一种三维数据场多表面显示方法

诸葛婴,田 捷,罗希平
(中科院自动化研究所人工智能实验室,北京 100080)

摘 要: 本文提出了一种基于体绘制的三维数据场多表面显示方法.首先,采用灰度梯度加权提取出三维数据场中不同物质间的边界,根据显示的需要只对这些边界上的体元赋予相应的阻光度并进行光亮度合成计算,因而可大大减少计算量,提高显示的速度;将边界上的体元作为不同物质的混合体,采用与方向有关的三线性插值来计算视线方向与体素内等值面的交点,根据交点的法向量进行光照效应计算以提高显示图像的质量;最后用投影成像法显示最终的图像.本文对医学CT图像做了相关的实验,取得了较好的效果.

关键词: 体绘制; 三维数据场; 表面显示; 法向量; 投影成像
中图分类号: TN391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 0372-2112 (2001) 01-0140-03

A Multi-Surfaces Rendering Method Based on Volume Rendering for 3D Data Sets

ZHU Ge-ying, TIAN Jie, LUO Xi-ping
(*AI Lab. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080, *China*)

Abstract: In this paper, we present a multi-surfaces rendering method based on volume rendering for 3D data sets. First, we extract the boundaries between two different materials by weighting with gray-level gradient, and only voxels on these boundaries participate in the generation of each image, so it drastically reduces the rendering time. Second. We think the voxels on boundaries as the mixture of different materials, so in every voxel there is a surface. We use the oriented cube-interpolation technique to get the intersection point of viewing orientation and the surface in the voxel, then compute the surface normal of the intersection point. We use the normal to shade the voxel in order to improve the image quality. and make some experiments with medical CT images.

Key words: volume rendering; 3D data sets; surface rendering; normal; projection

1 引言

三维数据场的表面绘制运用分类操作将体数据中感兴趣的部分提取出来并以面的方式显示.主要有两类方法:一是在一系列的二维切片上生成等值线,然后用几何元素对这些等值线进行拟合形成等值曲面.另一类方法直接在数据场中抽取等值面.相对而言,前一种方法占用存储少,速度快,便于进行三维实时旋转操作.但它在确定多分支等值线在相邻切片间的拓扑关系以及分支处顶点的连接关系时比较困难,至今尚未彻底解决.后一种方法避免了相邻切片间等值线连接的困难,可以直接生成三维的等值曲面,其中最著名的是Lorenson[1]于1987年提出的移动立方体法(Marching Cubes).但在有些情况下会造成等值面的二义性.

1988年Levoy[2]利用分类函数对三维数据场中的体元进行阻光度分配,并对物质边界面处的体元赋予高阻光度以突出显示物质表面,每一个阻光度不为0的体元对最终图像的显示都有所贡献.唐泽圣[3]对此方法进行了改进,以重构三维数据场代替原有的重构光亮度场,提高了可视图的质量并节约了存储空间,并用改进的方法来显示多等值面,但需要通过不断的采样来来判断等值面的位置,计算量很大.Udupa[4]及宛铭[5]采用投影成像法来绘制三维数据场并显示多等值面,但是对投影成像中光照效应差的问题仍没有解决,仅用体元中心的梯度值来代替整个体元的法向量.

在许多应用中,人们有时只关心不同物质间的边界部分,并由其反映整个数据场的全局状况.本文提出了一种三维数据场多表面显示方法.为加快显示速度,不用分类函数对数据场中的体元进行阻光度分配[6],本文提取出三维数据场中不同物质间的边界,只对这些边界上的体元进行颜色合成计算,因而可大大减少计算量.此外,还可根据显示需要对不同的边界赋予相应的阻光度,可灵活的反映不同物质边界在三维空间中的相互关系;在提高显示图像质量方面,传统的投影成像方法用体元中心的梯度值来代替整个体元的法向量,因而无法反映体元所影响的像素之间的差别.将边界上的体素作为不同物质的混合体,采用方向有关的三线性插值来计算视线方向与体素内等值面的交点,对体元所影响的多个像素存在着不同的交点,根据交点的法向量进行光照效应计算,从而可提高显示图像的质量.

收稿日期:1999-07-21;修回日期:2000-06-23
基金项目:国家自然科学基金(No.69843001);国家863计划基金(No.863-306-ZD04-06-4)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　方法描述

算法的流程如图 1 所示:

2.1　边界提取

在本文的方法中,只关心不同物质的边界面,而不考虑同一物质内部的体元对最后显示图像的贡献,因此可大大减少三维数据场的绘制时间. 对物质边界的提取属于图像分割的问题,本文不予重点讨论.

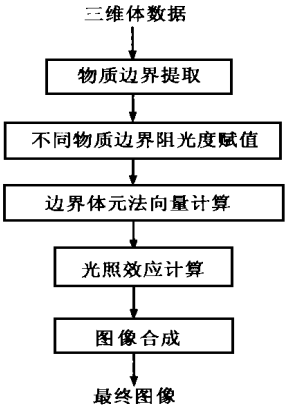

图 1

对三维数据场,将其分解成二维切片数据的集合,并按切片顺序的方式来保存物质边界上的体元. 对任一个切片上的边界体元,定义一种数据结构来描述它.

$$voxel[i] = \{x, y, z, tt, op\}$$

其中: i 表示切片的序号; (x, y, z) 表示边界体素在三维数据场中的位置; tt 表示物质边界的类型; op 表示赋予该类型物质边界上的体元的阻光度. (可以根据显示的需要进行设定)

2.2　法向量计算

提取出不同物质边界后,可以采用投影成像法对边界上的体元进行快速显示. 投影成像法的一个主要缺点是对每个体元难以获得有效的较准确的法向量进行光照效应计算,以突现物质分布的空间感. 传统的方法多以中心差分获得体元中心点的梯度值来代替体元的法向量,这不能反映一个体元投射到屏幕上所影响的像素的变化. Webbor[9]根据体元及其 26 个相邻体元的灰度值,用一个双二次函数在每个体元中插值出一个曲面,再依此曲面去计算法向,这种方法能反映体元对不同像素影响的细微变化,但它的计算量太大,严重影响成像的速度.

边界上的体元是不同物质的混合体,在体元内部存在一个等值面. 本文采用一种与方向有关的三线性插值来以求得视线方向与等值面的交点,并计算交点的法向量,视线穿过体元,对一个像素的影响只要计算交点处的光照效应就可以了. 本文以体元的 8 个顶点处灰度值的平均值 m 作为阈值,以视线方向作为体元内插值的方向. 设射线与体元的两个交点分别为 p_1 和 p_2,其值为 v_1 和 v_2,则这条射线与以 m 定义的等值面的交点为:

$$p = (1 - k)\, p_1 + k p_2 \tag{1}$$

其中:

$$k = \begin{cases} \dfrac{m - v_1}{v_2 - v_1}, & \text{if } v_2 \neq v_1 \\ 0, & \text{if } v_2 = v_1 \end{cases} \tag{2}$$

k 必须满足 $0 \le k \le 1$,才能保证交点在体元内,否则可以认为该体元对射线到达的像素没有影响. 计算出交点在体元内的位置后,根据体元的 8 个顶点处的梯度值做三线性插值计算出交点处的梯度值,代替该点的法向量进行光照效应计算,作为体元对其影响的像素的光亮度贡献.

2.3　图像合成

用投影成像法来快速显示边界上的体元,图像合成采用从后往前法,其公式为:

$$C_{out} \cdot \alpha_{out} = C_{now} \cdot \alpha_{now} + (1 - \alpha_{now}) \cdot C_{in} \cdot \alpha_{in} \tag{3}$$

$$\alpha_{out} = \alpha_{now} + (1 - \alpha_{now}) \cdot \alpha_{in} \tag{4}$$

其中: C_{now}, α_{now} 表示射线与体元内等值面交点处的颜色和阻光度, C_{in}, α_{in} 代表射线进入交点前的颜色和阻光度, C_{out}, α_{out} 表示叠加上交点处的颜色和阻光度后的相应值. 交点处的颜色值根据 Phong 光照模型求得,即:

$$C = I_a + K_d I_l \cdot (N \cdot L) + K_s I_l \cdot (N \cdot V')^f \tag{5}$$

其中, K_d, K_s 表示漫反射系数和镜面反射系数; I_a, I_l 表示环境光强度和主光源强度; N, L, V 表示归一化的表面法向量、光源方向、和视线反方向;

$$V' = \frac{V + L}{|V + L|} \tag{6}$$

交点的表面法向量 N 可根据 2.2 节中的公式求得.

分配一个缓冲区 IB,大小为投影平面上的像素数,初始值设为背景颜色,边界上的体元开始投影后,对每一个体元所影响的多个像素 p, $IB(P)$ 更新为 $C_{out} \cdot \alpha_{out}$,直至所有边界体元全被处理过,则缓冲区中包含的即为最终显示图像的各个像素颜色.

3　实验结果

在 PII 300 的微机上实现了该算法. 实验数据为医学 CT 图像,图 2(a) 为人体膝的 CT 图像,共 70 个切片,每个切片分辨率为 256 ×256 ×8 位,间距为 2mm. 图 3(a) 为人脚的 CT 图像,共 24 个切片,每个切片分辨率为 512 ×512 ×16 位,间距为 3mm. 图 2(b) 和图 3(b) 分别为相应的绘制结果. 从中可以清楚的看出整个三维数据场的全局状况.

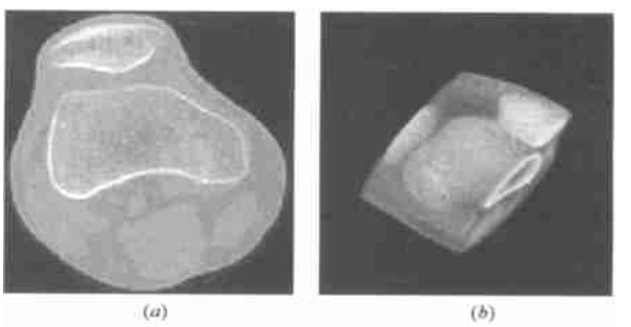

图 2

两个实验数据的阻光度赋值情况如表 1 所示:

表 1

	阻光度 1(皮肤)	阻光度 2(软组织)	阻光度 3(骨骼)	绘制时间
图 2(b)	0.1	0.2	1.0	约 8 秒
图 3(b)	0.15	0.3	1.0	约 6 秒

从图 2(b) 和图 3(b) 中我们可以看出,图像显示的效果很好,能够清楚的反映三维数据场中的全局状况.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

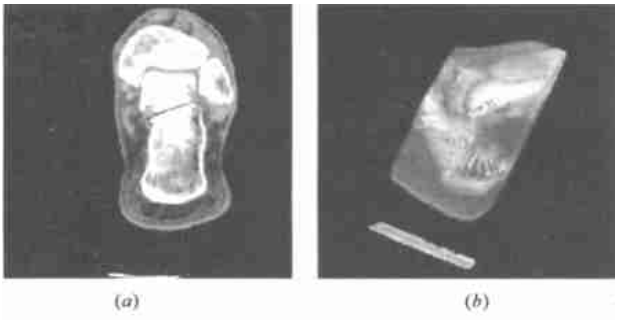

图 3

4 结论

本文提出了一种基于体绘制的三维数据场多表面显示的方法. 这种方法只提取不同物质的边界体元进行光照计算,并利用投影成像法来显示最终图像,大大加快了三维数据场的绘制速度;同时改进了投影成像法光照效应差的缺点,因此提高了图像的显示质量,可以很好的反映三维数据场的全局状况.

参考文献:

[1] Lorensen W. E, Cline H. E. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm [J]. Computer Graphics, 1987, 21(4): 163 - 169.

[2] Levoy M. Display of surfaces from volume data [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1988, 8(3): 29 - 37.

[3] 唐泽圣,袁骏. 用图像空间为序的体绘制技术显示三维数据场 [J]. 计算机学报, 1994, 17(11): 801 - 808.

[4] Udupa J K, Odhner D. Shell rendering [J]. IEEE Computer Graphics & Application, 1993, 13(6): 58 - 67.

[5] 宛铭,唐泽圣. 基于微机环境的三维数据场多等值面快速显示算法 [J]. 软件学报, 1996, 7(9): 513 - 520.

[6] 唐果,赵晓东,汪元美. 模糊表面构造、阻光度映射及快速体绘制研究 [J]. 电子学报, 1999, 27(1): 17 - 21.

作者简介:

诸葛婴 1971 年出生,1999 年博士毕业于中科院自动化研究所. 现在美国宾州大学(University of Pennsylvania)从事博士后研究. 目前主要研究领域是医学图像处理.

田 捷 1960 年出生,工学博士,中科院自动化所研究员,博士生导师,美国数学评论杂志(Mathematical Reviews)特约评论员. 目前主要研究领域是多媒体技术,医学图像处理与模式识别. 曾在国内外期刊、学术会议发表论文 60 多篇.

罗希平 1974 年出生. 1996 年 7 月毕业于中南大学,获工学学士学位,同年进入中国科学院自动化研究所直接攻读博士学位. 现为中国科学院自动化研究所博士研究生. 研究领域为医学图像处理,模式识别.

(上接第 144 页)

张 波	张伯彦	张 钹	张长水	张承福	张春田	张德富	张奠成	张端明	张方国	张福泰
张福炎	张公礼	张桂林	张国平	张国兴	张国义	张汉一	张 浩	张宏科	张洪才	张鸿宾
张 辉	张家树	张 洁	张经国	张敬明	张军英	张克潜	张 磊	张立明	张林让	张民选
张 敏	张 明	张明德	张明廉	张乃通	张 平	张汝明	张 森	张世文	张世永	张守宏
张守科	张守彦	张淑芳	张树京	张素贞	张天序	张廷庆	张 卫	张卫东	张先萌	张贤达
张 兴	张绪定	张雅绮	张 延	张延庆	张延[illegible]	张 严	张义门	张悠慧	张有为	张远见
张正线	张之圣	张直中	张中兆	张忠治	张子瑜	章坚武	章倩苓	章毓晋	章照止	章志刚
赵宝瑛	赵春晖	赵达尊	赵东辉	赵见高	赵 健	赵杭生	赵 明	赵南元	赵荣椿	赵荣华
赵树芗	赵 伟	赵燮亭	赵新胜	赵雁南	赵 耀	赵一鸣	赵玉萍	郑宝玉	郑大春	郑 东
郑君里	郑南宁	郑启伦	郑少仁	郑陶雷	郑筱祥	郑 义	郑有[illegible]	郑云光	志德明	钟 鸣
钟顺时	钟义信	钟玉琢	仲 文	周朝栋	周国柱	周 杰	周锦君	周 军	周乐柱	周立柱
周 亮	周曼丽	周明天	周其焕	周清霄	周润德	周世东	周思永	周 汀	周小波	周孝宽
周兴铭	周一宇	周 毅	周荫清	周源华	周展飞	周 正	周志华	周祖成	朱 钧	朱 斌
朱长纯	朱大中	朱光喜	朱华飞	朱 杰	朱锦林	朱近康	朱君范	朱士信	朱雪龙	朱贻盛
朱于军	朱兆安	朱兆达	朱宗林	诸 静	诸昌铃	诸鸿文	诸维明	祝西里	庄天戈	庄钊文
卓 晴	柴振明	邹谋炎	皇甫正贤	李国辉	阙瑞麟					

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net