

改进的飞行模拟碰撞检测算法研究

边园飞¹, 杨光², 杨红雨¹

(1. 四川大学 计算机学院 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室, 四川 成都 610065;
2. 民航西北空管局培训中心, 陕西 西安 710082)

摘要:在研究飞行器模拟仿真中,为解决飞行器碰撞检测实时性的有关问题,首先对传统算法与模型进行了研究,并在此基础上改进了传统的空间分解方法,提出了改进的飞行模拟碰撞检测算法。该模型对飞行器所在空间进行分解,并对飞行器进行初步碰撞检测,在该基础上,对可能发生碰撞的飞行器建立包围盒,然后对包围盒进行快速相交判定判定飞行器之间是否发生碰撞。仿真结果表明:该算法降低了时间复杂度,为仿真的实时性提供了可靠的保障。

关键词:碰撞检测;空间分解;散列表;包围盒;快速相交测试

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)01-0005-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.01.002

Study of Improved Aircraft Collision Detection Algorithm

BIAN Yuan-fei¹, YANG Guang², YANG Hong-yu¹

(1. State Key Laboratory of Fundamental Synthetic Vision, College of Computer, Sichuan University,
Chengdu 610065, China;

2. Air Traffic Management Bureau of Northwestern Regional of CAAC, Xi'an 710082, China)

Abstract: In the study of aircraft simulation, in order to solve the aircraft collision detection real-time related problems, first the traditional algorithm and the model was studied, and on this basis improve the traditional space decomposition method and give the flight simulation algorithm for detection of collision. The model divides the space of the aircraft, preliminarily detect the aircraft, build bounding box for the possible of the collision of the aircraft, then detect the aircraft by the fast crossing test algorithm. Simulation results show that the algorithm can decrease the time complexity, provide a reliable guarantee for the real-time of simulation.

Key words: collision detection; space division; hash table; bounding box; fast crossing test

0 引言

随着国家新一代空中交通管制系统的发展,研究和分析飞行器模拟仿真系统成为人机交互领域(HCI)的一个热点。该系统在飞行员的训练和应用研究等领域有着越来越广泛的应用。此系统是一个复杂的软件系统,主要应用了计算机领域的诸多技术—虚拟现实技术、计算机仿真技术等,另外还有其它学科的知识。在该系统的开发过程中,对运动物体进行有效、实时的碰撞检测^[1]是完成飞行员训练和应用研究的重点任务。

国内外的学者对碰撞检测进行了研究,提出空间

分解法、层次包围盒法、时空包围盒法和距离跟踪法等有效方法^[2]。

包围盒检测是利用比对象体积略大但形状简单的基本几何图形将对象包裹起来,首先进行包围盒之间的碰撞检测,若发生碰撞再将对象的包围盒分层细分进行精确的碰撞检测。根据包围盒类型的不同可以分为轴向包围盒(AABB)^[3]、包围球^[4]、方向包围盒(OBB)、固定方向凸包包围盒(FDH)等。

空间分解是将大场景按照某种规律划分成小场景,在进行碰撞检测时,先确定两个需要检测的物体是否位于同一个小场景中。如不是,则表明这两个物体一定不会碰撞,若是,则对两物体进行精确判断。传统的空间分解法^[5]有二叉树分解法(BSP)、八叉树分解法、K-d树等,但由于传统的空间分解方法时间复杂度和空间复杂度较高,检测过程将耗费计算机大量的资源,难以保证碰撞检测的实时性。

提高碰撞检测的实时性一般从两方面处理:减少参与检测的图元对,减少基本图元间相交检测的时间。

收稿日期:2012-05-03; **修回日期:**2012-08-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60736046);国家“973”重点基础研究发展计划项目(2009CB320803)

作者简介:边园飞(1988-),女(通讯作者),山东兖州人,硕士,研究方向为图像处理与模式识别研究;杨红雨,教授,博士生导师,研究方向为计算机图像处理和图形学、计算机仿真和实时软件工程。

经典的相交测试方法主要有 brute-force(蛮力)^[6]方法。其基本原理为通过检测两个三角形的各个边是否相交来判断两个三角形是否相交,这种检测方法简单但是效率较低,根本不能满足实时性的要求。

针对以上问题,文中提出了一种改进的碰撞检测算法,此算法包括两部分:一是确定碰撞检测对,二是对基本图元对进行快速判交。最后,通过实验验证了该算法的正确性与实时性。

1 算 法

1.1 算法流程

首先给出算法的整个流程,如图 1 所示:

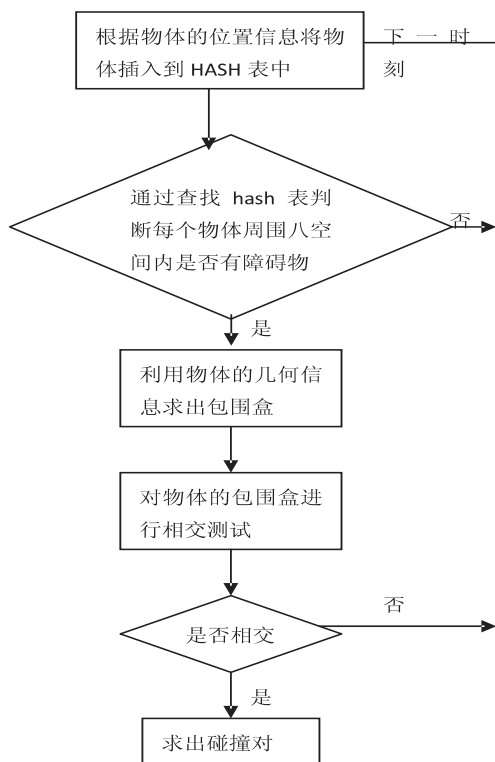


图 1 算法流程图

此算法的第一阶段是将整个空间离散化。由于实验中整个空间过大,且物体运动范围仅局限在空间的局部,故文中只对局部空间进行分解。记此空间为 S ,把 S 划分为长为 $length$,宽为 $width$,高为 $height$ (由于实验采用的基本几何元素是长方体,文中取 $length$ 为各长方体长的平均值, $width$ 为各长方体宽的平均值, $height$ 为各长方体高的平均值)的空间网格。然后对这些网格进行编号,这里使用整数 (i,j,k) 来标识网格。最后将几何元素间接映射到空间网格中。这里采取的间接映射是一种近似方法,即使用物体中心位置点所占据的空间网格。若物体中心点 p 的坐标分别为 (x,y,z) , p 所在的空间网格为 (i,j,k) , i,j,k 可以由下式求出:

$$i = x/length$$

$$j = y/width;$$

$$k = z/height。$$

为减少空间网格的判断次数同时方便搜索,文中采用哈希表进行存储。由于哈希表是一维表,因此需要把三维的空间网格映射到一维的哈希表中。设哈希表的索引为 $index$,空间网格为 (i,j,k) ,哈希表的大小为 $size$ (根据试验该值取为 $3n$)。定义哈希函数为 $index = (p1 * i + p2 * j + p3 * k) \% size$,其中 $p1, p2, p3$ 为三个大素数,在本算法中 $p1 = 2000687, p2 = 8000983, p3 = 5123691$ 。这样做的目的是为了使存储的数据在哈希表中能够均匀分布。

第二阶段扫描每一个物体,同时对它周围八个空间网格进行判断是否有障碍物存在,判断方法是根据位置信息查找哈希表中存储的数据信息,若存在障碍物,则对其建立包围盒,然后对其进行包围盒的相交测试。

1.2 轴向包围盒 AABB

由于 AABB 包围盒在碰撞检测的研究历史中使用得最久最广,它平行于空间坐标,构造简单^[7],故文中使用 AABB 包围盒。

一个对象的沿坐标轴的包围盒(AABB)被定义为包含该对象且各边平行于坐标轴的最小六面体。描述一个 AABB 仅需 6 个变量,即对象基本几何元素中各顶点 x,y,z 坐标的最大值和最小值。

AABB 间的重叠测试是所有包围盒类型中最简单最快速的^[8]。两个 AABB 重叠测试可通过各坐标轴上的投影区间是否重叠来判断。若两个 AABB 包围盒在任何一个坐标轴上的投影区间都不重叠,则可判定该包围盒对不相交;若它们在三个坐标轴上的投影区间都重叠,才可判定该包围盒对是相交的。

1.3 快速判交

基本原理^[9]为:由于每个多边形必存在于一个平面内,若多边形相交则其必与两个平面的交线相交。因此,要判断两个多边形是否相交,可先检测每个多边形所在的平面是否相交,若相交则再根据多边形与平面交线的关系来判断两多边形是否相交。

步骤如下^[10]:

假设两个多边形 $P_0(V_{0,0}, V_{0,1}, \dots, V_{0,m-1})$ 和 $P_1(V_{1,0}, V_{1,1}, \dots, V_{1,m-1})$,其中 $V_{0,i}(i = 0, 1, \dots, m-1)$ 和 $V_{0,j}(j = 0, 1, \dots, m-1)$ 分别为多边形 P_0 和 P_1 的顶点序列,所处的平面为 π_0 和 π_1 ,按此顶点顺序确定的两平面法向量为 N_0 和 N_1 ,其平面法向为:

$$N_k = (V_{k,1} - V_{k,0}) \times (V_{k,2} - V_{k,1}), k = 0, 1 \quad (1)$$

π_k 的平面方程为:

$$f_k(V) = N_k(V - V_{k,0}), k = 0, 1 \quad (2)$$

式中, V 为 π_k 上的点。

引入一个新节点 $V_{0,m} = V_{0,0}$, 将 P_0 顶点 $V_{0,i} (i = 0, 1, \dots, m-1)$ 一次代入式(2), 计算顶点 $V_{0,i}$ 到平面 π_1 的有符号距离:

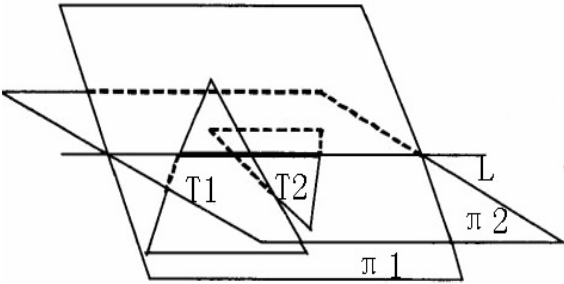
$$d_{0,i} = f_1(V_{0,i}) = N_1(V_{0,i} - V_{1,0}), i = 0, 1, \dots, m \tag{3}$$

- 对此距离进行讨论可知^[11]:
- (1) 如果所有的 $d_{0,i}$ 符号相同, 说明 P_0 和 P_1 不相交, 这样可在早期排除不相交情况;
 - (2) 如果所有的 $d_{0,i}$ 等于0, 那么 P_0 和 P_1 共面, 即 π_0 和 π_1 为同一个平面, 这时执行简单的二维相交测试;
 - (3) 若所有的 $d_{0,i}$ 具有不同符号, 则多边形 P_0 和平面 π_1 相交于直线 L , 直线 L 的方程为:

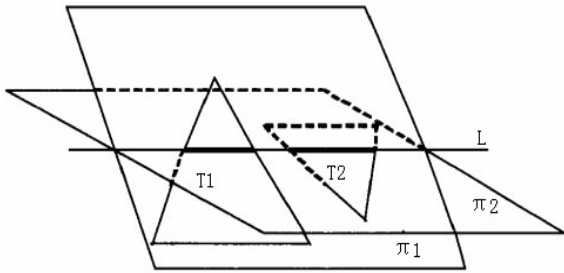
$$L - O = tD \tag{4}$$

式中,
 $D = N_1 \times N_2$
且: O 为 L 上某点, t 为直线 L 上点的坐标的标量值。

由图2可以看出, 多边形与 L 的相交处形成了一段间隔, 如果两端间隔发生重叠, 那么两三角形相交。



(a) 两间隔重叠, 三角形相交



(b) 两间隔不重叠, 三角形不相交

图2 两三角形相交判定

下面求这两段间隔区间的值, L 为两平面的交线, $V_{0,i}$ 是 P_0 的顶点, π_0 和 π_1 为多边形所在的平面, $K_{0,1}K_{1,1}$ 为三角形顶点在平面上的投影。

$$B = \overrightarrow{V_{0,1}V_{1,1}} \cap L = O + t_1D \tag{5}$$

三角形 T_1 各顶点在 L 上的投影点 $R_{1,i}$ 的坐标为:
 $P_{v_{1,i}} = D \bullet (v_{1,i} - O)$ (6)

由 $\Delta K_{1,0}R_{1,0}B$ 和 $\Delta K_{1,1}R_{1,1}B, \Delta V_{0,1}BK_{0,1}$ 和 $\Delta V_{1,1}BK_{1,1}$ 相似可得:

$$\frac{d_{v_{1,0}}}{-d_{v_{1,1}}} = \frac{t_1 - P_{v_{1,0}}}{P_{v_{1,1}} - t_1} \tag{7}$$

整理得:

$$t_1 = P_{v_{1,0}} + (P_{v_{1,1}} - P_{v_{1,0}}) \frac{d_{v_{1,0}}}{d_{v_{1,0}} - d_{v_{1,1}}} \tag{8}$$

同理可得:

$$t_2 = P_{v_{1,2}} + (P_{v_{1,1}} - P_{v_{1,2}}) \frac{d_{v_{1,2}}}{d_{v_{1,2}} - d_{v_{1,1}}} \tag{9}$$

T_2 与 L 的间隔区间值 t_3, t_4 依此类推。通过检测最小/最大条件(即一个间隔区间的最小值要小于另一个间隔区间的最大值)来判断两段间隔是否相交, 如果 $t_3 \leq t_2$ 且 $t_1 \leq t_4$, 两段间隔重叠, 则两三角形相交。

2 实验结果

在 VS2008 环境下对相交算法进行验证, 分别通过传统法和改进法来观察测试对数与测试时间的变化关系, 如表1所示:

表1 测试对数与测试时间数值表

算法	时间	测试对数				
		500	1000	1500	2000	2500
传统法	T1	0.183	0.521	0.871	1.215	1.548
改进法	T2	0.119	0.402	0.692	0.988	1.289
算法	时间	测试对数				
		3000	3500	4000	4500	5000
传统法	T1	1.904	2.249	2.589	2.998	3.324
改进法	T2	1.596	1.897	2.218	2.501	2.813

图3为传统算法和改进算法在 Matlab 下测试对数与测试时间变化关系图。

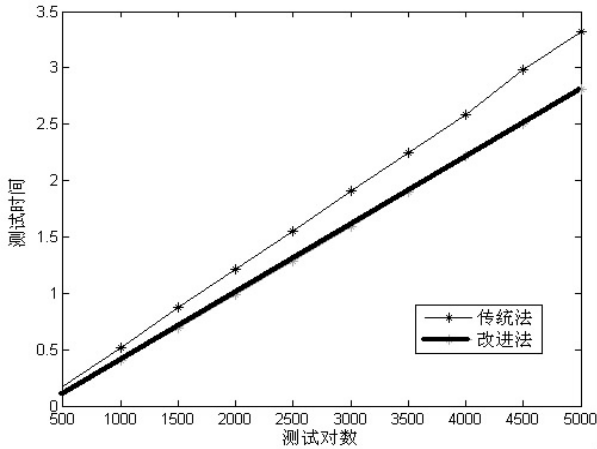


图3 测试对数与测试时间的关系

碰撞实验采用的是飞行器模拟仿真中飞机发生碰撞的情形。在实验中实现了当一架飞行器和另一架飞行器发生碰撞的情况并给出了碰撞结果见图4。但是本实验暂时还没有实现精确碰撞点的检测, 这将在以后完善。



图 4 飞行器碰撞仿真图

3 结束语

文中提出了一种基于改进的空间分解和快速判交的碰撞检测算法,即首先通过对空间的线性分解将不相交的物体对排除,然后对排除后的物体建立包围盒快速判交判断是否发生碰撞。在空间分解法中采用了一种灵活的数据结构即哈希表,利用哈希表的特性能够解决多个物体共空间的问题。同时采用多边形相交快速检测算法,降低了时间复杂度,为仿真的实时性创造了条件,并通过试验验证了该方案的可行性及有效性。但文中暂时未涉及对精确碰撞点的检测^[12],因此下一步研究的重点在于满足实时性要求的同时精确检测碰撞点问题。

参考文献:

- [1] 马登武,叶文,李瑛. 基于包围盒的碰撞检测算法综述

(上接第 4 页)

兼容架构。该系统为下一代网络在资源访问和数据查找方面,向一体化新网的过渡提出了很好的解决方案。

该兼容 DNS 的一体化网络资源解析系统仍处于测试阶段,其在具体性能指标和实际部署方案仍存在可以优化的方面,有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Walfish M, Balakrishnan H, Shenker S. Untangling the web from DNS[C]//Proceedings of the 1st Conference on Symposium on Networked Systems Design and Implementation. San Francisco, California: [s. n.], 2004:225-238.
- [2] Pappas V, Wessels D, Massey D, et al. Impact of Configuration Errors on DNS Robustness[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2009, 27(5):275-290.
- [3] Sollins K. Architectural principles of uniform resource name resolution[S]. RFC 2276, 1998.
- [4] Sollins K, Masster L. Functional Requirements for Uniform Resource Names[S]. RFC 1737, 1994.
- [5] Adje-Winoto W, Schwartz E, Balakrishnan H, et al. The de-

[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4):1058-1064.

- [2] Virtual computer corporation hardware object technology development system user guide[EB/OL]. 1998. <http://www.vcc.com>.
- [3] Hubbud P M. Approximation Polyhedra with Spheres for Time-critical Collision Detection[J]. ACM Trans on Graph, 1996, 15(3):179-210.
- [4] Palmer I J, Grimsdale R L. Collision Detection for Animation Using Sphere-trees[J]. Computer Graphics Forum, 1995, 14(2):105-116.
- [5] 陈学文,丑武胜,刘静华,等. 基于包围盒的碰撞检测算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(5):46-50.
- [6] Guigue P, Devillers O. Fast and Robust Triangle-Triangle Overlap Test Using Orientation Predicates[J]. Journal of Graphics Tools, 2003, 8(1):25-42.
- [7] 朱元峰,孟军,谢光华,等. 基于复合层次包围盒的实时碰撞检测研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(2):372-377.
- [8] 黄可. 层次包围盒的碰撞检测算法研究[J]. 中国科技信息, 2010(17):97-98.
- [9] Miller T. A fast triangle-triangle intersection test[J]. Journal of Graphics Tools, 1997, 2(2):25-30.
- [10] 申静波,唐国维,李井辉. 基于夹边边对的凸多边形间快速相交检测算法[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(12):93-94.
- [11] 许强,吕晓峰,马登武. 三角形和三角形相交测试技术研究[J]. 计算机仿真, 2006, 8(8):76-78.
- [12] 王志强,洪嘉振,杨辉. 碰撞检测问题研究综述[J]. 软件学报, 1999, 10(5):545-551.

sign and implementation of an intentional naming system[J]. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 1999, 34(2):186-201.

- [6] 张宏科,苏伟. 新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务[J]. 电子学报, 2007, 35(4):593-598.
- [7] 张宏科,秦雅娟,周华春,等. 一种实现一体化网络服务的体系结构[P]. 中国:200510134579, 2005-12-19.
- [8] 杨冬,周华春,张宏科. 基于一体化网络的普适服务研究[J]. 电子学报, 2007, 35(4):607-613.
- [9] 杨冬. 面向资源的普适服务网络体系基础研究[D]. 北京:北京交通大学, 2008.
- [10] 张宏科,王博,张思东,等. 实现一体化网络中普适服务的方法[P]. 中国:200610169726, 2006-12-28.
- [11] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications[C]//Proceedings of the 2001 ACM SIGCOMM Conference. [s. l.]: [s. n.], 2001:149-160.
- [12] Mockapetris P. Domain Name-implementation and Specification[S]. RFC 1035, 1987.

改进的飞行模拟碰撞检测算法研究

作者:

[边园飞](#), [杨光](#), [杨红雨](#)

作者单位:

[边园飞, 杨红雨 \(四川大学 计算机学院 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室, 四川成都 610065\)](#), [杨光 \(民航西北空管局培训中心, 陕西 西安 710082\)](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#)

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2013(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201301004.aspx