个体的距离; 而当两个个体距离过于接近有可能发生碰撞时, 就产生“斥力”避免碰撞的发生. 具体应用到群体动画中, 将引力看成是两个个体的位置连线方向上产生的相互靠近的速度分量, 将斥力看成是连线方向上产生的相互远离的速度分量.

计算引力和斥力前, 先建立各个体的圆柱体包围盒, 然后通过式(1)计算两个个体包围盒的距离 d , 根据 d 的范围计算引力或斥力.

设 $p_i(x_i, y_i)$ 和 $p_j(x_j, y_j)$ 为个体 i 和 j 包围盒的底面圆心, d 为 i 和 j 间的距离, 若 $0.5v_{\max} < d < 1.5v_{\max}$, 则 i 和 j 之间为引力, 引力的计算公式为

$$\frac{\gamma}{d^3}(x_j - x_i, y_j - y_i) \quad (7)$$

若 $d < 0.5v_{\max}$ 则 i 和 j 之间为斥力, 斥力的计算公式为

$$-\frac{\gamma}{4d^3}(x_j - x_i, y_j - y_i) \quad (8)$$

3.3 个体与障碍物的碰撞避免

当运动个体组成的群体通过狭小的空间时, 可能就会发生运动个体与障碍物的碰撞. 这时, 需对运动个体与障碍物间进行碰撞检测. 如果检测到某个运动个体与障碍物可能发生碰撞, 则采用紧急避障方法, 避免碰撞的发生. 这时, 引导分量和范围保持分量对该个体的控制作用失效.

紧急避障方法的实现思路: 以个体当前位置 P_0 、邻域节点的中心点 P_1, P_3 和当前邻域的角点 P_2 为控制顶点, 生成一条 Bezier 曲线的局部路径, 如图 4 所示. 当某个个体沿该曲线路径运动时, 需预检测该个体下一位置与其他个体是否发生碰撞, 如果检测出有碰撞发生, 则将该个体的速度设为 0. 当个体沿

该曲线路径运动到 P_3 时,再以引导分量和范围保持分量对个体进行运动控制。

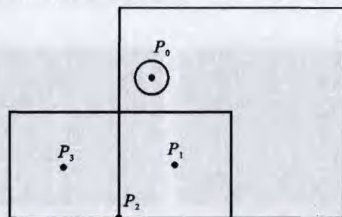


图4 局部路径曲线的控制点

3.4 实时交互的实现

通过改变引导分量的矢量场就可以实现动画师对个体运动的交互控制.在具体的实现中,动画师可以通过输入上、下、左、右方向的控制命令产生方向矢量,该矢量与引导分量进行叠加生成新的引导分量,具体计算公式:

$$\vec{v}_g(1-\delta)\vec{v}_g + \delta \frac{\vec{v}_c}{|\vec{v}_c|} \vec{v}' \quad (9)$$

式中,控制因子 $\delta \in (0,1]$,其大小表明了方向矢量对个体速度的影响程度,由动画师指定. $\vec{v}_c$ 为动画师输入的方向矢量的方向, $\vec{v}_c/|\vec{v}_c|$ 表示方向矢量的大小($\vec{v}'$ 的默认值是 $0.5v_{\max}$,具体取值由动画师确定).在实际的运动控制过程中,有两种情况个体不会对动画师的输入做出响应:一种是个体正在进行紧急避障时,另一种是个体与障碍物发生碰撞时。

4 群体动画的实现

4.1 算法实现流程

程序包括场景划分、路径规划、群体控制、个体控制、碰撞处理、数学运算、场景渲染等部分.其中,群体控制、碰撞处理、个体控制是程序的核心部分,程序算法实现流程如图5所示^[7-8].

在没有动画师干预情况下,程序先计算个体所受到引导分量,并确定个体所受的范围保持分量和个体的引力或斥力分量,将这些分量加权叠加后得出每个个体的速度,以此更新每个个体的位置;一旦有动画师干预,则要将动画师输入的方向矢量与引导分量叠加后生成新的引导分量。

4.2 实验结果与分析

实验在配置为 CPU 2.49 GHz 双核、2 GB 内存、NVIDIA GeForce 9300GE 显卡的机器上实现,程序采用 Visual C++ 和 OpenGL 编写.实验构建了一个街区四岔路口的虚拟场景并模拟了 20 个人的群体运动效果,图6(a)为动画师按左键时的个体

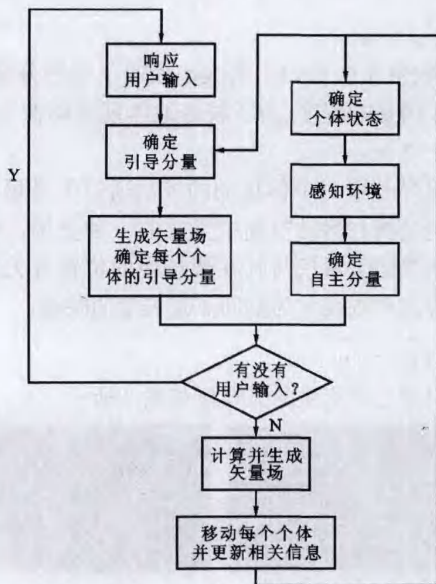
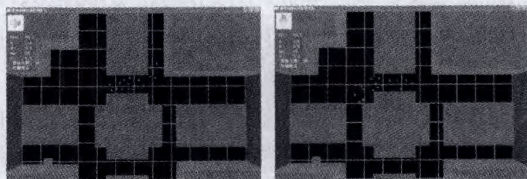


图5 程序算法实现流程

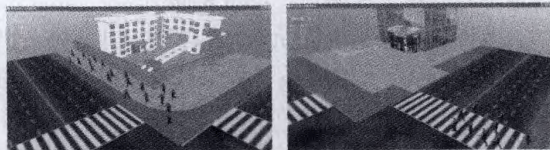
运动情况,图6(b)为动画师按下向下键时的个体运动情况.图7(a)为实验初始状态的渲染,图7(b)为群体通过狭窄范围时的运动情况,图7(c)为个体碰撞避免执行前的状态,图7(d)为个体碰撞避免执行后的状态。



(a) 按下向左的键

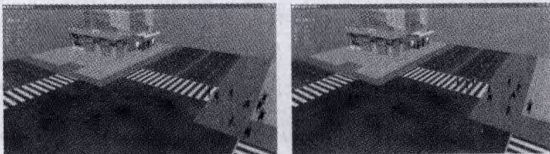
(b) 按下向下的键

图6 动画师对个体运动进行交互控制



(a) 群体渲染的初始状态

(b) 群体通过狭窄范围时的情况



(c) 个体间碰撞避免前的状态

(d) 个体间碰撞避免后的状态

图7 群体动画实验效果

在整个群体动画实现过程中,若不限画面每秒的刷新次数,画面帧数可以达到 120 帧/s,完全满足实时交互控制的要求.为了清楚地显示实验的效果,实验中,将画面的帧数减少到 60 帧/s。

5 结束语

利用全局路径规划方法寻找群体自主运动的最短路径,通过对运动曲线控制顶点的改变实现了群体运动的可控性.通过引导分量矢量场、范围保持分量矢量场和个体间自主的碰撞避免实现了个体运动的自主性,动画师可以通过调节各个分量的权值对个体运动进行间接的交互控制,同时,由于引导分量的矢量场是在运动模拟过程中动态生成的,因此动画师还能通过动态地改变引导分量来实现对个体运动的实时交互控制.实验结果表明,该方法既较好地模拟了群体动画中个体的自主运动,又满足实时控制的要求,实现了自主性与可控性相结合的群体动画运动控制.进一步的工作是对团体操等特殊应用情况下加入更多的自主运动规则,以便在更多的情况下模拟个体的自主运动^[9].

参考文献:

- [1] Craig W Reynolds. Steering behaviors for autonomous characters[C]// Proceedings of Game Developers Conference, San Francisco, 1999: 763—782.
- [2] Takeshi Sakuma, Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama. Psychological model for animating crowded pedestrians [J]. Virtual Humans and Social Agents. Comput. Animat. Virtual Worlds, 2005, 16(3/4): 343—351.
- [3] Marta B Villamil, Braun A, Soraia R Musse. A rules—based model used to describe group dynamics for games [C]// Computer Graphics and Image Processing, SIB-GRAPI 2003. Brazil, Sao Carlas, 2003: 91—98.
- [4] Bayazit O B, Lien J, Amato N M. Better group behav-

iors in complex environments using global roadmaps[C]// Proceedings of the eighth international conference on Artificial Life, Sydney, 2002: 37—57.

- [5] Musse S R, Thalmann D. Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics archive, 2001, 7(2): 152—164.
- [6] Ulicny B, Ciechomski P H, Thalmann D. Crowd brush: interactive authoring of real—time crowd scenes[C]// Proceedings of the ACM Siggraph/Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA'04). France, Grenoble, 2004: 243—252.
- [7] Sung M, Gleicher M, Chenney S. Scalable behaviors for crowd simulation[J]. Computer Graphics Forum, 2004, 23(3): 519—528.
- [8] Stylianou S, Fyrillas M, Chrysanthou Y. Scalable pedestrian simulation for visual cities[C]// Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. HongKong, 2004: 65—72.
- [9] Xiaogang Jin, Jiayi Xu, Charlie C L Wang, et al. Interactive control of large—crowd navigation in virtual environments using vector fields[J]. IEEE Comput Graph Appl, 2008, 28(6): 37—46.

作者简介:

姚 巍 男, (1986—), 硕士. 研究方向为计算机图形学、模式识别.

刘惠义 男, (1961—), 博士, 教授. 研究方向为计算机图形学、虚拟现实、模式识别.

沈赞芳 女, (1985—), 硕士. 研究方向为计算机图形学、模式识别.

(上接第 108 页)

- [9] 史忠植, 王文杰. 人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 387—417.
- [10] 马辉. 建设工程项目快速投资估算方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [11] 王洪斌, 杨香兰, 王洪瑞. 一种改进的 RBF 神经网络学习算法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(6): 38—41.
- [12] 曾希君, 于博. 基于改进的 BP 神经网络私家车保有量

的预测研究[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(3): 605—608.

作者简介:

杨 华 男, (1990—). 研究方向为人工智能、传感器网络.

王 珂 男, (1979—), 讲师. 研究方向为人工智能、传感器网络、地理信息系统.