

大坝地震反应数据场快速体绘制算法

贾艾晨 韩国城

(大连理工大学土木水利学院, 大连 116024)

魏小鹏

(大连大学, 大连 116622)

摘要 为了弥补传统体绘制静止画面时,不能明确判断场值集中部位的不足,提出了一种快速体绘制算法,针对大坝地震反应有限元计算数据场,根据每个单元法线与视线夹角最小的表面来选择剖切方向,将单元剖切成多个四边形面后进行颜色融合和叠加,大大提高了体绘制速度,实现了动态观察体绘制图,从而清楚地分析场值集中部位。

关键词 计算机图形学(520·6030) 体绘制 可视化 有限元 数据场 融合

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)04-0472-04

Quick Volume Rendering for Data of Dam Seismic Response

JIA Ai-chen, HAN Guo-cheng

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

WEI Xiao-peng

(Dalian University, Dalian 116622)

Abstract The concentrative part of field value can't be judged exactly on the static picture of classical volume rendering. In order to remedy this kind of shortage, this paper presents a quick volume rendering method, for the finite element data field of dam seismic response, chooses the slicing direction relying on the element surface which normal line has the smallest included angle with the view direction, slices elements to many quadrilaterals, blends the colors of these quadrilaterals by using OpenGL blending technology, and then superimposes all elements one by one. This method accelerates the speed of volume rendering, thus, we can observe dynamic pictures of volume rendering and analyzes the concentrative part of field value clearly.

Keywords Computer graphics, Volume rendering, Visualization, Finite element, Data field, Blending

0 引言

三维体数据场的可视化是科学可视化研究的集中点之一^[1~3]。在大坝地震反应有限元计算中,产生了庞大的体数据场,在其体绘制过程中,所有的信息均参与运算,计算量很大,而算法运行的速度对于体绘制方法有举足轻重的影响。

体绘制算法主要分两类:体光线跟踪法和体单元投影法。体光线跟踪法是从图象空间出发,直接计算光线在体空间中的光亮度和不透明度;体单元投影法是从对象空间出发,计算体数据采样点对图象的贡献^[4~6]。

本文所提出的算法正是从对象空间出发,针对

每个单元求出其法线与视线夹角最小的表面,依照这个表面选择剖切方向,将单元剖切成多个四边形面,利用 OpenGL 中的融合技术将这些面用颜色表达的场值进行颜色融合,再将各个单元依次叠加,达到对大坝地震反应数据场的快速体绘制,实现了从不同视点动态观察数据场场值分布情况。

1 快速体绘制算法

1.1 单元表面的法线方向

大坝地震反应有限元计算所产生的数据通常为不规则网格结构化数据,一般为8节点单元,在大坝的边缘处也有6节点单元。将6节点单元作为8节点单元的特殊情况来处理,即当8节点单元两对节

点互相重合时,为6节点单元.8节点单元的顶点编号及面编号如图1所示.

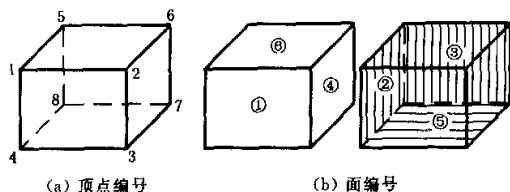


图1 单元的顶点编号和面编号

单元表面的法线方向是通过面上顶点坐标来计算的.要取得透视投影以后的顶点信息,可采用反馈模式.但由于反馈模式调用函数次数多,运算时间长,因此这里采用坐标变换的方法求得点的坐标.

为了从不同角度观察大坝,将大坝进行如下旋转变换,绕 x 轴旋转 g_1 角,绕 z 轴旋转 g_2 角:

$$\text{glRotatef}(g_1, 1.0f, 0.0f, 0.0f);$$

$$\text{glRotatef}(g_2, 0.0f, 0.0f, 1.0f);$$

由于绘制顶点前的最后一个变换命令最先作用于顶点上,所以实际的变换顺序与程序中所写的变换顺序正好相反.设 (x', y', z') 为变换后的坐标, (x, y, z) 为变换前的坐标,则经过上述变换后

$$x' = x \cos g_2 - y \sin g_2$$

$$y' = (x \sin g_2 + y \cos g_2) \cos g_1 - z \sin g_1$$

$$z' = (x \sin g_2 + y \cos g_2) \sin g_1 + z \cos g_1$$

将视点定在原点,取视线方向为 z 轴负方向.要求出每个面的法线及与视线方向的夹角,只需求出法线在 z 方向的分量

$$N_3 = (x'_2 - x'_1)(y'_3 - y'_2) - (y'_2 - y'_1)(x'_3 - x'_2)$$

比较6个面的 N_3 ,求出与视线方向夹角最小的面^[7].

1.2 单元剖切面的选取

求出单元中与视线方向夹角最小的表面后,就以这个表面为前面,向后将单元剖切成多个四边形面,四边形的4个角点由相应的单元顶点位置线性求出.如图2所示,当①表面面朝视点时

$$x_a = \lambda(x_1 - x_3) + x_3$$

$$x_b = \lambda(x_2 - x_6) + x_6$$

$$x_c = \lambda(x_3 - x_7) + x_7$$

$$x_d = \lambda(x_4 - x_8) + x_8$$

其中 $\lambda \in [0, 1]$.

y 值和 z 值及四边形4个角点上的场值也以同样线性插值的算法求出.通过场值与颜色的映射关

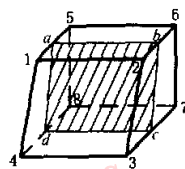


图2 单元的剖切

系,将单元中的各个四边形由后至前依次绘出.

1.3 图象的融合

体绘制最终的目的是要看出场值的分布及高场值区的位置.把每个单元的剖切面都作为彩色透明面,将所有剖切面叠加在一起,可有不同算法.采用融合技术,可大大提高成图速度.但如果融合函数的参数选择不恰当,就会引起融合之后颜色的改变,使颜色与场值不对应.为此,采用如下方法:

(1) 高场值区所对应的颜色用较高的不透明度,而低场值区则用较大的透明度.

(2) 融合的方式使用 Alpha 通道.

Alpha 通道是指加在 24 位真彩色图象上的另外 8 位信息,它用来描述不同的透明度数值.当一幅图象叠合在另一幅图象上时,两幅图象的 Alpha 信息便决定了如何将第 2 幅图象的像素混合到第 1 幅图象上,最后每个像素将产生一个新的颜色.被遮挡的物体为源物体,不被遮挡的物体为目标物体.两个物体的融合,就是通过目标物体与源物体颜色的组合产生新颜色的过程,即用源因子乘以源物体的颜色值,再用目标因子乘以目标物体的颜色值,最后进行叠加.

设融合的源因子为 (R_s, G_s, B_s, A_s) ,融合的目标因子为 (R_d, G_d, B_d, A_d) ,源物体的颜色为 (S_R, S_G, S_B, S_A) ,目标物体在同一像素点的颜色为 (D_R, D_G, D_B, D_A) ,则最后融合的颜色为

$$(R_s S_R + R_d D_R, G_s S_G + G_d D_G, B_s S_B + B_d D_B, A_s S_A + A_d D_A)$$

颜色的各分量最后还要进行归一化处理,使各分量在 $[0.0, 1.0]$ 区间内.

1.4 单元的排序

图象融合要求处理的单元必须是从后向前排序,即先绘制离视点远的单元,再依次叠加离视点近的单元.大坝地震反应有限元计算数据为不规则网格结构化数据,其单元序号是有规律的.当 g_2 (绕 z 轴旋转的角度)在 0° 到 180° 之间时,读单元信息数据的指针为正常从前到后顺序移动;而当 g_2 在 180° 到 360° 之间时,则将指针先指向单元数据的最后一

个纪录,再依次从后向前读取信息.当 g_z 在 90° 到 180° 之间和 270° 到 360° 之间时,还需将每层(垂直于坝轴线方向的一排单元)单元的读取顺序颠倒,这样,对于直面坝来说,就会产生正确的单元排序;但对于拱坝,当 g_z 在 90° 及 270° 附近很小的一个角度内时,则会产生坝两端少部分单元排序的混乱.由于拱坝两端的应力、位移等场值一般较小,体绘制时透明度很大,不会影响整体绘制效果,因此就没有对此进行处理.

2 显示结果

采用对大坝有限单元剖切、填充并进行融合处理的技术,大大提高了体绘制的生成速度,能够移动视点动态地观察大坝整体场值分布情况.图3为绕 z 轴转动的4个不同观察方向的拱坝地震反应应力分布体绘制图.从连续动态变角度生成的体绘制图象中可以看出,应力的集中部位位于拱坝背部的底端.

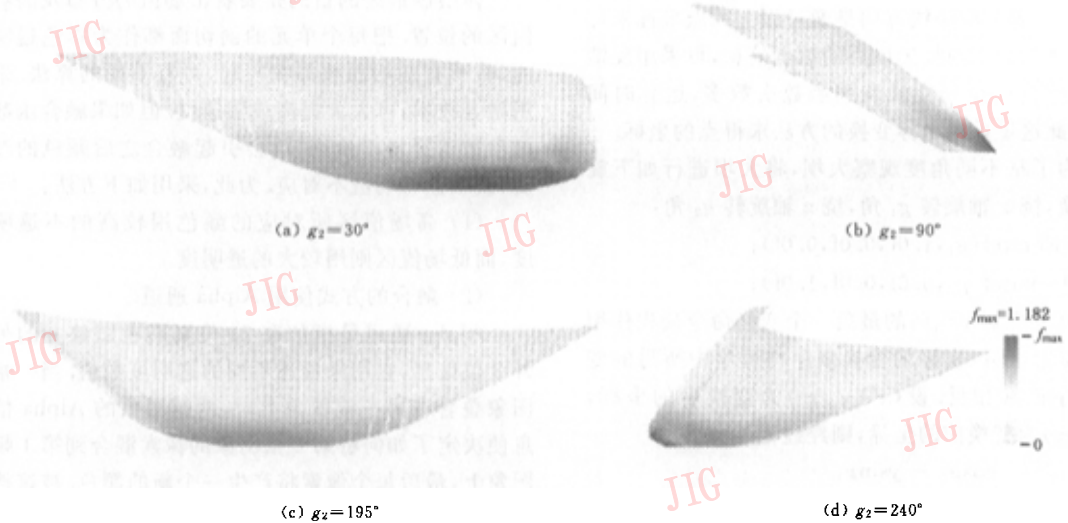


图3 拱坝地震反应应力场体绘制图

文中采用的应力与颜色及融合因子的对应值如表1.

表1 应力与颜色及融合因子的对应值

应力值	0	0.591	1.182
颜色(R,G,B)	(0,1,0)	(1,1,0)	(1,0,0)
融合因子	0.02	0.07	0.4

3 结 语

算法由 VC6.0 编程并使用 OpenGL 函数来实现^[8].图3中拱坝的有限单元数为408,网格节点数为663,每个单元分成20个剖切面.由于提高了体绘制生成速度,使动态运行速度达到每秒6帧,数据场体绘制效果可动态地观察,弥补了通常体绘制静止画面造成场值集中部位不明确的不足,较清楚地反映了场值的集中部位.该方法可应用于可视化系统及有限元后处理软件中.

参 考 文 献

- 1 贾艾展,韩国城,魏小鹏.大坝地震反应数据多层断面云图显示[J].大连理工大学学报,2001,41(3):372~375.
- 2 唐泽圣等.三维数据场可视化[M].北京:清华大学出版社,2000.
- 3 杨晓松,原仓周,李云鹏等.基于scan-buffer三维不规则数据场的直接体绘制技术[J].大连理工大学学报,2000,40(2):198~202.
- 4 石教英,蔡文立.科学计算可视化算法与系统[M].科学出版社,1996:153~179.
- 5 管伟光,马颂德.体视化技术及其应用[M].北京:电子工业出版社,1998:87~109.
- 6 贾艾展,魏小鹏,韩国城.数据场体视化方法综述[J].大连大学学报,2000,21(2):1~6.
- 7 谢培均.计算机绘图技术基础[M].西安:电子科技大学,1993:236~237.
- 8 向世明. OpenGL 编程与实例[M].北京:电子工业出版社,1999.



贾艾晨 1962年生,大连理工大学土木水利学院副教授,博士生.主要研究方向为计算机图形学、科学可视化.



魏小鹏 1959年生,博士,现任大连大学校长,教授,博士生导师.主要研究方向为计算机图形图像处理、人工智能.



韩国城 1934年生,博士,大连理工大学土木水利学院教授,博士生导师.近期研究方向为土工建筑物地震反应、稳定性分析及可视化研究.