

直接体绘制中交互显示控制技术研究

于荣欢 吴玲达 杨超

(装备学院复杂电子系统仿真重点实验室 北京 101416)

摘要 针对直接体绘制中的交互显示控制问题,在深入分析交互显示控制中的颜色控制、Alpha控制和区域控制方法的基础上,结合等值面提取与绘制方法的特点,提出了一种基于直方控制的类等值面交互显示控制方法,该方法通过用类似窄直方图的Alpha折线控制体数据的透明度从而实现类似等值面的显示。试验表明该方法不仅能够有效模拟等值面绘制效果,而且在等值面值变化时效率较等值面算法大大提高,能够有效满足实时性要求。

关键词 直接体绘制,交互控制,等值面绘制

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Research of Interaction Control in Direct Volume Rendering

YU Rong-huan WU Ling-da YANG Chao

(Science and Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory, Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

Abstract According to the interaction control problem of direct volume rendering, we analyzed the color control, alpha control and areas control problems in the direct volume rendering and proposed an interaction control method based on histogram control. This method adopted an alpha polygonal line similar to histogram to control the alpha in volume data and achieve the isosurface show. The experiment show that this method can simulate the isosurface and reduce the rendering time effectually.

Keywords Direct volume rendering, Interaction control, Isosurface extracting

1 引言

科学计算可视化是辅助科学研究的一种重要方法,它对科学计算中产生的大量抽象的数据进行分析,变抽象为形象,激发人的形象思维,从杂乱无章的海量数据中找出隐藏的规律,有效地提高了计算数据的利用率,促进了科学研究方法的发展。目前,科学计算可视化方法在军事应用、科学发现、工程开发、医疗诊断和业务决策等领域已得到了广泛的应用。

三维体数据是科学研究中最常用的一种科学计算数据存储方式,对三维体数据进行可视化研究是科学计算可视化研究中的重要内容。直接体绘制是三维体数据可视化的一种重要手段,是一种不借助在三维体数据中构建中间几何模型,而将整个三维体数据以某种方式直接投影到2D屏幕上的绘制技术^[1,2]。相对于其它的基于几何建模的可视化方法(如直接绘制方法、等值面绘制方法等),直接体绘制方法具有显示效果好、显示内容全面的优点,但由于在直接体绘制过程中三维体数据中的所有体素点均对绘制结果有影响,如果不对绘制过程进行显示控制,其绘制结果将十分杂乱,不利于数据的辅助分析。

目前,对于直接体绘制的显示控制主要采用用户交互控制的方法,本文在全面分析已有的直接体绘制交互显示控制

技术基础上,针对已有交互显示控制中的不足,提出了一种基于直方控制的类等值面交互显示控制方法。实验结果显示,该方法能够有效满足直接体绘制的交互显示需要。

2 直接体绘制技术概述

直接体绘制技术是近年来科学计算可视化研究中应用领域最广、最为活跃的技术之一,是可视化的一种重要方法。它能够从三维体数据中提取其内在的本质信息,并借助交互式的显示控制技术展现出来。直接体绘制可视化方法不构建中间几何模型,而是将整个标量场以某种方式直接投影到2D屏幕上。它在一定程度上脱离了传统图形学点、线、面的束缚,绘制对象不再是以点、线、面等传统几何图形表示形体的方法组成的三维实体,而是由体素作为基本单元的三维体数据^[3,4]。

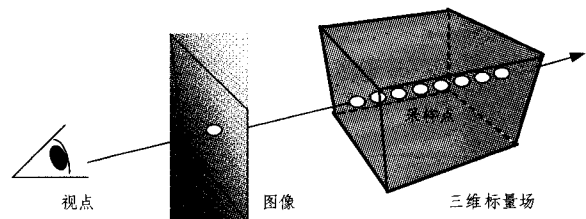


图1 光线投射直接体绘制算法

本文受国家自然科学基金项目(61103081)资助。

于荣欢(1983—),男,博士,助理研究员,主要研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实技术, E-mail: yrh1983@163.com; 吴玲达(1962—),女,博士,教授,主要研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实技术; 杨超 男,博士,助理研究员,主要研究方向为多媒体信息系统与虚拟现实技术。

基于光线投射的直接体绘制方法是一种典型的直接体绘制算法,该方法最先由 Levoy 和 Drebin 等人于 1988 年提出^[5],随着计算机图形技术的发展及算法的不断改进,该方法已经成为三维体数据可视化的一种应用最广泛、最基础的方法。基于光线投射的直接体绘制方法采用体光照模型直接从三维体数据中绘制出各类物理量的分布情况。其基本原理如图 1 所示。

首先,从视点出发通过投影图像平面的每一像素产生一条投射光线,这条光线穿过三维数据场,然后,沿这条光线进行等距离采样,并计算采样点的值,采样点值的计算采用三线性插值计算方法,由距离该采样点最近的 8 个体素求得采样点的值,然后利用光学映射将采样点的值映射为光学属性,也就是颜色值及不透明度值(RGBA)。最后,计算出该条射线上所有采样点的颜色值和不透明度后,采用由前到后的方法将每一采样点的颜色及不透明度进行合成以求得绘制积分^[6]。设初始采样点的颜色值是 C_0 ,最终颜色值是 C ,第 i 个采样点的颜色值是 C_i ,不透明度为 a_i ,透明度为 β_i ,则 $\beta_i = 1 - a_i$,最终颜色值 C 的计算公式为:

$$C = C_0\beta_1\beta_2 \cdots \beta_n + C_1a_1\beta_2\beta_3 \cdots \beta_n + C_2a_2\beta_3\beta_4 \cdots \beta_n + \cdots + C_{n-1}a_{n-1}\beta_n + C_na_n \quad (1)$$

综上所述,光线投射直接体绘制算法的具体步骤可设计如下:

- 1) 数据预处理,包括三维体数据网格的调整,数据对比增强等;
- 2) 构建颜色与透明度映射,通过用户设定分别建立三维体数据中场值到颜色和不透明度之间的映射;
- 3) 光线投射计算,从屏幕上的每个像素沿视线方向投射光线,穿过三维体数据,在每一根光线上采样,插值计算出颜色值和不透明度;
- 4) 屏幕空间像素颜色合成与绘制,在每一根投射光线上,将每一个采样点的颜色值和透明度值按前后顺序合成,得到屏幕空间像素的颜色值,并将其存入帧缓冲,屏幕空间所有像素点均合成完成后即可获得当前的屏幕图像。

3 直接体绘制交互显示控制

由上一节内容可知,直接体绘制中屏幕像素点的颜色由体数据中体素的颜色和透明度融合而成。在实际应用中,针对不同的研究目的,我们往往需要对三维体数据中不同值域、层次、方位的体素进行重点突出展示,需要根据研究目的改变体数据中各体素的颜色、透明度值。因此设计一种方便、有效的直接体绘制交互显示控制方法也是直接体绘制研究中的一项重要内容^[7,8]。直接体绘制交互显示控制主要包括颜色映射控制、Alpha 映射控制和区域控制 3 个部分,各部分的设计如下。

3.1 颜色映射控制

颜色映射控制负责将三维体数据中体素的值域空间映射到颜色空间,目前通用的方法主要是将体素值域映射到颜色带,如图 2 所示。

其中图 3 为颜色带与值域空间的映射,图 2 为颜色映射后的绘制效果,由图可见,通过值域与颜色带的映射,每一个体素的值均可以与一个唯一的颜色相对应。通过控制颜色带

的颜色就可以很方便地控制三维体数据中体素的颜色。颜色带的控制主要采用颜色关键点及关键点间线性插值的方法,颜色带的控制方法如图 3 所示。

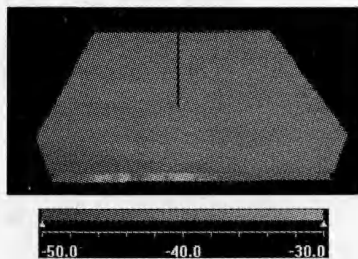


图 2 颜色带映射

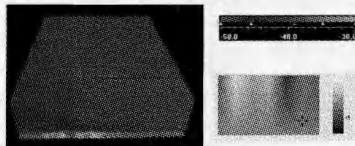


图 3 颜色带控制

图 3 左侧图为直接体绘制效果,右侧为颜色带控制示意图,其中,右侧上图中颜色带下的小三角形为关键点,关键点控制颜色带上该点所在位置的颜色,颜色带其它区域的颜色由关键点线性插值获得。关键点的颜色可以通过右侧下图中的调色板进行设置,关键点可以增加和删除,其在颜色带上的位置可以通过拖动改变。

3.2 Alpha 映射控制

Alpha 映射控制负责对三维体数据中体素的透明度进行控制。相对颜色而言,透明度的直观性较差,因此不太适合映射条带的方式,但其只有一个数值表示,可以采用折线的映射方式,如图 4 所示。

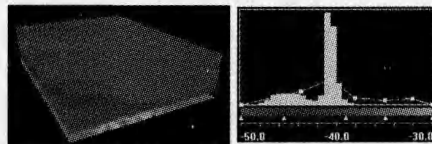


图 4 Alpha 折线控制原理图

图 4 左侧为加上 Alpha 控制后的绘制效果图,右侧为在颜色带基础上加上 Alpha 映射控制的示意图,图中直方图分布表示三维体数据在值域上的统计分布,x 轴表示三维体数据的值域,y 轴为透明度值,折线为 Alpha 控制折线,其上的点表示三维体数据值域空间中的某一点与 Alpha 值的映射,可以通过增减、移动折线上的关键点对映射折线进行改变从而控制三维体数据的透明度,不同 Alpha 控制折线的绘制效果如图 5 所示。

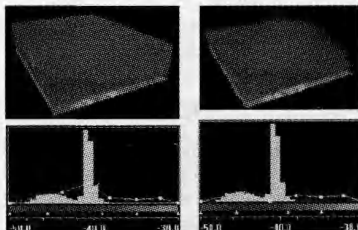


图 5 不同 Alpha 折线控制效果图

3.3 区域控制

在三维体数据的可视化分析中,除了需要对一些特定值域进行突出显示外,有时候也需要对一些特定区域进行重点显示,因此除了值域控制,区域控制也是体绘制交互显示控制中的一项重要内容。可以通过改变体数据的6个显示边界对显示区域进行控制,如图6所示。

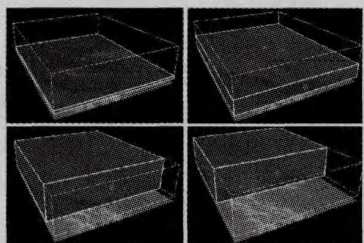


图6 区域控制显示效果图

其中,上面两幅图为水平方向上的区域控制,下面两幅图为垂直方向上的区域控制,由图可见,可以采用区域控制的方法对三维体数据进行切片显示。

4 基于直方控制的类等值面交互显示控制方法

对于三维体数据的可视化,除了直接体绘制外,等值面提取与绘制也是一种非常有效、重要的方法。在三维体数据中,每一个体素均有一个值,不同的场合该值所代表的意义各不一样。实际应用中,体数据中等值的曲面可能蕴含了体数据中隐藏的许多关键信息(比如在核磁共振获取的体数据中,异物表面的值是一致的),因此,可以通过对标量场中的等值面进行提取来获取标量场中的此类关键信息。

对体数据进行等值面提取,通常采用在体数据中构建等值三角面片,再生成等值曲面的方式,其基本思路是首先通过线性插值计算出体数据中的等值点,然后再利用等值点构建出等值曲面。相对于直接体绘制,等值面提取与绘制方法生成的图像清晰,结构简单,可以有效地展示体数据的某些局部特征。但是等值面提取过程复杂,计算量大,当等值面值变化时需要遍历整个体数据重新生成等值面,很难满足实时性的要求。

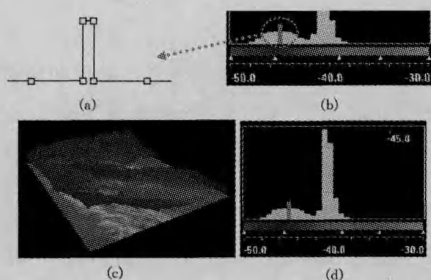


图7 基于直方控制的类等值面交互显示控制原理图

本文结合第3节中直接体绘制交互显示控制的特点和等值面提取与绘制的显示优势,提出了一种基于直方控制的类

等值面交互显示控制方法。该方法的主要思路为:由于等值面提取与绘制表示的是某一相同值的等值曲面,因此利用类似窄直方图的Alpha折线控制某一小范围值域内的透明度为不透明,其余值域为全透明,就可以较为逼真地表现等值面提取与绘制的效果。具体控制设计与显示效果如图7所示。

其中图7(a)和图7(b)表示在一个非常小的值域范围内采用图7(a)这种类直方图的折线控制等值面的显示,图7(c)和图7(d)展示的是显示的效果。

另外,可以通过改变图中小直方的位置来控制不同值的等值面显示。相对于等值面提取绘制方法而言,本文提出的控制方法计算量很小,可以较好地满足等值面实时变化的要求。同时,还可以通过设置多个不同的窄直方图来控制不同等值面值及多等值面值的显示。不同等值面值及多等值面值显示效果如图8所示。

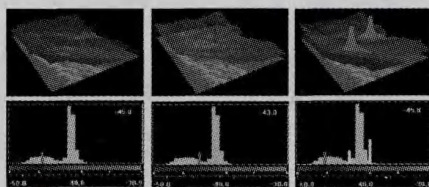


图8 不同等值面值及多等值面值显示效果图

结束语 交互显示控制是直接体绘制过程中的一个重要问题,本文在深入分析直接体绘制交互显示控制中的颜色控制、Alpha控制和区域控制等问题基础上,结合等值面提取与绘制方法的特点,提出了一种基于直方控制的类等值面交互显示控制方法,经过试验验证该方法既能有效地模拟等值面绘制效果,又能在等值面值变换时达到等值面提取与绘制时很难达到的实时性要求。

参考文献

- [1] 宋涛,欧宗瑛,王瑜. 八叉树编码体数据的快速体绘制算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 19(9): 1990-1996
- [2] 尹学松,张谦,吴国华. 四种体绘制算法的分析与评价[J]. 计算机工程与应用, 2004
- [3] 金朝阳. 自适应光线投射直接体绘制算法及实现[J]. 中国医学影像技术, 2005, 21(4): 634-637
- [4] 田玲. 基于体绘制的三维数据场可视化技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007
- [5] Levoy M. Display of surfaces from volume data[J]. IEEE Computer Graphic and Applications, 1988, 8(3): 29-37
- [6] 杨安荣,林财兴. 一种基于快速直接插值的光线投射法[J]. 微计算机信息, 2010, 30(19)
- [7] 倪彤光,顾耀林. 基于一种新模型的交互式体绘制算法的研究[J]. 计算机工程与设计, 2005, 01: 280-284
- [8] 黄汉青,唐泽圣. 应用于传递函数设定的交互式体绘制工具[J]. 计算机学报, 2005, 28(6)