

八叉树在三维场景建模和路径规划中的应用

黄永丽¹, 苏尚恩²

(1. 郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450002;

2. 北方导航控制技术股份有限公司, 北京 100176)

摘要: 以运动角色的动作特征为切入点, 分别对动画自动生成系统中八叉树的不同应用进行设计: 对场景模型精度要求不高的飞行角色, 八叉树用于场景简化建模; 对场景精度要求较高的行走和爬行类角色, 八叉树用于测试物体模型间的相交测试及路径搜索中碰撞检测. 试验结果表明, 通过八叉树使用的不同提高了场景建模的效率和路径搜索的速度, 简化了问题的复杂度, 另外能够很好地为各类角色规划出合理路径. 规划结果具有较好的完备性和最优性.

关键词: 八叉树; 三维路径规划; 碰撞检测; 相交测试; 场景建模

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

Application of octree in 3D scene modeling and path planning

HUANG Yong-li¹, SU Shang-en²

(1. College of Comp. and Com. Eng. Zhengzhou Univ. of Light Ind. Zhengzhou 450002, China;

2. North Navigation Control Tech. Co., Ltd. Beijing 100176, China)

Abstract: The motion characteristics of characters work as a breakthrough point, the different application of octree were designed in animated automatic generative system respectively: octree is used to simplify scene modeling for flying characters which don't need to build scene modeling accurately. It is used to test intersection between models and detect collision in process of path searching for walking and crawling characters which demand high precision of scene modeling. Experiments results showed that the efficiency of scene modeling and path planning were improved and the complexity was simplified with octree. The methods could plan a more reasonable path for all kinds of characters. The results of planning path had more rationality and optimality.

Key words: octree; 3D path planning; collision detection; intersection test; scene modeling

0 引言

三维空间无碰撞的路径规划是计算机智能动画的关键技术之一, 其主要任务是在三维动画场景下, 依据虚拟角色的起始状态、目标状态及动作描

述, 按照某一最优指标自动规划出一条从起点到终点的合理的路径, 并且该路径不与场景中的障碍物发生碰撞. 三维路径规划一般需要进行场景建模、路径搜索和路径优化处理等步骤^[1]. 场景建模是整个过程的基础. 充分的场景模型信息和合理的数据

收稿日期: 2012 - 04 - 20

基金项目: 河南省教育厅科技攻关项目(2010B52003)

作者简介: 黄永丽(1977—), 女, 河南省商丘市人, 郑州轻工业学院讲师, 主要研究方向为可视化、计算机图形学.

结构有利于高效地进行路径搜索.对于场景建模其空间的表示方法主要有可视图法、空间构型法、自由空间法和栅格法^[1]等.八叉树用树状结构描述三维空间,是组织三维场景的一种重要的数据结构^[2].该结构在三维建模、优化数据表达、空间检索和计算方面具有高效性.J. Vörös^[3]提出四叉树用于二维环境下,而八叉树用于三维环境下的搜索方法,该算法对于简单场景的路径规划效率较高,但不太适用于复杂场景的路径规划.根据八叉树编码方式不同出现了不同的建模方法.肖乐斌等^[4]在路径搜索中对八叉树采用线性编码;史红兵等^[5]采用八叉树的场景建模方式,同时利用虚拟场景的摄像机机制,效果良好;傅由甲^[6]采用动态八叉树设计复杂场景;施斌^[7]采用线性八叉树对场景进行分割并在此过程中对八叉树结点进行编码;张磊等^[8]对于海量数据采用扩展八叉树模型进行建模;王瑞雪等^[9]采用传统八叉树和面向对象八叉树的设计思想提出了一种混合空间剖分八叉树的场景管理方法.这些方法都充分利用了八叉树在空间检索和计算方面的优势,针对不同的领域的应用采用不同的编码方式.

本文拟在运动角色并不是简单的点结构、场景空间中有复杂的三维地形模型和动画模型的动画自动生成系统中,引入线性八叉树法来描述场景空间,并针对不同的三维角色,采用不同的场景建模和路径搜索方法,同时利用八叉树进行碰撞检测.

1 八叉树结构

八叉树是一种重要的场景组织结构,近年来被广泛应用于数据存储、虚拟现实、地理信息系统、图像处理等领域中,该结构可显著减少对场景中多边形进行排序的时间^[6].在三维空间中,一个正方体的体积元素表示八叉树的一个结点,而每个结点有8个子结点.在使用八叉树之前需首先确定其编码体系,它直接影响路径搜索的效率.本文借鉴并应用文献[7]三维场景分割方法,采用八进制对空间8个子结点空间进行编码的线性八叉树编码体系.在八叉树结点的定义中各个分量分别保存该结点的的空间坐标、最大空间坐标、结点的八进制编码、所在层次、是否为灰结点、采样点集以及8个子结点集等信息.

本文定义的八叉树结点有2种:空结点和灰结

点,其中灰结点包含采样信息.根据八叉树结点的编码准则和它的定义,建立八叉树的过程如下.

步骤1:建立八叉树根结点.首先把整个场景的最大跨度和采样信息转换为三维坐标的形式放入八叉树根结点.

步骤2:遍历每个结点.如果不满足八叉树分解终止条件,根据线性八叉树编码准则将其分解为8个子结点,并对其编码.否则,不再分解该结点.

步骤3:对于分解得到的子结点,遍历每个子结点,迭代步骤2,直至八叉树被建立完毕.

2 八叉树在三维场景建模中的应用

本文分角色建立不同的场景模型,由于飞行角色运动主体主要是像老鹰、麻雀等飞禽和人造飞行器等,它们一般受重力影响较小,飞行的时候与障碍物保持一定的距离,所以对地形建模的精确程度要求不高.根据这一具体情况,本文利用八叉树进行简化场景的建模方式.爬行类和行走类路径规划^[10]的运动主体是松鼠、壁虎等,运动角色可以位于场景中物体的任意表面,动作自由度大,运动时受重力的约束而沿地表移动,所以地表信息对它们的运动具有决定性的影响,本文采用一种以场景模型单元面片为单位的精确化场景建模方法.

对于基于八叉树的简化场景建模方式,建立三维场景模型的步骤为:1)通过在模型表面采样的方式获得场景的采样信息集合.仿真实验采用Maya动画场景,所有对象表面都可以看做由三角形面片组成.对三角面片具体的采样思想为:判断虚拟飞行角色的最小边长是否大于三角形任何一边边长,如果大于,把该三角形面片的3个顶点放到采样点集中;如果小于,不但把3个顶点放到采样点集中而且需要对该三角面片进行进一步的分割,对该三角形面片的边界及其内部进行均匀采样,直到虚拟角色的最小边长大于采样间距为止,保存相应的采样信息.2)建立八叉树根结点保存全部采样信息.3)按照建立八叉树的过程对三维场景进行划分和编码.一个结点被分解为8个子结点时,包含在父结点中的采样信息集也相应地划分到其子结点中,直到叶子结点为止.4)整个场景的采样信息就存储在每个叶子结点中.

通过上述步骤,建立起基于八叉树结构的场景描述.根据实际需要,为了确保所有的空白叶子结

点都能容纳下飞行角色,在终止八叉树分解时添加一个限制条件,当八叉树结点边长的 $2/3$ 小于虚拟角色绑定盒的边长时,停止对该八叉树结点的分解.八叉树的空白叶子结点,表示没有任何环境模型信息,可以用于飞行角色的飞行路径,所有空白叶子结点形成路径搜索集.

在对爬行类和行走类虚拟角色的精确化场景建模时,以单元面片的形式保存场景模型中每个物体模型的信息,对于单元面片之间需要进行邻接关系的测试,具体方法如下: 1) 建立八叉树根结点. 整个场景单元面片集放入该结点. 2) 根据线性八叉树的编码体系,对结点进行分解. 每个结点被分解为8个子结点,包含在父结点中的单元面片集信息相应地划分到子结点中,直到划分到叶子结点为止. 最终,单元面片信息就存储在每个叶子结点中. 3) 遍历每个叶子结点,对于灰色结点进行邻接关系的判断. 判断包含在该灰色结点的单元面片是否属于同一物体,如果是,相交测试就不需要进行. 否则,对该结点内的单元面片进行两两相交测试,并保存相交信息. 该方法充分利用了八叉树在空间计算和搜索方面的高效性,使得单元面片的相交测试易于实现.

3 利用八叉树进行碰撞检测

三维场景建模保存了场景模型信息及其之间的邻接关系,还需要采取一定的算法为虚拟角色搜索出一条合理的、最优的路径. 对于当前点,为了获取下一个可扩展点,需要进行碰撞检测. 碰撞检测有以层次模型为基础的八叉树干涉检测算法^[11]等. 根据爬行类和行走类三维场景建模所采用的数据结构和路径搜索的方法,本文设计了路径搜索过程中碰撞检测的方法. 实现步骤如下: 1) 在三维虚拟爬行角色面部朝向的单元面片上取一些标志点,当角色向下一个面片扩展时,该单元面片上的标志点就与要扩展的单元面片的对应标志点连接形成不同的运动线段. 2) 计算这些线段经过的路径搜索集中灰色叶子结点,并测试该线段是否与包含在该叶子结点内的单元面片相交,如果都不相交表示没有发生碰撞,可以扩展,否则认为碰撞发生,需要寻找新的扩展点. 由于单元面片最终可以转换为三角形面片,通过上述步骤把碰撞检测问题转化为三角形面片与多条线段之间的相交测试问题. 因此该方法

简化了问题的复杂度,便于分析实现,提高了精确性;同时由于八叉树在空间快速搜索和计算的高效性,碰撞检测的速度也得到了提高. 利用这些线段进行碰撞检测具体实现算法流程如图1所示.

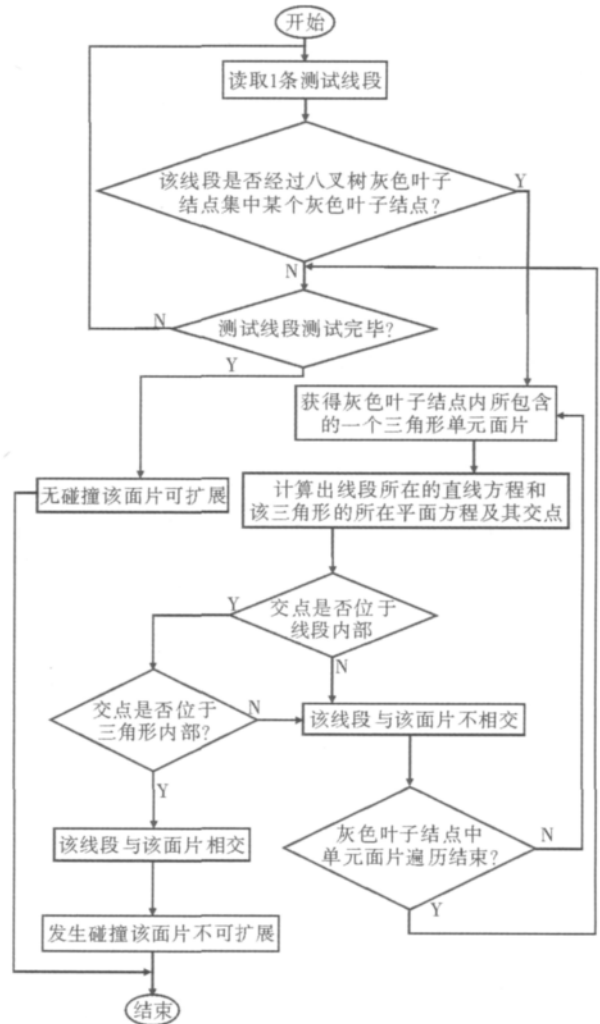


图1 碰撞检测流程图

在实际应用时,由于不同的爬行角色所不能经过的事物是不同的,因此采取一个文本文件保存不同的角色所不能经过的物体模型的名称,在虚拟角色路径搜索时,读取该文件的内容,判断要扩展的面片是否包含在它不能经过的物体模型中,如果包含,表示该角色不能经过该物体,需要继续寻找下一个扩展点.

4 仿真试验

本文以老鹰为虚拟飞行角色、兔子为行走角色、松鼠为爬行角色对上述设计方法进行试验,并设置不同的场景,其中第1个场景设置了河流、大树13棵、小桥等障碍物,该场景信息都由八叉树结点

保存.图2为该场景下的飞行全局图,老鹰飞行的起点和终点分别为S和T,白色连线为老鹰规划生成的三维飞行路径.试验表明在利用八叉树进行简化场景的建模方式下,只需要进行八叉树空白叶子节点的搜索和邻域的查询,就能够为飞行角色规划出合理的、没有碰撞的路径,其路径规划耗时较少,规划结果具有较好的完备性和最优性.

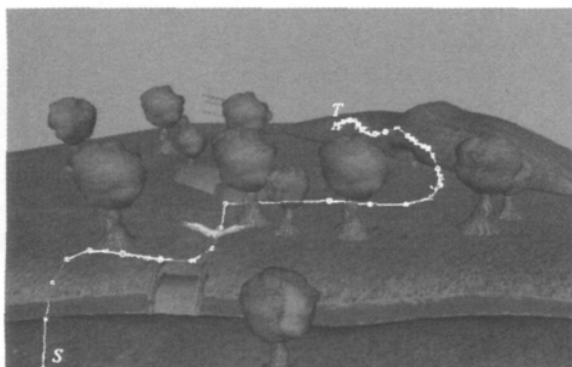


图2 飞行路径全局图

第2个场景有41 000多个单元面片,有河流、山洞、树木、陡坡隧道和盘旋公路等障碍物构成更复杂的场景.图3为该场景下的爬行图和行走图,S1和T1分别为兔子行走的起点和终点,从规划的路径可知该路径能自动绕开中间的2个陡坡.松鼠爬行的起点和终点分别为S2和T2,位于河流两岸,规划结果能够避开河流而通过小桥到达河对岸的目的地.该方法能够规划出合理的、没有碰撞的路径,使得规划结果具有较好的完备性和最优性.至于规划时间,主要受试验环境的影响,相对简单的场景,由于进行较少的相交测试和碰撞检测,路径规划耗时较少;而大型复杂场景,由于需要场景精确建模,规划时间相对长些.

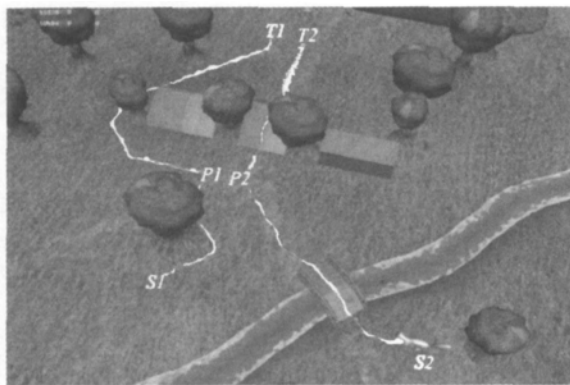


图3 爬行和行走路径图

5 结论

本文在进行三维动画和场景建模中,以运动角色的动作特征为切入点,针对不同的虚拟角色运动特点采用不同的场景建模方式,对于精度要求不高的飞行角色场景建模采用八叉树简化场景的方式进行.对于对场景精度要求较高的行走类和爬行类虚拟角色,采用精确建模方式,另外利用八叉树测试不同物体模型间的相交情况及路径搜索过程中进行碰撞检测,使角色贴近地形表面运动,符合爬行角色自身运动的特点.使用八叉树数据结构提高了场景建模效率和路径搜索速度,简化了问题的复杂度.试验表明该方法能够很好地为各类角色规划出合理的路径,规划结果在满足自身运动特点的基础上具有较好的完备性和最优性,具有一定的应用价值.

参考文献:

- [1] 王妍.动画自动生成中运动规划及其路径规划的研究与实现[D].北京:北京工业大学,2009.
- [2] 蒋德茂.引入虚拟角色的三维漫游系统的设计与实现[D].苏州:苏州大学,2007.
- [3] Vörös J. Low-cost implementation of distance maps for path planning using matrix quadtrees and octrees [J]. Robotics and Comp Integrated Manufacturing 2001, 17(6):447.
- [4] 肖乐斌,龚建华,谢传节.线性四叉树和线性八叉树邻域寻找的一种新算法[J].测绘学报,1998,27(3):195.
- [5] 史红兵,张毅彬,童若锋,等.虚拟场景自动漫游的路径规划算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(4):592.
- [6] 傅由甲.动态八叉树在复杂场景设计中的应用[J].系统仿真学报,2006,18(S2):408.
- [7] 施斌.虚拟场景下自动路径选择的研究[D].南京:河海大学,2008.
- [8] 张磊,唐杰,武港山.基于海量地震数据的多分辨率扩展八叉树模型[J].计算机工程,2009,35(21):267.
- [9] 王瑞雪,安建成.基于混合空间剖分八叉树场景管理技术的研究[J].电脑开发与应用,2010,23(4):258.
- [10] 王田苗,孟德,裴葆青,等.仿壁虎机器人研究综述[J].机器人,2007,29(3):290.
- [11] Klosowski, James T. Efficient Collision Detection for Interactive 3D Graphics and Virtual Environment [D]. Stony Brook: State University of New York at Stony Brook, 1998.