

用于鼻咽癌虚拟手术计划系统的 碰撞检测

王 雷 王博亮 闵小平

关键词 鼻咽癌 碰撞检测 包围盒

摘 要 针对鼻咽部及其周围组织的特点,着重论述了一种基于包围盒层次的碰撞检测算法。该方法是解决碰撞检测问题固有时间复杂性的一种有效方法,是用体积略大而几何特征简单的包围盒来近似描述复杂的几何对象,并通过构造树状层次结构来逼近对象的几何模型。在对包围盒树进行遍历过程中,通过包围盒间的快速相交检测来及早排除明显不可能相交的基本几何元素对,从而提高了碰撞检测速度。

Collision Detection for Virtual Surgery Planning System of Nasopharyngeal Carcinoma / WANG Lei, WANG Bo-liang, MIN Xiao-ping // China Digital Medicine. -2008 3(6): 22 to 25

Keywords nasopharyngeal carcinoma, collision detection, bounding box

Abstract Focusing on the features of nasopharynx and peripheral tissues, this paper mainly states an algorithm of collision detection based on bounding box hierarchies. It is an effective method to solve the intrinsic time complexity of collision detection problem, which refers to take advantage of bounding box with larger volume and simple geometric features to approximately describe the complicated geometric object and approach the geometric model of object through constructing the tree hierarchy structure. During the ergodic process of hierarchy bounding volumes, the rapid intersection detection among bounding boxes could exclude the elementary geometric element pairs at early time that are obviously impossible to intersect, so as to elevate the speed of collision detection.

Corresponding author Computer Science Department of Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P.R.C.
Fund project Joint Fund Project of Chinese Ministry of Health (WKJ2005-2-001); Scientific and Technological Key Project of Fujian Province (2004Y008)

1 引言

该研究是鼻咽癌诊断治疗中虚拟和仿真系统研制与应用的一部分。在该项目中需要模拟手术插植过程,这个过程需要实时的碰撞检测。从众多的碰撞检测算法中,选择或加以创新一种适合“鼻咽癌虚拟手术计划系统”的算法是不容易的。在此,提出一种适应于数据量大、检测精度高的碰撞检测算法。该算法能很好地满足上述系统各项要求。

2 算法理论和实现

该项目在以往研究的过程中,对于鼻咽部及其周围组织的原始DICOM格式^[1]的二维数据,采用了面绘制方法进行三维重建,绘制出的三维图像基本几何元素是一些三角面片。基于重建出来的三维数据,此算法主要步骤如下。

基金项目:卫生部联合基金项目(WKJ2005-2-001);福建省科技重点项目(2004Y008)

厦门大学计算机科学系系所,361005,福建省厦门市思明区厦门大学海韵园科研2号楼

2.1 网格简化 Garland^[2]于1997年提出一种基于二次误差测度(Quadric Error Metric)的边折叠简化算法(简称QEM算法),以顶点到相关三角平面距离的平方和作为误差测度。该算法速度快,且能生成高质量的简化模型,实现了计算时间和简化效果之间的协调统一,符合本课题的需求。

2.1.1 QEM算法的二次误差测度 边折叠算法^[3]为了达到较好的简化效果,需要评价折叠前后产生的模型误差情况,即边折叠代价。通过每次取出代价最小的边进行折叠,有助于减少模型简化过程中产生的误差。Garland使用边折叠操作生成的新顶点到相关三角面距离的平方和作为误差度量。

首先,必须求出点到平面距离的平方。在三维空间中,一个三角平面可以用平面方程 $ax+by+cz+d=0(a^2+b^2+c^2=1)$ 来表示。

令 $p=[a\ b\ c\ d]^T$ 代表该平面,点 v 的坐标为 $[v_x\ v_y\ v_z\ 1]^T$,则点 v 到平面 p 距离的平方为

$$D_p^2(v) = (p^T v)^2 = v^T (pp^T) v = v^T K_p v \quad (1)$$

其中,

$$K_p = pp^T = \begin{bmatrix} a^2 & ab & ac & ad \\ ab & b^2 & bc & bd \\ ac & bc & c^2 & cd \\ ad & bd & cd & d^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B^T & C \end{bmatrix},$$

$$\text{其中 } A = \begin{bmatrix} a^2 & ab & ac \\ ab & b^2 & bc \\ ac & bc & c^2 \end{bmatrix}, B = [ad\ bd\ cd]^T, C = d^2 \quad (2)$$

K_p 即是平面 p 的二次误差测度矩阵,

$$\text{令 } Q(v_1) = \sum_{p \in \text{planes}(v_1)} K_p \quad (3)$$

为点 v_1 的二次误差测度矩阵,其中 $\text{planes}(v_1)$ 为所有包含顶点 v_1 的三角面的集合,即 $Q(v_1)$ 是相关三角面的二次误差测度矩阵的线性叠加。

根据Garland的定义,原模型中的一条边 (v_1, v_2) 折叠简化成一个顶点 v 的过程中,所产生的边折叠代价为点 v 到所有包含点 v_1, v_2 的三角面距离的平方和,由式(1)可得边折叠代价

$$\begin{aligned} \Delta v &= \sum_{p \in \text{planes}(v_1) \cup \text{planes}(v_2)} D_p^2(v) = \sum_{p \in \text{planes}(v_1) \cup \text{planes}(v_2)} v^T K_p v \\ &= v^T \left(\sum_{p \in \text{planes}(v_1) \cup \text{planes}(v_2)} K_p \right) v \end{aligned} \quad (4)$$

但在实际应用中,为了减少储存空间并加快计算速度,边折

叠代价 Δv 通常使用 $v^T \left(\sum_{p \in \text{planes}(v_1)} K_p + \sum_{p \in \text{planes}(v_2)} K_p \right) v$

来进行估算,则 Δv 可以写成 $v^T(Q(v_1)+Q(v_2))v$,即新顶点 v 的二次误差测度矩阵由 v_1, v_2 的二次误差测度矩阵线性相加得到。

2.1.2 QEM算法的关键步骤 首先,算法在初始化阶段需要得到原始模型中每一个顶点的二次误差测度矩阵。如果逐个顶点对其相邻三角面的二次误差测度矩阵进行临时计算及累加,会产生很多重复计算,显然代价太大。为了提高效率,可先将所有顶点的二次误差测度矩阵清零,然后对所有三角面的二次误差测度矩阵进行计算,注意每计算出一个二次误差测度矩阵就将其分别累加到该三角面三个顶点的二次误差测度矩阵中,这样完成所有三角面的遍历之后,自然可以得到所有顶点的二次误差测度矩阵。

其次,算法在初始化阶段还需要得到原始模型中每一条边的边折叠代价。将每一条边的两个端点的二次误差测度矩阵线性相加,再根据最优化计算得到新顶点的位置,即可计算出对应的边折叠代价。

第三,为了尽快取出边折叠代价最小的边进行折叠,需要用堆实现一个优先队列。

第四,每完成一次边折叠,新顶点的二次误差测度矩阵即为原来两个端点的二次误差测度矩阵的线性相加,折叠所影响到的边的边折叠代价必须据此进行重新计算,并更新其在优先队列中的位置。

经过上面四个主要步骤,QEM算法的运行结果分别见图1、图2。

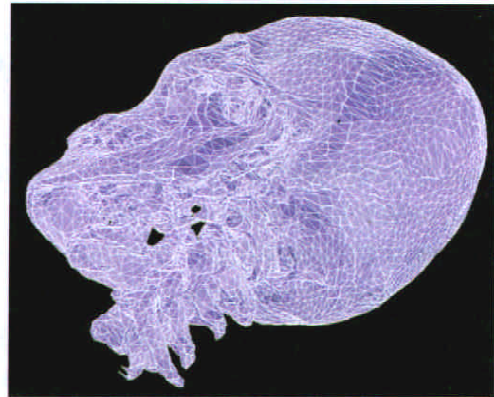


图1 网格简化前的图像

2.2 OBB树的建立 OBB树^[4]是一颗二叉树,其每一个节点都包含若干三角面片,且每个节点都有OBB包围盒。OBB包围盒能很好紧逼几何体,从而提高了相交检测的准确度。

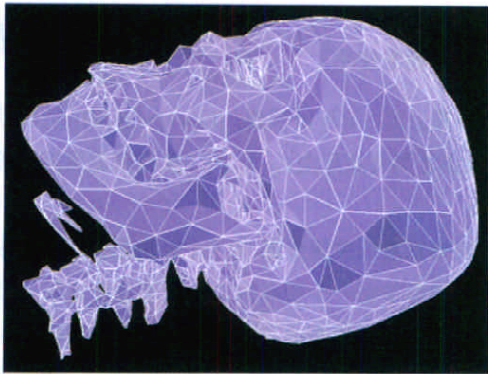


图2 网格简化后的图像

2.2.1 OBB包围盒 层次包围体^[4]的选择有很多种,比如:固定方向凸包FDH(fixed directed hull),包围盒AABB(axis aligned bounding box)和OBB(oriented bounding box),包围球(bounding sphere)等,各有优缺点。这里采用的是OBB包围盒。

方向包围盒(OBB)的基本参数包括:原点ori(ori X, ori Y, ori Z)、方向dir(dir X, dir Y, dir Z)和大小size(size X, size Y, size Z)。OBB包围盒的构造是采用了Gottschalk等提出的一种计算三角网格体的OBB包围盒^[4]的方法,具体步骤如下:首先,累计包围盒内所有顶点的坐标向量获取平均向量 μ ,如公式(5)所示;其次,由平均向量计算出协方差矩阵C,如公式(6)所示;在此,求出协方差矩阵C的特征向量,从而确定OBB包围盒局部坐标的三个轴向;最后,将三个轴向上的最大投影距离定位OBB包围盒的尺寸大小。

$$\mu = \frac{1}{3n} \sum_{i=0}^n (p^i + q^i + r^i) \quad (5)$$

$$C_{jk} = \frac{1}{3n} \sum_{i=0}^n (p_j^i p_k^i + q_j^i q_k^i + r_j^i r_k^i) \quad (6)$$

$$1 \leq j, k \leq 3$$

其中 p^i, q^i 和 r^i 表示第 i 个三角形面片的三个顶点的坐标向量, n 为三角形面片的总数 $p^i = p^i - \mu, q^i = q^i - \mu, r^i = r^i - \mu, C_{jk}$,是 3×3 的协方差矩阵中的元素。这样就得到了一个与多面体有相近尺度和方向的包围盒来近似多面体。

2.2.2 OBB树的建立 OBB树的建立过程就是对所有基本集合元素划分的过程。首先需要建立整个曲面的OBB,然后将其分解成2个OBB,并将这2个节点作为给节点的孩子节点,以此类推,直至其最小单元是不可再分割的OBB,即只含有一个三角形的OBB。见图3。

采用一种比较直观的划分策略,即选用一个平面,根据



图3 OBB树建立过程示意图

集合中的基本几何元素相对平面的空间位置进行划分,并称这个平面为分裂平面。一个平面可以把整个空间划分成两个闭半空间,一个基本几何元素或者属于平面的左半空间,或者属于平面的右半空间,或者与平面相交,跨越这两个半空间。对于前两种情况可以很自然地把它划分到两个子集中,关键在于后一种情况的处理。该研究中,将这类元素既分配给左子集,又分配给右子集。此种策略虽然增加了节点数目,并使包围盒体积增大,但保证了树的平衡。

至于分裂平面的确定,需要利用分裂轴和分裂点。分裂轴是作为分裂平面的法向量,而分裂点作为这个平面上的点。对于本实验所采用的包围盒OBB,采用包围盒最长的边的方向作为分裂轴;将包围盒中所有基本几何元素的中心在分裂轴上的投影的平均值作为分裂点。这样就可以确定分裂平面,进而较好地划分建立OBB树。

2.3 OBB树遍历与相交计算

2.3.1 OBB树的遍历 在预碰撞过程中,给两个物体建立了OBB树,其根节点分别是A和B。碰撞检测的步骤如下:

第一步,判断两个物体的根节点A和B的包围盒是否相交。如果相交,则继续进行下一步,否则返回。

第二步,把根节点A的两个子节点 A_1 和 A_2 ,根节点B的两个子节点 B_1 和 B_2 ,分别两两配对,产生的四对是 $(A_1, B_1), (A_1, B_2), (A_2, B_1), (A_2, B_2)$ 。然后把其中任意一对 (A_1, B_1) 当作新的根节点A和B。重新递归一、二步,直至达到OBB树的叶子节点。见图4。

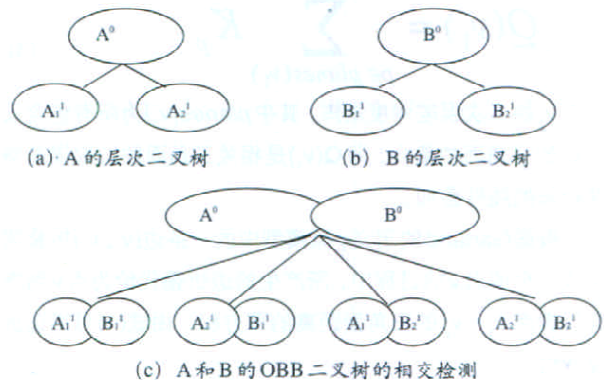


图4 包围盒对间的相交检测

2.3.2 节点包围盒之间的相交计算 凸块OBB包围盒之间的相交检测方法采用了Gottschalk^[4]等基础分离轴(若包围盒在某一轴上的投影不重合,则该轴称为分离轴)定理提出

的相交检测方法。依据分离轴定理，首先指定 15 个分离轴（分别为两个 OBB 包围盒的 6 个轴向、有三个轴向与另三个轴向两两叉乘得到的 9 个向量）。将这两个 OBB 包围盒分别向 15 个分离轴投影得到相应的投影区间，通过检测这些投影区间是否重叠来判断两 OBB 包围盒是否相交。对于每个分离轴而言，均先将两包围盒中心点的矢量距离向该分离轴投影并计算出投影距离的长度。然后，分别计算两包围盒在该轴上的投影区间半径（投影区间半径是指投影区间长度的一半）。如果前者大于后两者之和，则在该分离轴上的两个包围盒投影区间不重叠，进而得知两个包围盒处于分离状态；反之，如果在所有 15 个分离轴上两包围盒的投影区间均发现重叠，则两包围盒相交。见图 5。

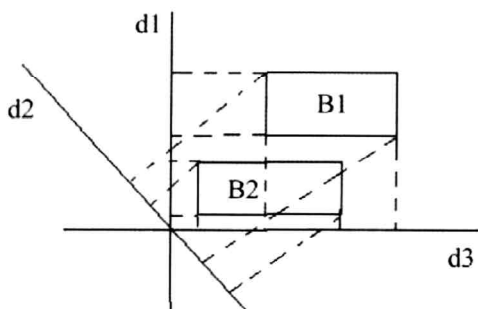


图 5 两个包围盒 B1、B2 的相交检测

图 5 简要说明在包围盒子 B1 和 B2 在三个分离轴上的投影，以及相交判断。其中 d_1 、 d_2 、 d_3 分别是分离轴。在 d_2 、 d_3 上的投影相交，然而在 d_1 上是不相交的，所以可以判断出两包围盒是不相交。

2.3.3 基本几何元素间的相交计算 经过上几步的相交检测，大致找到了哪些基本几何元素发生了相交。但这并不意味着检测结束，还需要进一步确定哪些基本集合元素发生了碰撞。三角面片相交检测的基本步骤：

第一步，假设有两个基本几何元素 A 和 B，分别属于不同实体。首先分别得到 A 和 B 的三个顶点坐标。根据 A 三个顶点的空间位置获取一个六面体，其六个面由三个顶点的坐标决定。在此基础上，判断三角面片 B 的三条边是否和 A 的六面体发生相交。如果满足条件，则进行第二步，否则说明两个三角面片不相交。

第二步，在上一步的基础之上，判断 A 的三角面片位于的平面是否和 B 的三条边相交，并把这条边和平面的交点记下。如果相交，则进行第三步，否则进行第四步。

第三步，判断在第二步中的交点是否位于三角面片中，如果条件满足，那么则说明此两三角面片相交，并把它们分别保留。否则，进行第四步。

第四步，根据第二步、第三步的判断，两个三角面片可能不相交（不相交包括两种情况，即三角面片不平行不相交或平行不相交）。但是也可能重叠。对于重叠依旧认为成两三角面片相交。

由于基本几何元素的相交检测实现方法相对简单，在此不做详述。

3 实验结果

由于采用的绘制方法是面绘制，所以两个体数据间的相交结果为一些曲线（见图 6 右图），这些曲线其实是所有相交的三角面片。这些三角面片将为以后力反馈的研究提供必不可少的信息。图 6 左图中，当模拟针管碰到头骨时，三个小窗口将自动显示针尖处 xoy, xoz 和 yoz 面的截面图，以便给虚拟插植过程提供更加详细的信息。

除头骨外的其他碰撞检测见图 7。右图中头骨为白色，绿色为血管，蓝色为神经；左图为神经，当针管模型碰到神经时，碰撞检测将指示插植存在问题。

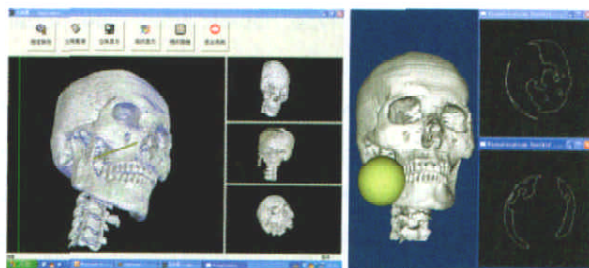


图 6 碰撞检测结果

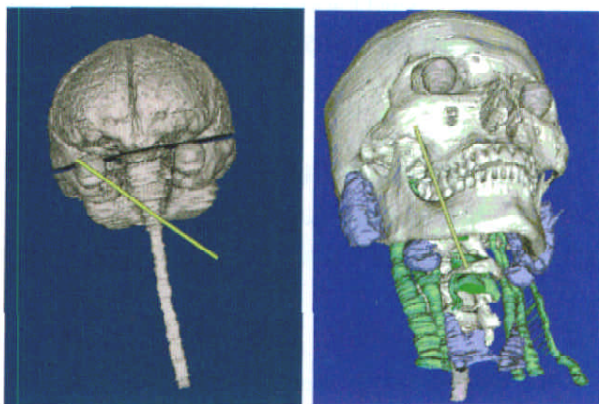


图 7 其他组织的碰撞检测

4 结论

通过研究网格简化、OBB 包围盒、OBB 树和空间三角形相交计算，设计了适合于鼻咽癌虚拟手术计划系统的碰撞检测。该算法检测准确无误，为整个虚拟（下转第 35 页）

求,信息系统以纵向传输、横向关联的数据结构为特征,并逐步向纵横综合管理方式过渡,保证了相关子系统应用中经济信息的链式循环,也满足了卫生经济网络化管理的需要。

4.1 共享经济管理信息 网络环境下,医院信息系统已成为提供经济数据的主要来源,通过各子系统产生的数据,利用网络平台及时获取所发生的各类经济信息,及时、准确地掌握医疗经费的收支动态情况,促进领导与机关科室之间信息查询,提高了经济信息的监控和利用水平。

4.2 优化经济管理工作流程 采用计算机网络化管理卫生经济,优化医院经济管理流程,促进经济活动规范、有序,增强经济活动决策、计划、组织、指挥、调节、监督与管理力度,实现会计收费账簿管理、价表管理、分类记账及转记账、凭证生成等自动化处理。

4.3 提高经济管理工作效率 构建卫生经济网络化管理平台,及时分析经济运行数据,总结卫生经济活动规律,提高决策者对医院经济运行的决策能力与管理水平。

4.4 规范经济管理工作 标准化是医院管理工作的重要基础,通过落实标准,使经济管理过程由繁变简,从杂乱走向统一,减少重复劳动,提高工作效率等。这些标准化过程,主要包括信息数据标准化和业务流程标准化,涉及从信息编码到报表、单据的标准化,从文档资料到各种名词术语的标准化等。数字化建设把工作站建在数据采集的最原点,使经济信息从一开始即得到控制,从自然信息到费用信息、人员物资信息,从费用产生的源头(收费处、医生工作站等)到成本产生的发源地(药库、药房、物资库、供应室等),从统计到核算,全程实现了计算机管

理,减少了人为因素对信息组成的影响,保证了整个医疗工作的连续性和信息组成的完整性。

4.5 提高经管人员综合素质 由于采用计算机网络管理,改变了传统的人为经验管理方式,经济信息服务更加快速、准确,服务质量更高更优,极大地推动了医院现代化管理的进程,使经济管理由过去的经验型向科学型迅速转化。这就对卫生经济管理人员的素质提出了更高的要求,不仅要精通本职业务,还要掌握计算机系统的基本知识、应用技术和操作技能,掌握医院管理、基础医学、统计学、运筹学等知识,熟悉基本的卫生经济业务管理软件使用与维护,掌握网络环境下卫生经济管理工作的新规律和方法。

5 结论

依托医院网络环境构建卫生经济网络化管理平台,提高了利用信息技

术解决经济管理问题的能力,严格了收费项目与价格管理,减少了人为因素;真正落实了收费日结账、转记账、退票等财务管理制度,实现了病人全程医疗费用监控,控制了减免费,减少了漏费、逃费现象;各项成本消耗环节全部进行计算机管理,如医疗设备、低值易耗品、药品、非医疗物资管理等,全面控制了成本管理。同时,增强了各种查询、统计功能,提高了工作效率,实现了全院卫生经济的宏观与微观管理。CDM

参考文献

- [1] 张丽君,石立宣,栾立柱,等.数字化医院运营绩效评估方法的研究与实践.中国数字医学,2007,2(2):29-30.
- [2] 魏颖,杜乐勋.卫生经济学与卫生经济管理.北京:人民卫生出版社出版,2007.

【收稿日期:2008年4月26日】

(责任编辑:赵士洁)

(上接第25页)

系统的实现奠定了基础。虽然此算法具有诸多优点,但还需说明:由于文中所涉及的鼻咽部及其周围组织的三维重建出来的数据十分庞大,所以一次碰撞检测的时间需要30s左右,还无法满足系统实时性要求,因此提高碰撞检测速度的工作还需进一步加强。CDM

参考文献

- [1] National Electrical Manufacturers Association (NEMA). The DICOM Standard [R]. Tech rep NEMA,2004.
- [2] Garland M, Heckbert PS. Surface simplification using quadric error metrics[C] / Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer

Graphics Proceedings, Annual Conference Series. Los Angeles: Addison Wesley, 1997: 209-216.

- [3] Hoppe H, DeRose T, Duchamp T, et al. Mesh optimization[A]. In: Cunningham S SIGGRAPH '93[C]. Anaheim: ACM Press, 1993: 9-26.

- [4] Gottschalk S, Lin M, Manocha D. OBBTree: A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection. Proceedings of SIGGRAPH '96, 1996: 171-180.

- [5] 吴庆标. 误差最小的计算机插补原理[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, (3): 174-178.

【收稿日期:2008年4月30日】

(责任编辑:赵士洁)