

路径规划在 Intelligent Agent 三维人体动画中的应用

The Application of Path Planning in 3D Body Animation Based on Intelligent Agent

贺怀清 洪炳熔

(哈尔滨工业大学计算机科学与工程系 哈尔滨150001)

Abstract In generally, intelligent agent can generate basic locomotion of human in 3D animation based on intelligent agent. But it itself has no the ability of intelligent reasoning likewise human, which must be obtained by high-level action control. Path planning is one of the main components of its high-level action control. This paper describes the application of C-space method in 3D Body Animation Based on Intelligent agent. Finally, the animation results are given.

Keywords Intelligent agent, 3D body animation, Path planning, C-space method

1 引言

计算机动画的研究始于60年代初,随着计算机图形学理论的逐步深入与完善,特别是三维几何造型技术、真实感图形生成技术的发展,利用计算机进行三维模拟的应用日趋广泛、复杂。Agent 作为一个自包含的、交互的、相互独立的实体出现在计算机动画中,为在虚拟现实模拟人类社会行为找到了替代者。而这种模拟 Agent 大体上可分为 Avatar 与 Intelligent Agent 两大类。

Avatar 不能根据周围环境信息决定自身状态、而是直接执行用户所下达的命令或行动脚本中的单位动作指令,因此它只能执行一些简单动作,如直接挪动关节体而不考虑碰撞检测的动作等。对于需要实时产生动作的 Web 或 VRML 等多用户共享模拟系统,它只能为用户提供单一的动作。

Intelligent Agent 则是具有思想、感知、决策、行为的自主式结构,是虚拟环境下的“智能机器人”。它可以随时对所处的环境及自身状况加以确认,并能通过对用户所下达的命令及对动作脚本的理解,决定最佳单位动作或最佳单位动作的执行顺序。与 Avatar 产生的低层次动作相反,Intelligent Agent 可执行高水准的动作,因此为了适应更复杂更真实的模拟世界,便需要 Intelligent Agent 的存在。

目前,关于 Intelligent Agent 的研究,主要是通过计算机动画模拟出自然的人类行为,但生成自然且复杂的真人行为并非易事。Intelligent Agent 除了按要求生成一定步幅和一定频率的走路、跑步等基本运动外,

还要体现出人类行为中的智能性;即当其在虚拟环境中运动时,为了到达某个目标位置,完成作业,就需要在空间中确定一条无碰撞的运动路径。

通常,路径规划大致分两部分:一是全局路径规划,二是局部路径规划。在全局路径规划部分,本文采用 C-空间法为 Intelligent Agent 规划出一条全局静态路径;在局部路径规划部分,我们对全局静态路径进行动态修改,为 Intelligent Agent 在虚拟环境中达到目标,确定一条无碰撞的运动路径。动画结果表明我们的方法是可行的。

2 全局路径规划——C-空间法

全局路径规划算法多种多样,其中比较常用的有:C-空间法、正规栅格法、人工势场法和路径松弛法等^[1,2]。C-空间法一直被广泛应用于机器人的路径规划中,是由 S. Udupa 和 T. Lozano-Perez 等人提出的一种启发式搜索方法^[3],它简便、易行。运用这种方法,我们把虚拟环境中运动着的虚拟个体的位姿描述简化为 C-空间中的一个点。由于环境中障碍物的存在,虚拟个体在 C-空间中就有一个相应的禁区,称为“C-空间障碍物”。这实际上是构造了一个虚拟的数据结构,把运动的 Intelligent Agent、障碍物及其几何约束关系作了等效的变换,简化了问题的求解。

求出 C-空间障碍后,路径规划问题可以转化为求一个从初始位置点到目标位置点的不发生碰撞的路径规划问题,这样就简化了问题的求解,因此,在 C-空间中进行 Intelligent Agent 路径规划,可大大简化求解过程。

贺怀清 博士生,研究方向为三维人体动画,虚拟现实技术及应用,洪炳熔 教授,博士生导师。

2.1 C-空间建模

设在 Intelligent Agent A 上固联一个坐标系,其原点 O 设在 Intelligent Agent 的腰关节处。开始,固联坐标系与参考坐标系重合。当 Intelligent Agent 运动时,其在空间的位姿可以借助于集合 (x, y, θ) 来表示。其中 (x, y) 为原点相对于参考坐标系的位置, θ 为固联坐标系围绕原点旋转后与参考坐标系的夹角。

集合 (x, y, θ) 的一个取值表示 A 在空间中某种状态 P 下的位姿,称为 Intelligent Agent 的一个位姿 P。Intelligent Agent 的初始位姿点设为 s, 这时 $x=0, y=0, \theta=0$, Intelligent Agent A 的所有位姿构成位姿空间,记为 C-Space A, x, y, θ 则为该空间的三个坐标。由于 A 的位置和姿态变化可由位姿点来描述,在这种意义下,一个 Intelligent Agent 在位姿空间就被映射为一个点的轨迹。

对于障碍物 B, 由于它们的位置和姿态固定不变,可直接把它按 A 的约束关系映射到位姿空间中去。

运动物体 A 与障碍物 B 发生碰撞的所有状态在位姿空间中构成 C-空间障碍物,记为 $CO_A(B)$, 定义为位姿点的集合:

$$CO_A(B) = \{P \in CSpaceA \mid (A)_P \cap B \neq \emptyset\} \quad (1)$$

其中, $(A)_P$ 表示位姿点 P 相对应的 A 的全体点集。式(1)说明,如果 $P \in (B)_P$, 那么, $(A)_P$ 与 B 相交,因而, P 是不安全的位姿点。这样,关于 Intelligent Agent 路径规划的问题就等价于在自由空间里寻找 A 点的位姿点以及依次连接的位姿点序列。图1给出了 C-空间关系映射图。

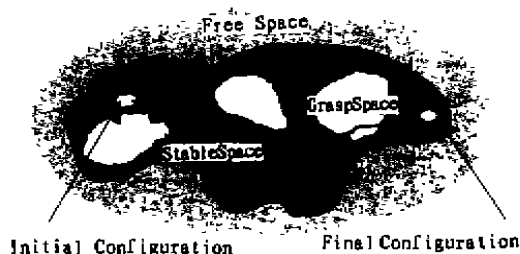


图1 C-空间关系映射图

2.2 用多边形膨胀法建立 C-空间障碍物模型

C-空间障碍物模型的建立是在 C-空间中进行 Intelligent Agent 路径规划的一个重要步骤,由于障碍物可以由多边形近似表示,本文采用多边形膨胀法建立 C-空间障碍物模型。所谓障碍物的“膨胀”就是将障碍物的边界向外扩展,这里我们取障碍物的几何中心为膨胀中心。定义如下:

定义1 距多边形各边距离均方差最小的点为几

何中心,

如图2,满足如下关系:

$$S(x_k, y_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{ki} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_{kj}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial S(x_k, y_k)}{\partial x_k} = 0 \quad (3) \quad \frac{\partial S(x_k, y_k)}{\partial y_k} = 0 \quad (4)$$

其膨胀关系为:

$$x_k' = p_k(x_k - x_k) \quad (5) \quad y_k' = p_k(y_k - y_k) \quad (6)$$

(x_k, y_k) 和 (x_k', y_k') 分别为图中 i, i' 点坐标, p_k 为膨胀系数。

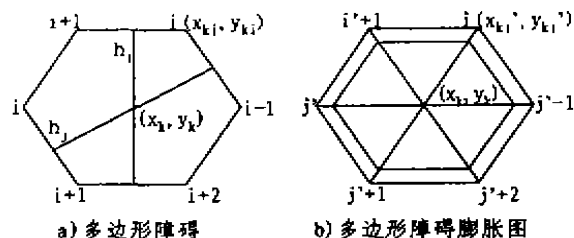


图2 多边形障碍及多边形膨胀图

2.3 切线图的构造

用多边形来表示障碍物边界的 C-空间障碍物模型,多边形内部就是碰撞区域,所规划出的路径不能与 C-空间障碍物相交,这样的路径才是合理的路径。所以,切线图上的公切线必须不穿过任何障碍物。

为了判断两个障碍物的公切线是否为无碰公切线,需要判断此公切线是否与其它障碍物有交点。由于多边形障碍物各边都是直线段,所以问题就简化为判断两条线段是否有交点,求直线段与直线段交点的算法如下:

设有直线段 AB 和 PQ, 其端点分别为 $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ 和 $P(x_P, y_P)$, $Q(x_Q, y_Q)$, AB 的参数方程为:

$$\begin{cases} x = x_A + (x_B - x_A)t \\ y = y_A + (y_B - y_A)t \end{cases} \quad (7)$$

$$PQ \text{ 的参数方程为: } \begin{cases} x = x_P + (x_Q - x_P)t \\ y = y_P + (y_Q - y_P)t \end{cases} \quad (8)$$

交点的参数值 (t_1, t_2) 应满足:

$$\begin{cases} x_A + (x_B - x_A)t_1 = x_P + (x_Q - x_P)t_2 \\ y_A + (y_B - y_A)t_1 = y_P + (y_Q - y_P)t_2 \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{即: } \begin{cases} (x_B - x_A)t_1 - (x_Q - x_P)t_2 = x_P - x_A \\ (y_B - y_A)t_1 - (y_Q - y_P)t_2 = y_P - y_A \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{令: } \Delta = \begin{vmatrix} x_B - x_A & -(x_Q - x_P) \\ y_B - y_A & -(y_Q - y_P) \end{vmatrix} \quad (11)$$

若 $\Delta = 0$, 则表示线段 AB 和 PQ 平行(包括重合或部分重合); 若 $\Delta \neq 0$, 则可求得 (t_1, t_2) 。当 $(t_1, t_2) \in [0, 1] \times [0, 1]$ 时, AB 和 PQ 有一个交点, 否则, 交点在 AB 和 PQ 的延长线上。如果两个障碍物的公切线与其它所有障碍物边界都不相交, 则此公切线为无碰公

切线。所有无碰公切线构成切线图。

因为切线图由无碰公切线在障碍物上的切点和切点之间的连线组成,所以采取数据结构中的有向图 $G(V, E)$ 存储数据。 V 是一个有限点的集合, E 是由 V 中两个不同元素组成的子集的集合, E 中元素称为边。切线图上的切点对应于图中的定点, 切线图上的切点之间的连线对应于图中的边。

为了表示图中切点之间连线的长度, 必须采用带权图, 这些权表示图中一个顶点到另一个顶点的距离, 即切线图中不同边的长度。带权有向图 G 的邻接矩阵 A 可表示为:

$$A(i, j) = \begin{cases} w_{ij} & i \neq j \text{ and } (i, j) \in E(G) \\ 0 & i = j \text{ or } (i, j) \notin E(G) \end{cases} \quad (12)$$

w_{ij} 表示 ij 边上的权, 这样的存储结构有利于应用各种图搜索策略, 即人工智能中的各种搜索算法进行最优路径搜索。

2.4 路径搜索

切线图的信息是以图的数据结构形式存储, 所以搜索策略就是在图中寻找路径的方法。从路径长度的优化算法的完备性来讲, A^* 算法是最有效的, 对于有限图, 若从初始点 S 到目标节点 T 有路径存在, 则 A^* 算法一定能成功结束, 即 A^* 算法是可采纳的。

A^* 算法的启发能力与启发函数 $h(n)$ 的选择有关。一般来说启发能力强, 则搜索效率较高, 但计算启发函数的工作量也是一个决定搜索算法能力的重要因素。本文中对于 Intelligent Agent 的路径搜索, 为保证所得到的路径长度较短, 取 $h(n)$ 为 n 到目标点的直线距离, 这样满足 $h(n) < h^*(n)$, 算法具有可采纳性, 能够找到最优路径, 并且启发函数满足单调限制条件。对于二维情况, 启发函数取:

$$h(n) = \sqrt{(goalx - nx)^2 + (goaly - ny)^2} \quad (13)$$

其中, $(goalx, goaly)$ 为目标点, (nx, ny) 为要计算的点。

本文采用的是切线图法构造的搜索空间, 与可视图法相比较, 它具有图结构简单, 节省存储空间, 规划速度快等优点。并且应用 A^* 算法在切线图中搜索最优路径, 在很大程度上提高了搜索效率, 满足了实时动画的需要。

3 局部路径的动态修改

前面我们采用 C-空间法进行的全局路径规划, 所生成的是全局静态路径, 可以使 Intelligent Agent 避开静态障碍物。考虑到复杂的虚拟环境中可能同时存在多个运动的 Intelligent Agent, 对于每一个 Agent, 需要把自身之外的移动 Agent 看成是动态障碍物, 为处理 VR 中多 Intelligent Agent 运动的问题, 本文在每一帧中对周围的物体进行考察, 检测动态障碍物的位置和运动方向、运动速度, 并在有可能发生碰撞时,

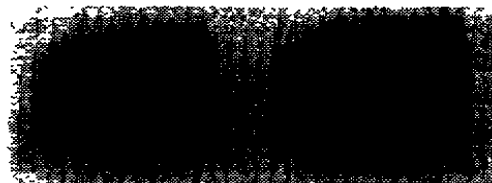
修正所产生的全局静态路径, 以避免运动障碍。

4 动画结果

我们在一台具有 R4400CPU 和 128M 内存的 SGI Indigo2 工作站, 利用 IRIS Performer 开发了基于 Intelligent Agent 的二维人体动画系统。该系统较好地模拟了人类的一些智能性行为。图 3、图 4 和图 5 给出了 Intelligent Agent 运用路径规划算法在 VR 环境中寻找动态目标的动画结果。



图3 intelligent agents 在局部路径规划下避开障碍物



a. 虚拟人握住门把手

b. 将门推开

a. 从门后跑过来 b. 转身准备绕过房门

图4(a)-(b) 虚拟人推门走出房间的仿真结果

图 3 展示的是多个 Intelligent Agent 在场景中行走, 当检测到圆桌障碍物时, 修改行动方向, 以最短路径到达目的地。

图 4 中初始状态为 Intelligent Agent 在 VR 场景中的一个小木屋中, 为了实现走出房间的目的, Intelligent Agent 应检测房间的门是否敞开。由于房门处于关闭状态, 当走到关闭的门前, 虚拟人主动停下来, 用手握住门把手, 缓慢地推开房门; 当房门打开后, Intelligent Agent 才走出来。图 4(a) 给出了 Intelligent Agent 将手置于门把手上的时刻, 图 4(b) 给出了 Agent 将门推开的例子。

当 Intelligent Agent 从场景的远处跑过来时, 因为房门是敞开的, 且 Intelligent Agent 是从门的后面过来的, 这种情况下, 房门对于它来说就是一个障碍物, 所以 Intelligent Agent 必须绕过房门才可进屋, 图 5(a)-(d) 给出了动画结果。

(下转第 108 页)

对分析专家的,典型的最终用户,如商场主,工程师或企业主,他们缺少复杂的数据分析技能,但对他们自己所从事的领域有深刻的理解,此外,他们对能够清晰快速地回答他们的日常业务问题感兴趣。

最终用户需要使用简单的能有效解决其业务问题的工具,现有的软件包在指导分析过程和以便于用户理解的方式表达分析结果方面缺乏充分的支持。

管理变化的数据。在许多应用中,数据都不是静态的,而是不断变化发展的,不断变化的数据使得以前的发现模式不再有效,而必须以新的模式取而代之,当前解决这一问题的唯一方法是在周期性时间段内重复相同的分析过程。显而易见,人们需要对不断变化的模式进行增量式更新的方法和识别与管理发生于知识库中的时态变化模式的策略。

非标准数据类型。今天的数据库不仅包括像数值和字符串这样的标准数据,也包括大量的非标准的和多媒体数据,如自由格式文本,音频,视频和图像数据,时态、空间以及其它数据类。这些包含特殊模型的数据类型用标准分析方法不能很好地处理,因此,这些应用需要特殊的,常常是面向特定领域的方法和算法。

一方面仍有一些根本问题有待解决,另一方面,已有很多重要的成功范例被报道,并且其结果和优点令人印象深刻。虽然当前的方法仍然依赖于相当简单且能力有限的几种技术,但却能获得有用的结果,KDD技术的巨大潜力已在范围广阔的应用领域中令人信服地得到了展示,前景广阔的实际应用需求使我们期待该领域有一个健康美好的未来。

(上接第118页)



图5(a)-(d) 为 intelligent agent
跑进房间的仿真结果

结论 在基于 Intelligent Agent 的动画系统中,

为使 Intelligent Agent 在 VR 环境中智能性地模拟人类的行为,我们在其高级行为控制部分采用进行 Intelligent Agent 的路径规划,在多边形膨胀法建模的基础上,利用多边形的无碰公切线够造切线图,通过 A* 算法搜索从初始位置到目标位置的无碰路径。动画结果表明 C-空间法路径规划在 Intelligent Agent 的 3D 人体动画中是切实可行的,它在 Intelligent Agent 的智能行为控制中发挥了重要作用。

参考文献

- 1 Gilbert E, Johnson D W. A Fast Procedure for Computing the Distance Between Complex Objects In Three-Dimensional Space. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1988, 4(2): 193~195
- 2 Fukumoto M, Mase K, Suenaga Y. Real-time Detection of Pointing Actions for A Glove Free Interface. In IAPR Workshop On Machine Vision Applications, 1992. 473~476
- 3 Tomas Lozano-Perez. Spatial Planning: A Configuration Space Approach. IEEE Tr. Computers, 1983, 32(2): 108~120