

基于碰撞检测的三维板坯库动态注记模型

温莲芹, 朱瑞军
(大连理工大学 自动化系, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 以板坯库为背景,给出了基于碰撞检测的三维文字动态注记模型。在三维的大场景中,影响文字注记的因素有距观察者距离、不同模型间占用相同空间、模型间相互遮挡等。提出的模型很好地权衡了这些影响因素,并应用碰撞检测技术解决了不同模型占用相同空间的问题,检验了三种不同的包围盒碰撞检测技术的检测速率。实验结果表明,该模型可以很好地应用于三维大场景的文字注记。

关键词: 动态注记模型;碰撞检测;包围盒

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0389-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.108

Modeling of dynamic text notes for three-dimensional slab-yard based on collision detection

WEN Lian-qin, ZHU Rui-jun
(Dept. of Automation, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116023, China)

Abstract: A dynamic three-dimensional model of text noting based on collision detection was presented against the background of slab-yard. There are many factors that affect text noting in three-dimensional scene, such as the distance between the text notes and the observer, whether the text notes occupy the same region of space with other models or not, whether the text notes were obscured by other models or not and so on. These factors were well balanced by using the model that presented in this paper. And collision detection technology was used to solve the problem that a text note may occupy the same space with other models, then three different ways of bounding box collision detection technology were tested to verify intersect rates. The results show that the model could be well used in large three-dimensional scene.

Key words: model of dynamic noting; collision detection; bounding box

0 引言

板坯库作为连铸和热轧生产之间的缓冲环节对一体化生产有着重要的作用,对企业炼钢和轧钢能力的协调、保持整个生产过程的均衡起着至关重要的缓冲作用。库内工作环境恶劣,室内温度高达 50℃ 以上,日出/入库物料多达 3 万吨,品种规格繁多,因此实时掌握板坯库的物流状况,保证各工序正常生产具有重要意义^[1]。

板坯库大致分为六个区域,本文中板坯库实体面积长约 200 m,宽 95 m,简略库区平面展开如图 1 所示。目前先进钢厂的板坯库都采用计算机进行管理和控制。但是现阶段主流的研究大多集中在板坯库的自动化管理上^[2,3],往往忽略了板坯库的可视化研究,因此,直观地表示库中信息,实现板坯库的可视化研究具有现实意义。文字注记能更直观地表达场景内各个物体的信息,它在 2DGIS(二维地理信息系统)中有很广泛的应用。很多学者在 2DGIS 注记方法上作了大量的研究,如樊红等人^[4]提出了一种基于神经网络模型的点状注记自动配置的方法,余代俊等人^[5]阐述了 Delaunay 三角形法的逐点自动生成算法,还有尝试性地将遗传算法应用于点注记自动配置^[6]。以上这些方法在二维文字注记中都取得了较好的效果。但是三维系统和二维系统在对象表达方式上有很大区别

且三维场景空间各不相同,所以大多数工作都集中在实景的仿真上,还形不成一套专门的理论来研究三维文字注记,所以其发展相对滞后,专门的研究很少。文献[7]中提出了一种基于视点的三维模型动态注记方法,对文字的朝向、大小,以及相互遮挡问题进行了改善。但是文献[7]中并没有考虑可能存在的空间冲突,即相互碰撞问题,在存在大量静态模型、文字注记位置与其他模型位置相互交叉的场景中并不适用。



图1 板坯库平面

影响三维文字注记的因素有很多,如与注记对象是否吻合、与观察点距离和其他模型是否存在空间冲突、模型间是否互相遮挡等。常规的文字注记并没有综合考虑这些因素,因此最终效果不理想的情况大量存在。综合影响文字注记的各个因素,本文提出了一种基于碰撞检测技术的动态注记模型,利用该模

型能够根据视点转换实时地计算笔记的最佳位置,使文字笔记能够根据视点变换而动态改变。本文利用碰撞检测技术有效解决了模型间空间冲突的问题,并应用了三种不同的包围盒碰撞检测技术,最后比较了它们针对本文问题的检测效率。

1 文字笔记建模

板坯库场景中,板坯相对于大面积的库房来说很小,在三维板坯库场景中要想能看到板坯库的全局,板坯及其他物体就会看起来很模糊,如图 2 所示。所以本文采用动态观察的方式,每次只是板坯库的局部场景渲染,根据鼠标移动改变观察点位置,既能看清板坯库内的细节,也能随着鼠标移动看到库内的每个角落。



图2 板坯库场景全局视图

1.1 问题描述

板坯库的场景分为六个区域,在图中由一些白色的分界线隔开。随着视点的变换,观察者将会看到不同区域的不同位置,如图 3 和 4 所示,这是由于观察点在移动造成的。不仅如此,对于在视域体内的单个区域来说,只能看到区域的一部分且随着视点变换看到的局部也不尽相同。同时,图 3 和 4 中有大量的板坯,对于观察者来说,需要分清所观察的板坯到底属于哪个区域,因此有必要对场景内的区域信息进行文字笔记。由于本文场景中观察点是动态的,所以文字笔记的方式也应该是动态的。因此,需要找到一个方法使得文字笔记模型能够动态地寻找文字笔记的最佳位置,随着视点的变换而改变。

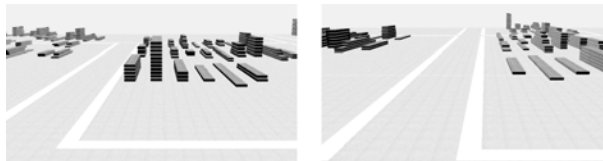


图3 板坯库局部场景视图1 图4 板坯库局部场景视图2

综上,本文中寻找文字笔记的最佳位置有以下原则:

- a) 在一个区域内有且只有一个位置进行文字笔记。
- b) 选中的位置要在视域体内。
- c) 文字笔记不与任何模型发生空间冲突。
- d) 笔记位置距离观察点要尽量近。
- e) 文字笔记尽量不被前面的模型所遮挡,并且不能完全被遮挡。

1.2 文字大小

在三维场景中,相同大小的模型距离观察者越远显得越小。为使观察者能够看清各个角落的文字笔记,在本文中的三维文字模型大小会随着观察者距离的改变而动态改变。因此,距离观察点越近,文字笔记模型所占用的三维空间就越小;距离观察点越远,文字笔记模型所占用的三维空间就越大。

1.3 文字笔记模型

根据上文中寻求最佳位置的原则,把每个区域分成若干小区域,每个小区域标记为 i ,建立文字笔记模型如下:

$$P = \min \left\{ -I_i C_i f_i \left(A \frac{1}{d_i} + B f_i \right) x_i \right\} \quad (1)$$
$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^{\text{num}} x_i = 1 \quad (2)$$

其中: num 为每个区域被分成的小区域的数目

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{选择小区域 } i \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (3)$$

$$I_i = \begin{cases} 1 & \text{在视域体内} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

$$C_i = \begin{cases} 1 & \text{与板坯发生碰撞} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

$$f_i = \begin{cases} 1 & \text{不被遮挡} \\ 0.5 & \text{部分遮挡} \\ 0 & \text{完全遮挡} \end{cases} \quad (6)$$

目标函数式(1)是为了给每个区域的文字笔记寻求最佳位置,只是针对一个区域而言。式(1)保证了文字笔记的位置在视域体内;文字笔记不与任何板坯发生碰撞;文字笔记没有被某垛板坯完全遮挡。约束条件式(2)保证了在每个大的区域,仅仅只有一块小区域被选中,即对每个区域,仅在一个位置进行文字笔记;式(3)~(6)分别定义了各个变量的取值,其中视域体定义为图 5 所示的 3D 空间,可将其看做是去掉了 $a'b'c'd'$ 以上虚线部分的金字塔,矩形 $abcd$ 是金字塔底面。可想象是观察者在 o 点穿过矩形 $a'b'c'd'$ 看外面的物体,观察者仅仅可以看到视域体中的物体,不能看到视域体外的。是否发生碰撞的判断要用碰撞检测技术来完成。 A 、 B 分别为距离的倒数和遮挡程度的权重系数,经过多次实验,当 $A = 70$ 、 $B = 1$ 时效果最好。这样的取值使得当距离观察点近时 (< 70),距离所占的比重大于遮挡程度所占的比重;当距离观察点远时 (> 70),遮挡程度所占的比重大于距离所占的比重。

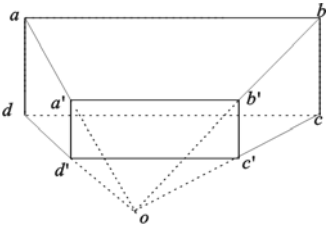


图5 视域体

2 碰撞检测技术

在三维的虚拟场景中仅仅进行几何建模是不够的,还必须对其中物体的行为规则加以控制。本文使用碰撞检测技术来解决可能出现的笔记与板坯在空间上发生冲突的问题。

2.1 碰撞检测技术介绍

随着计算机图形学和虚拟现实技术的应用发展,人们对虚拟环境的实时性、真实性要求越来越高,而在有动态物体的虚拟仿真场景中物体间可能会发生碰撞,即两个不可穿透的物体相遇时产生“穿透”效果,这在现实世界中是不可能发生的。碰撞检测技术就是用来检测物体间是否发生了碰撞的一种技术。

从时间域的角度出发,碰撞检测算法可分为静态、离散和连续三类。静态碰撞检测算法是指场景中物体的位置,在整个时间轴 t 上都不发生变化时,用来检测在这种情况下各物体之间是否发生碰撞的算法;离散碰撞检测则是在时间轴 t 上的离散时刻点不断地对场景中所有物体之间进行碰撞检测的算法;连续碰撞检测算法则是指在时间轴 t 上一个连续时间间隔内对场景中的物体进行碰撞检测的算法^[8]。基于图形的碰撞检测算法主要分为空间分割法和包围盒法。常见的空间分割法有均匀空间分割、八叉树(octree)分割、二叉树(BSP)分割等。常见的包

围盒算法有包围球(sphere)、轴一致包围盒(axis-aligned bounding boxes,AABB)、有向包围盒(oriented bounding box,OBB)、离散多面体包围盒(discrete orientation polytopes,K-DOPs)、固定方向凸包包围盒(fixed direction hull,FDH)。

2.2 算法描述

本文场景中大量静态模型,因此需要较快速的碰撞检测方法,但是对碰撞检测的精确度要求不高,应用简单的层次包围盒就可以满足需求。所谓层次包围盒法就是通过建立实体对象的包围盒层次来逐渐逼近对象的几何模型,即先对包围对象的包围盒进行检测,只有包围盒相交时,其包围的几何对象才有可能相交,然后再根据需要进行下一步检测。这样可以减少求交运算量,提高碰撞检测算法的速度。

包围球算法简单来说就是用包含物体的最小球体来近似物体,它基于这样的原理:如果两个球体球心之间的距离小于两球半径之和,则这两个球体就是相交的^[9]。为节省计算,实际应用中通常比较球心距离的平方与半径和的平方。包围球算法的优点是运算量比较小,执行速度较快,不会给 CPU 带来过大的计算负担;缺点是对于外形与球相差很大的模型来说,包围球算法的精确度很低。包围球的很多应用都作了改进,文献[10]在空间分割的基础上研究了运动球体的碰撞检测速度;文献[11]中以带深度纹理的包围球替代物体的几何模型。另外,包围球算法一般作为层次包围盒的外包围盒,如文献[9]中是在层次包围盒顶层使用包围球。

AABB 包围盒算法在研究碰撞检测的历史上用得最久最广泛。AABB 算法简单来说就是用各边与坐标轴平行且包含该物体的最小六面体来近似物体,它基于这样的原理:两个 AABB 包围盒相交当且仅当它们在三个坐标轴上的投影区段都有重叠。AABB 包围盒算法提高精度的同时也会降低速度。鉴于此,国内外很多学者都对 AABB 包围盒算法作了改进,以期达到更好的效果。如文献[12]中通过减少算法的存储空间来提高算法的检测速度,文献[13]对 AABB 的相交测试进行了优化。

为了尽可能地减少需要相交测试的对象,空间分割技术也是碰撞检测中常用的方法,Ganter 等人^[14]对空间分割技术进行了新的尝试,文献[15]中采用八叉树法进行空间分割。

各类包围盒的应用都有一定的局限性。本文对以下三种包围盒方式作了尝试,并分别给出了它们碰撞检测的结果。

1)AABB 包围盒碰撞检测 为所有的板坯和文字注册建立 AABB 包围盒,图 6(a)、(b)分别给出了板坯的包围盒和文字注册的包围盒,然后进行包围盒之间的相交测试。当观察点位置变化引起文字注册的位置改变或大小改变时,AABB 包围盒的位置和大小也要随之改变。表 1 中给出了使用 AABB 包围盒所要进行的碰撞检测的次数和所用的时间。由于场景中存在大量的板坯,所以单纯使用 AABB 包围盒技术进行碰撞检测速度很慢。

2)Sphere-AABB 包围盒碰撞检测 建立层次包围盒,外层包围盒使用包围球,如图 7 所示,内层使用 AABB 包围盒。Sphere-AABB 包围盒的碰撞检测分为两个阶段:第一阶段用简单的包围球方法排除绝对不可能相交的板坯模型;第二阶段对未被排除的模型进行 AABB 相交判断。表 1 中给出了 Sphere-AABB 相交测试的结果。由于场景中板坯的形状被近似为长远远大于宽的长方体,因此使用包围球精确度会大大降低,且从图 3 和 4 中可以看到,板坯库中各库位之间都有一定的距

离,所以使用包围球算法效果不显著。

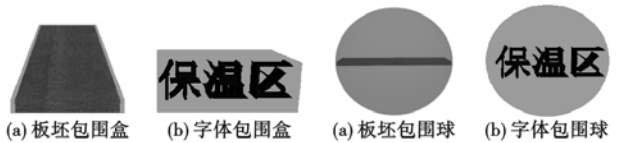


图6 包围盒 图7 包围球
表 1 三种碰撞检测效率对比

算法	碰撞检测次数	所用时间/ms
AABB	5 153	2 172
Sphere-AABB	5 153	2 203
基于空间分割 AABB	42	45

3)基于空间分割的 AABB 包围盒碰撞检测 三维字体包围盒的六个面将三维场景分为盒内、盒外两部分。空间中平面公式可以用 $ax + by + cz + d = 0$ 的形式来表示。碰撞检测分为三个阶段:a)得到场景中其他模型顶点的最大值和最小值;b)将各顶点的值代入平面公式,根据值的正负值来判断是否处于包围盒内,排除没有任何顶点在包围盒内的模型;c)对未被排除的模型与注册模型进行 AABB 相交判断。这种方法可以极大地排除绝对不可能相交的板坯模型,节约了大量时间。

由表 1 可以看出,基于空间分割的 AABB 包围盒方法在速度上明显比 AABB 和 Sphere-AABB 方法快速得多。由于最后阶段都是使用 AABB 包围盒,因此三种方法的精度相同。本文文字注册模型中使用最后一种方式进行碰撞检测。

3 仿真实验

本文实验环境 CPU 为 1.7 GHz,内存 512 MB,操作系统为 Windows XP,所有程序采用 C#基于 DirectX 编写,后台数据库采用 Oracle 数据库。为了更好地说明本文文字注册模型的实验结果,对下面几种不同的情况作了分析。

图 8 中给出了几种不同情况的文字注册结果。首先保证所有的文字注册都是在视域体内。各个区域板坯的布局不一样,所以在图 8 的四幅图中,计划板坯区和非计划板坯区的文字注册的位置并没有发生变化,但是保温区文字注册位置却发生了明显变化。为了便于观察,已用圈标出。总体来看四幅图的文字注册位置距离观察点都不远,距离因素并没有对视觉效果产生太大影响。图 8(a)中仅仅考虑了文字注册位置距观察点距离的远近,实验的结果为图中保温区的文字注册深深地嵌在了一垛板坯之中;(b)中考虑了距观察者距离和相互遮挡两个因素,(b)中效果比(a)中好一点,但是注册与板坯模型在空间上发生了碰撞;(c)中考虑了距观察点距离和空间发生碰撞两个因素,尽管文字注册并没有跟场景内任何板坯在空间上发生冲突,但是在(c)中看到它被前面的一垛板坯所遮挡;(d)中应用了本文提出的文字注册模型,综合考虑了距观察点距离、相互遮挡、相互碰撞三个因素。可以看到,在图 8(d)中保温区的文字注册效果要比前三幅图好,既没有被板坯所遮挡,也没有与任何板坯在空间上发生碰撞。距观察点距离与图 8(a)和(c)相比要远一些,但是并不影响视觉效果。

尽管本文提出的模型考虑了很多因素,但是对于距观察者距离和遮挡来说,本文中的模型只是权衡了两者的关系,并没有完全取消遮挡的情况,这在图 8 中可以看到。这是因为对于远距离的文字注册,长度上要远远大于板坯的宽度,因此要完全消除遮挡,对于板坯密集区域是有一定难度的。所以在综合各种因素后,本文中允许部分遮挡的情况存在。

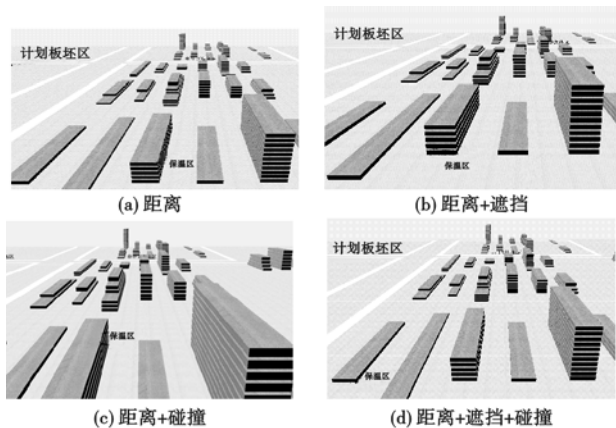


图8 几种不同情况的文字注记结果

4 结束语

本文提出了为板坯库进行动态文字注记的一种模型,这个模型将碰撞检测与三维文字注记联系在一起,综合考虑各种影响因素,能够在视点变换过程中实时计算文字注记的最佳位置,并针对模型间的相互碰撞问题分析了四种碰撞检测的方法。这对于存在大量静态模型少量动态模型的场景注记具有现实性意义。这个模型很好地地权衡了距观察者距离、与板坯发生碰撞、与板坯发生遮挡之间的问题。但是由于三维板坯库场景中的某些区域板坯会相对密集,该模型并没有完全消除遮挡的问题。

参考文献:

[1] 赵巍,李苏剑,王刚祥.板坯库天车作业指导系统的设计与应用

[J]. 物流技术与应用,2007(5):97-99.
[2] 杭开武.板坯库计算机控制和管理[J].冶金自动化,2007(5):15-17.
[3] 谢斌,张晨.2250 热轧板坯库自动化控制系统[J].冶金动力,2010(2):87-89.
[4] 樊红,张祖勋,杜道生,等.基于神经网络模型求取注记配置最优解[J].武汉测绘科技大学学报,1998,23(1):32-35.
[5] 余代俊,耿留勇,兰燕. Delaunay 三角形法实现面状要素自动注记初探[J]. 测绘科学,2007,32(4):81-82.
[6] 邓红艳,武芳,李铭,等.遗传算法在点注记自动配置中的应用[J]. 测绘学院学报,2003,20(1):69-72.
[7] 吕国梁,孙敏,周晓光.基于视点的3 维模型动态注记方法[J]. 地理世界信息,2008(2):53-57.
[8] 张云哲. 三维建模中碰撞检测技术的基本算法研究[J]. 科技创新导报,2010(24):15.
[9] 宁涛,郭晨,张升文.用混合包围盒优化碰撞检测方法[J]. 计算机工程与应用,2011,47(1):1-3.
[10] KIM D J, GUIBAS L J, SHIN S Y. Collision detection among multiple moving spheres [J]. IEEE Trans on Visualization and Computer Graphics,1998,4(3):230-242.
[11] 王季,翟正军,蔡小斌.基于球深度纹理的实时碰撞检测算法[J]. 系统仿真学报,2007,19(11):2503-2506.
[12] 王晓荣,王萌,李春贵. 基于 AABB 包围盒的碰撞检测算法的研究[J]. 计算机工程与科学,2010,32(4):59-61.
[13] LI C F, FENG Y T, OWEN D R J. SMB: collision detection based on temporal coherence [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,2006,195(19-22):2252-2269.
[14] GANTER M A, ISARANKURA B P. Dynamic collision detection using space partitioning [J]. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME,1993,115(1):150-155.
[15] 丑强.虚拟环境中基于八叉树的碰撞检测问题[D]. 长春:吉林大学,2007.

(上接第 388 页)不是固定的。多层码本模型的检测和更新时间取决于使用码字的数量,消除光照影响和行人检测取决于前景区域或稳定前景区域的大小。



图5 长时间测试结果

本段视频的分辨率为 320×240 ,在测试中,平均处理每一帧图像需时约 15 ms,即达到了约 67 fps 的处理速度。在出现大量前景区域或稳定前景区域时,处理一帧图像的时间会迅速上升,实验中峰值为 43 ms。

6 结束语

本文提出了一种基于多层码本模型的遗弃行李检测新算法。该算法以多层码本模型为核心,设计了一种结合 HOG 特征消除光照影响的机制,并采用行人检测算法减少行人造成的虚警。整个算法综合利用了像素点的像素值信息和不同点之间的空间信息,能以较低的计算成本检测出场景中的遗弃行李,并对人群密集和光照变化等复杂场景有较好的鲁棒性。

参考文献:

[1] LV Feng-jin, SONG Xue-feng, WU Bo, et al. Left-luggage detection using Bayesian inference [C]//Proc of the 9th IEEE International

Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance. 2006.
[2] SMITH K, QUELHAS P, GATICA-PEREZ D. Detecting abandoned luggage items in a public space [C]//Proc of the 9th IEEE International Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance. 2006:1-8.
[3] TIAN Ying-li, LU M, HAMPAPUR A. Robust and efficient foreground analysis for real-time video surveillance [C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005:1182-1187.
[4] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999:117.
[5] SINGH A, SAWAN S, HANMANDLU M, et al. An abandoned object detection system based on dual background segmentation [C]//Proc of the 6th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. 2009:352-357.
[6] HU Lei, LIN Wei-bin, LI Bo, et al. Robust motion detection using histogram of oriented gradients for illumination variations [C]//Proc of the 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation. 2010:443-447.
[7] KIM K, CHALIDABHONGSE T H, HARWOOD D, et al. Real-time foreground-background segmentation using codebook model [J]. Real-Time Imaging, Elsevier Science,2005,11(3):172-185.
[8] PANG Guan, WANG Gui-jin, LIN Xing-gang. Real-time human detection using hierarchical HOG index matrices [J]. IEEE Trans on Information and Systems,2010,E93-D(3):658-661.