

一种基于 AABB 包围盒法的改进算法

林海波¹, 王伟², 杨会林²

(1. 台州职业技术学院, 浙江 台州 318000; 2. 东北大学, 沈阳 110006)

摘要:介绍了实时碰撞检测技术的概念及现状,分析了存在的问题,提出了改进的 AABB 包围盒法,改进的 AABB 包围盒法进行实时干涉检验确保拆卸路径的有效性。试验证明,该算法比传统包围盒法包围物体更为紧密,可大大减少不必要的干涉检验,从而降低了系统开销,改进后的 AABB 包围盒算法比传统的包围盒算法检验速度快 5%~20%。

关键词:碰撞; 检测技术; 改进; AABB 包围盒法

中图分类号:TH12; TP391.7

文献标识码:B

文章编号:1006-0006(2008)03-0069-02

An Improved Algorithm Based on AABB Trees

LIN Hai-bo¹, WANG Wei², YANG Hui-lin²

(1. Taizhou Vocational College, Taizhou 318000, China;

2. School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110006, China)

Abstract: This essay introduces the concept and the current situation of the real time collision detection technique, analyses its problems and puts forward the method of improving AABB box-based algorithm and also the validity of the improved AABB box-based algorithm on the real time interferometric detection to ensure the disassembly process. It is proved that it is intenser than traditional axis aligned bounding boxes algorithm and helps to reduce the unneeded interferometric detection, and to reduce the system overhead also, the improved AABB box-based algorithm is 5%~20% faster than the traditional one.

Key words: Collision; Detection technique; Improve; Axis aligned bounding boxes (AABB)

碰撞检测是构成虚拟现实系统的基本要素,也是虚拟装配系统的基本功能之一。在虚拟装配环境中,当两个元件发生接触时,它们应能按设计的关系进行装配,而不发生一个元件穿入另一元件的现象。假设在有 N 个实体的虚拟环境中,要检验每个实体是否与其他 $N-1$ 个实体发生碰撞,其时间复杂度为 $N \times (N-1)$ 。由于这一过程中干涉检验的分析非常复杂,将会耗费计算机系统大量的 CPU 资源,制约着系统性能的发挥。如何方便、快速、有效地进行干涉性判断是关系到系统效率的一个关键因素^[1]。显然,在复杂的装配环境中,将待检部件与每一个部件均进行一次精确干涉检查是不明智的,这是因为对复杂的几何实体直接进行求交运算是非常费时的。因此碰撞检测往往成为虚拟环境中的一个瓶颈,快速的碰撞检测对提高虚拟环境的真实性,增强虚拟环境的沉浸感有着至关重要的作用^[2]。

1 包围盒的基本概念

包围盒技术是在 1976 年由 dark 提出的,基本思想是用一个简单的几何形体(即包围盒)将虚拟场景中复杂的几何物体围住,通过构造树状层次结构可以越来越逼近真实的物体。当对两个物体碰撞检测时,首先检查两者的包围盒是否相交,若不相交,则说明两个物体未相交,否则再进一步对两个物体作检测,因为包围盒的求交算法比物体求交算法要简单的多,所以可以快速排除很多不相交的物体,从而大大加快和简化了碰撞检测算法。1999 年美国人 S. SURI 从理论上证明了基于包围盒的方法在碰撞检测中的有效性^[3]。他证明了使用包围盒方法后检测虚拟场景里 n 个几何物体时间复杂度由 $O(n^2)$ 降到了 $O(n \log^{d-1} n + K_b)$, 其中 d 是维数, K_b 是相交的几何物体数。包围盒虽然是我们虚拟出的实体,但必须是有效的正则实体。

一个有效的正则实体必须是形状与位置和方向无关的刚性实体;必须外部封闭内部连通,没有悬边和悬点;必须维数一定占有有限的空间;有明显的边界能区分出内部区域和外部区域。除此之外简单性和紧密性是衡量包围盒优劣的两个标准。就简单性而言包围盒的几何特性应该比被包围的物体简单,尽量较少占用存储空间,而且对于此类包围之间的求交运算算法的复杂性也应该相对容易。包围盒的紧密性决定包围体逼近物体的程度,包围盒包围物体越紧密,越能减少要求交运算的概率。紧密性可以用包围盒与物体之间的 Hausdorff 距离来衡量。固定点集之间的 Hausdorff 距离的定义:给定两个有限点集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_p)$, $B = (b_1, b_2, \dots, b_p)$ 。定义 Hausdorff 距离为

$$H(A, B) = \max[h(A, B), h(B, A)] \quad (1)$$

式中, $h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$; $\|a - b\|$ 是 A, B 中点的泛数。

函数 $h(A, B)$ 称为由 A 到 B 的有向 Hausdorff 距离。即 A 中某个点 P 是 A 中的点与 B 中的点距离最大的那个点。也就是说 P 是 A 对 B 的最大失配点。 $h(B, A)$ 为 B 中点到 A 的最大距离。对于包围盒的紧密性我们用 r 来表示, B 代表物体, G 是包围盒, B 和 G 之间的 Hausdorff 距离为

$$r = \max_b \min_g \text{dist}(b, g) \quad b \in B, g \in G \quad (2)$$

用 d 来表示包围盒与物体之间的最大距离,则

$$d = \max_{g, h} \text{dist}(g, h) \quad g, h \in G \quad (3)$$

通过求包围盒和物体之间的 Hausdorff 距离我们就可以衡量出包围盒的紧密性。

2 基于 AABB 包围盒的碰撞检测

AABB (Aligned Axis Bounding Box) 沿坐标轴的包围盒^[4], 包含几何对象且各边平行于坐标轴的最小六面体(如图 1)。构造时根据

物体的形状和状态取得坐标 x, y, z 方向上的最大最小值就能确定包围盒最高和最低的边界点。

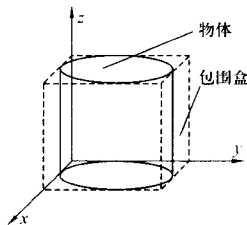


图1 ABB包围盒
Fig.1 ABB Envelop Box

AABB 包围盒的边界总是与坐标轴平行,它的平面与其相应的坐标平面相平行。一个 AABB 包围盒通常可以用其向 3 个坐标轴的投影的最大最小值来表示,还可以用物体中心点和 3 个方向上的跨度来表示。但是前一种表示方法在两包围盒进行相交测试时比第二种的运算量少一些。检测两个 AABB 包围盒是否相交最简单就是利用投影的方法。两个 AABB 包围盒相交当且仅当它们 3 个坐标轴上的投影均重叠。只要存在一个方向上的投影不重叠,那么它们就不相交。所以检测两个 AABB 包围盒是否相交最多只需要 6 次比较运算。AABB 包围盒具有建构简单快速、相交测试简单、内存开销少的特点,能较好地适应可变形物体实时更新层次树的需要,可用于进行可变形物体之间的相交检测。AABB 的缺点是包围物体不够紧密,在一些情况时将出现较大的空隙。例如对一个棒状与坐标平面呈 45° 角的物体,因此会增加许多不必要的检测,反而影响算法效率。

3 基于 AABB 包围盒法的改进算法

Pro/ENGINEER 的模型层次关系的特点(如图2),根节点为总装配体,根节点下一级为子装配体或零件,而零件是由各种曲面所构成。依照这种层次关对每一个节点都生成一个包围盒,从而形成一个有层次关系的包围盒。

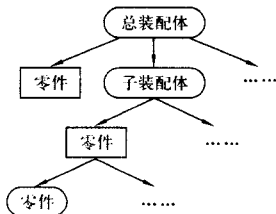


图2 模型层次关系
Fig.2 Assembly Hierarchy

对两个装配体进行干涉检验的时候,首先生成一个有层次关系的包围盒,然后逐层进行干涉检验,最后仅需对曲面进行干涉检验。程序流程图如图3所示,概算法实际上是一个递归算法。该函数的定义如下:

```
BOOL user_interfere_check
(
    Asmcomppath part1;
    Asmcomppath part2;
)
```

其中 part1 和 part2 为待检验的特征,级别的由高至低顺序为:子装配体、零件、曲面,由此可知当装配体被拆分至曲面时就意味着不可再分了。

4 层次包围盒法在 Pro/ENGINEER 下的实现

在 Pro/ENGINEER 下层次包围盒的构建采用自底向上的方法,首先用 ProSolidFeatVisit() 函数以递归的方式遍历待进行干涉检验的零件或组建的所有特征并记录其 ID 以及所属关系,然后用 ProSurfaceExtremesEval() 确定各个曲面的沿 3 个坐标轴方向的最大点,从而确定该曲面的包围盒,ProSurfaceExtremesEval() 函数定义如下:

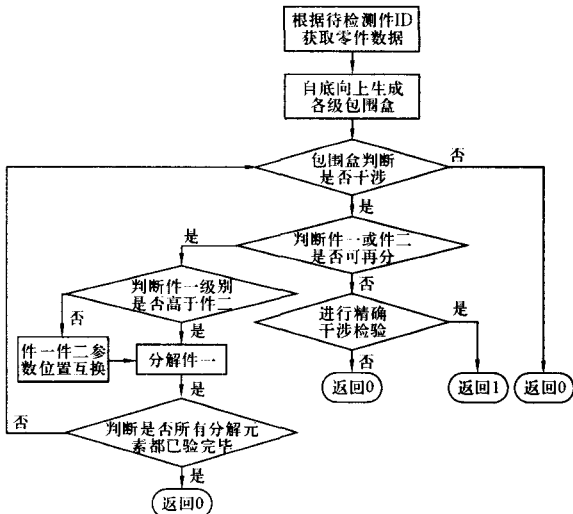


图3 干涉检验流程图
Fig.3 Flow Chart of Interfere Checking

ProError ProSurfaceExtremesEval

```
(
    ProSurface p_surface,
    ProVector dir,
    ProVector xyz_min,
    ProVector xyz_max
);
```

其中:p_surface 为曲面具柄;dir 为待确定的最大点和最小点的方向;xyz_min 为指定方向的最小值点;xyz_max 为指定方向的最大值点。

在所有的曲面的包围盒都构造完毕的基础上,自底向上地依照特征 ID 以及所属关系确定所有特征的包围盒。包围盒构造完成后就可以按照图3 的程序流程进行干涉检验。

对于曲面的精确干涉检验只能用 Pro/ENGINEER 自身提供的,由于 Pro/TOOLKIT 并没有提供干涉检验方面的函数,因此只能用 Pro/DEVELOP 所提供的干涉检验函数。因为用 Pro/TOOLKIT 和 Pro/DEVELOP 对 Pro/ENGINEER 进行二次开发的时候,使用方式基本相同,因此 Pro/TOOLKIT 和 Pro/DEVELOP 的函数可以混用在同一个程序中^[5],在 Pro/DEVELOP 中提供的干涉检验函数中,pro_compute_interference() 是用来检验曲面干涉的,其函数定义如下:

```
int pro_compute_clearance
(
    #ifdef
    PDevFunctionPrototypes
    Select3d
    entities[2],
    int clearance_type,
    double * distance,
    int * interference,
    double coord[2][3]
    #endif
);
```

其中:entities[2] 是两个待检验的曲面;clearance_type 是检验类型;distance 是计算出来的两个曲面间的距离;Interference 为如果该值等于 1 就表示发生干涉了;coord[2][3] 为检测到的最近的两个点。

该算法比传统包围盒法包围物体更为紧密,可大大减少不必要的干涉检验,从而降低了系统开销,提高了检验速度。

(下转第 73 页)

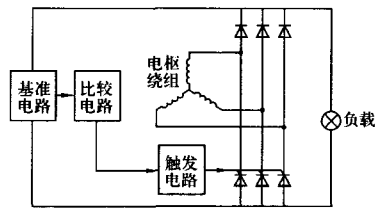


图5 整流稳压电路原理图
Fig.5 Three-phase Semi-control Bridge Rectifier and Regulator

压值时,电子稳压器为三相整流输出。当发电机输出电压高于目标稳压值时,电压信号取样电路自动使三相半控桥整流电路瞬时断开,降低输出电压。当发电机输出电压再低于目标稳压值时,三相半控

桥整流电路再恢复工作,周而复始。通过整流、斩波,保证了发电机输出电压稳定的直流电。

4 性能试验

42 V 永磁发电机采用 12 极有极靴星形转子式三相永磁同步发电机,发电机额定电压,42 V;额定功率,3 000 W;额定转速,4 000 r/min。磁性材料选用钕铁硼 NTP30H,剩磁感应强度 $B_r = 1.12 \text{ T}$,磁场强度 $H_c = 790 \text{ kA/m}$,最大磁能积,224 ~ 256 kJ/m^3 。在负载功率分别为 2 800,3 000 和 3 200 W 的条件下,对新研制的三相半控桥式整流稳压钕铁硼永磁发电机从低速到高速进行性能试验,试验结果如表 2 所示。

表 2 发电机输出电压试验结果
Tab.2 Test Results of Generator Output Voltage

试验 工况	2 000 r/min 时			4 000 r/min 时			4 800 r/min 时		
	2 800 W	3 000 W	3 200 W	2 800 W	3 000 W	3 200 W	2 800 W	3 000 W	3 200 W
输出电压	40.80	39.78	37.17	42.45	42.43	42.40	42.63	42.57	42.50

从表 2 中看出,当发电机转速由 2 000 r/min 变化到 4 800 r/min 时,负载功率由 2 800 W 变化到 3 200 W 时,输出电压稳定在 37.17 ~ 42.63 V 之间,该性能指标达到了设计要求。

5 结论

- 1) 目前汽车电源系统由 14 V 电源向 42 V 电源发展已经是必然的趋势,就像上世纪 50 年代将 6 V 电源升级至现行的 12 V 电源一样势不可挡。
- 2) 作为过渡阶段,对 42 V/14 V 双电压系统的研究将会是汽车界最近时期的一个研发热点。
- 3) 42 V 汽车供电系统标准的实施,将对汽车电器与电子设备带来巨大的冲击,同时也会给整个汽车界带来新一轮的技术革命。

参考文献:

[1] 孙仁云,孙春燕,李本亮.汽车电气系统研究与探讨[J].汽车工程,2004(1):81~84.
[2] KASSAKIAN J G. Automotive Electrical Systems—the Power Electronics

Market of the Future[C]//15th IEEE Applied Power Electronics Conf. New Orleans, Louisiana, 2000-02:3~9.
[3] 苏楚奇,宴传威,邓亚东.汽车 42 V 电源及其驱动系统的应用分析[J].武汉大学学报(工学版),2006(4):91~94.
[4] 侯伟,王丽芳.42 V 电气系统在汽车中的应用研究[J].微特电机,2006(10):4~6.
[5] 张方华.双向 DC-DC 变换器的研究[D].南京:南京航空航天大学,2004.
[6] GIULIANO Iemmi, BRUNO Dilecce, DIEGO Macerata. Battery Requirements for 36 V Technology[J]. Journal of Power Source, 2002(105):103~109.
[7] 唐任远.现代永磁电机理论与设计[M].北京:机械工业出版社,1997:273~307.
[8] COMANESCU Mihai, KEYHANI Ali, MIN Dai. Design and Analysis of 42 V Permanent-Magnet Generator for Automotive Applications[J]. IEEE Trans, 2003, 18(1):107~110.

(编辑 郭聚臣)

作者简介:史立伟,男,教师,硕士,研究方向为车辆电力电子技术。

(上接第 70 页)

5 结束语

在该领域现有的研究的基础之上提出一种用于碰撞检测的改进 AABB 包围盒干涉检验算法,该算法比传统包围盒法包围物体更为紧密,可大大减少不必要的干涉检验,从而降低了系统开销。ABB 包围盒干涉检验算法意在尽可能减少不必要的精确干涉检验,对于不同的物体包围盒的紧密程度可能会有很大的差距,因此检验的效率也会大不相同。

由于仅对两个零件进行碰撞干涉检验的时间较短难于测量,因此本文以装配体为研究对象。以图 4 所示装配体为例,用改进的 AABB 包围盒法进行检验所花费的时间为 650 ms,用传统的 AABB 包围盒法进行检验所花费的时间为 790 ms,用 Pro/DEVELOP 提供的



图4 干涉检验
Fig.4 Interference Checkout

函数进行检验所花费的时间为 1 420 ms。

本文通过对 50 例样本进行干涉算法比较得出如下结论:

- 1) 改进后的 AABB 包围盒算法比传统的包围盒算法检验速度快 5% ~ 20%。
- 2) 改进后的 AABB 包围盒算法比 Pro/DEVELOP 提供的干涉检验算法检验速度快 50% 以上。此算法较好地兼顾了检验的质量和效率。

参考文献:

[1] 徐国学,陈卓宁,严晓光.基于 ACIS 的装配过程的建模与干涉检验[J].机械工程师,2005(12):88~90.
[2] 王永金,孙克豪.虚拟装配技术研究概述[J].机械,2004,31(4):1~3.
[3] SURI S, HUBBARD P M, HUGHES J J. Collision Detection in Aspect and Scale Bounded Polyhedra[C]. Proc. 9th ACM-SIAM Sympos, 1998:127~136.
[4] VAN Den Bergen. Efficient Collision Detection of Complex Deformable Models Using AABB Trees[J]. Journal of Graphics Tools, 1997, 2(4):114.
[5] 李世国. Pro/TOOLKIT 程序设计[M].北京:机械工业出版社,2003.

(编辑 姜洪君)

作者简介:林涛波(1977-),男,浙江台州人,讲师,在读硕士,研究领域为机械设计及制造、图形学。