

非规则数据场体绘制光线投射求交的加速新方法

周定红 吴恩华

(中国科学院软件研究所计算机科学实验室 北京 10080)
(中国科学院计算研究所 CAD/CG 实验室)

摘要 光线投射是非规则数据场体绘制的一种常用方法。它能生成高质量的图形,但开销很大。其原因在于光线与面的求交,特别是与外部面的求交,需要非常大的工作量。本文利用平面多边形扫描算法求取光线与外部面的交点,并利用内部体元和面的相关性,改进了光线与内部面的求交计算,从而减少了运算量,提高了绘制速度。

关键词 求交,多边形扫描填充,光线投射,非规则数据场,体绘制

1 引言

科学可视化(VISC),就是将抽象的数据所蕴含的内容用直观的图形表达,便于认知。自从它出现以来,已广泛应用于计算流体力学(CFD)、有限元分析(FEA)、医学图象处理和地质勘探等领域。

VISC处理的数据场分为规则数据场和非规则数据场。规则数据场中,数据规则地分布于空间网格点上,且网格形状是长方体形,如CT数据、MRT数据和超声无损损伤产生的数据等。而在非规则数据场中,数据排列无一定顺序可言,它们散乱地分布在空间中。通常,数据所在的空间被划分成若干小的单元区域,即体元,其形状有四面体、六面体或三棱柱等,数据则分布在体元的顶点上,如有限元分析和流体力学所处理的数据场。目前,对于规则数据场的可视化,相对来说已有比较成熟的方法;但对于非规则数据场的可视化,仍有许多问题有待解决。

对于非规则数据场的体绘制,一种有效途径是把非规则数据场转化为规则数据场^[1,2],然后再利用现有的规则数据场的绘制方法。但此途径存在严重

的缺陷:由非规则数据场到规则数据场的转换会导致严重的数据误差,使体绘制中数据的采样偏差太大,从而可能导致错误的结果。

另一种途径就是对非规则数据场进行直接体绘制。一般采用如下几种方法:

(1)光线投射方法(Ray-casting)

光线投射方法是一种基于图象空间的方法。它通过发射光线穿过数据场,计算数据场对光线的影响,从而累加出各个象素的最终色彩。这是一种有效而费时的方法,其问题在于光线与单元面的求交。文献[3]中以面为索引,建立体元的邻接关系以简化求交运算;文献[4]中使用数学工具把物理的非规则数据网格转化为计算空间的规则网格,从而克服数据沿光线采样的困难,减少计算量,但其处理的数据只能是曲线型(Curvilinear)的非规则数据。

(2)单元投影方法

单元投影是基于物体空间的一种绘制方法。其主要工作在于单元的排序。文献[5]提出基于消隐算法中的优先表(List Priority)算法;文献[6]提出类似的MPVO(Meshed polyhedral visibility ordering)算法,但该算法对数据有较大的限制。为

• 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1995.12.30;收到修改稿日期:1996.01.20

此,文献[7]对其进行了改进,提出了一种通用的基于扫描线的具有空间精度的单元排序方法。

(3) Scan-Plane 方法^[8]

它将扫描线拓展为扫描切面的空间搜索,在对象空间解决问题,并将排序与绘制工作合并在一起一次完成。

2 光线投射方法

非规则数据场的数据形成一般为一四元组 (X, Y, Z, W) ,其中 (X, Y, Z) 为数据点的空间坐标, W 为该点对应数值。在用常规光线投射方法进行体绘制时,首先对离散数据空间进行三角化,产生互不相交的多面体(体元)。这些体元可以是四面体、六面体或三棱柱等,它们之间彼此相邻(有公共面)或分离(无公共面)。体元的面可分为两类,一是共享面(两个体元共享),又称内部面;另一类为非共享面,又称外部面。在完成数据空间的三角化后,以共享面为索引建立起体元之间的邻接关系。

当光线射入数据场时,与之相交的第一个面一定是外部面。因此,求第一个交点时,只需与外部面进行测试求交。

光线从一外部面射入体元后,可求出它在此体元中的射出点及射出面。再由此射出面及共享面的索引得出光线射入的下一个体元。并且,这一个体元的射出点又是下一个体元的射入点。重复上述操作,就建立了与光线相交的体元串。

上述光线投射方法的工作流程可以描述如下:

begin

初始化(观察方法,显示区大小);
坐标变换[视线指向负 Z 方向,数据变换到合适的显示区(包括透视变换)];

建立内、外部面的各项信息;

for 所有的象素

发射光线;

while

求出光线与外部面的交点,若无交点,转下一个象素;

while

计算光线在所进入单元的射出点及射出面;

计算光强和不透明度;

若此光线累积的不透明度为

1,则转下一个象素;

若射出面为外部面,break;

利用面的索引求出该光线进入的下一个体元

endwhile

endwhile

endfor

end

3 光线与多边形求交的改进

在上述算法中,光线与体元面的求交是算法的瓶颈所在,尤其是与外部面的求交。采用最小包围盒技术,能减少一些求交计算,但计算量仍相当大。本文将给出一种有效的求交加速算法。下面分别讨论光线与内、外部面的求交情况。所讨论的数据场总体来说可以是凸、凹的,或是有空洞的情况,但体元必须是凸的。对于凹体元,必须先将凹体元转化为凸体元。

3.1 光线与内部面的求交

如图1所示,令光线 R 穿过体元时的射入点为 A ,射出点为 B 。其射入点(A)或是光线与外部面的交点,或是上一个体元的射出点。在此我们需要计算的是射出点 B 。

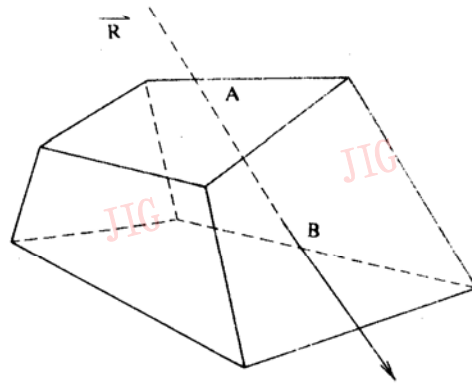


图1

Fig. 1

不失一般性,在此我们仅讨论平行投影的情况。对于透视投影,其透视投影变换可以在数据坐标变换时一同处理。设成像平面方程为

$$Z = R_z$$

则从成像平面上点 (R_i, R_j) 发射出的光线方程为

$$\begin{cases} x=R_i \\ y=R_j \\ z=R_z-t \end{cases} \quad (1)$$

设 A 点对应 t_A , 现在须求 B 点对应的 t_B 。显然, $t_B \geq t_A$ 。在此体元中, 可以求出光线与此体元的所有面 (除射入面外) 的交点所对应的 t_1, t_2, \dots, t_{n-1} (n 为体元的面数)。容易证明所有大于或等于 t_A 的 t_j ($j = j_1, j_2, \dots, j_p$) 中的最小的 t_K 即为 t_B , 其对应的面即为射出面。对于交点在顶点上 ($t_i = t_A, t_j = t_A$) 或棱线上 ($t_i = t_A$) 的情况, 也同样处理。

由以上可见, 光线与内部面的求交, 只须求光线与平面的交点, 而不必判别交点是否在多边形内部。

3.2 光线与外部面的求交

光线与外部面的求交, 不象内部面的求交那样被限定在某一个体元中, 它必须对每个外部面都进行求交测试。在此可以利用最小包围盒技术来缩小求交范围。

当观察方向确定后, 我们把外部面分为可见外部面和不可见外部面。其定义如下:

设外部面 F 的平面方程为 $f(x, y, z) = 0$; 体元的中心为 $P_c(x_c, y_c, z_c)$ 视点为 $P_e(x_e, y_e, z_e)$, 则

若 $f(x_e, y_e, z_e) \cdot f(x_c, y_c, z_c) \geq 0$, 则外部面 F 为不可见外部面

若 $f(x_e, y_e, z_e) \cdot f(x_c, y_c, z_c) < 0$, 则外部面 F 为可见外部面

若光线与外部面相交, 则它与外部面的交点所对应的距离参数为 t_1, t_2, \dots, t_{2n} (若数据场为凸, 则 $n = 1$), 并且 $t_1, t_3, \dots, t_{2n-1}$ 为与可见外部面的交点; t_2, t_4, \dots, t_{2n} 为与非可见外部面的交点。所要求的是光线与可见外部面的交点及其对应的面。传统的方法是从屏幕上点 (i, j) 发射光线, 判别光线与哪些可见外部面相交, 从而求出第一个相交的可见外部面。这种方法的计算量太大, 绘制效率很低。现在从另一个角度来解决这个问题。把每一个可见外部面都投影到屏幕上, 从而可以确定此可见外部面与哪些光线相交。这就避免了光线与多边形求交的繁琐计算, 明显地提高了体绘制效率。

将每一个可见外部面沿 Z 方向投影到屏幕上。利用多边形填充的扫描算法, 可以求出可见外部面中的每一点对应屏幕上的象素点的位置及该点对应的深度 Z 值 (图 2)。将这些信息保存在所申请屏幕大小的空间缓冲区 Buffer 中。若屏幕的某一个象素对应多个可见外部面的交点 (如图 2 中的 A、B 两点对点 C), 则按其深度 Z 值的大小进行排序。最后得到的 Buffer 结果如图 3 所示。

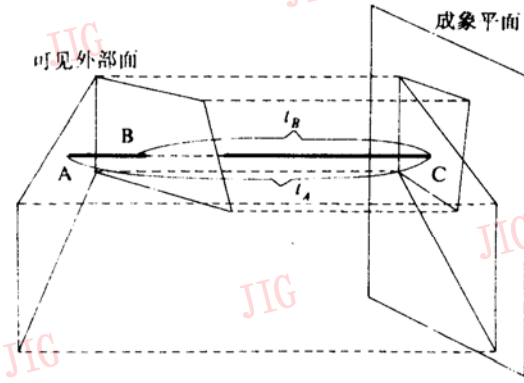


图 2
Fig. 2

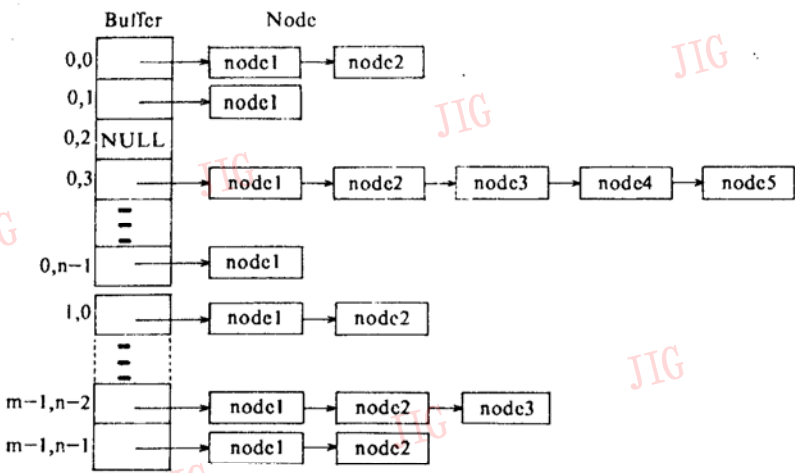


图 3
Fig. 3

Buffer 的结构如下:

```
struct NodeType{
    long FaceNo; /* 相交可见外部面的面号 */
    float Zvalue; /* 深度 Z 值 */
} ** Buffer; /* 缓冲区 */
```

光线方程如(1)式所示。则由 Buffer 中节点的深度 Z 值可以直接得到光线与此面的交点; $Z_c - Z$ 即为光线与此面的交点的参数 t 值。

当进行体绘制时, 对于屏幕上的每一个象素 $(i,$

j),在 $Buffer[i, j]$ 中取出第一个节点值,由此得到相交的可见外部面的面号和交点的参数 t 值;由此面号即可得到相交的体元号;于是,可使用前面介绍的方法求取色彩与透明度,直到光线射出面为外部面为止。然后从 $Buffer[i, j]$ 中取出下一个节点值,重复上面的操作,直到 $Buffer[i, j]$ 为空。

4. 测试结果

我们测试了三个数据场,其测试结果如表 1 (SGI Indy, CUP 时间;秒)。

表 1
Table 1

		例 1	例 2	例 3
数据尺寸	顶点数	49500	9200	739
	体元个数	45144	7942	300
	体元面数	139670	25023	1168
	外部面数	8476	2394	536
	可见外部面数	4238	1558	263
可视化象的大小		200×129	400×258	400×304
新方法	外部面扫描时间	0.83	1.01	0.77
	总时间	239.49	520.09	83.73
直接求交方法	外部面求交时间	201.34	310.41	72.22
	总时间	588.90	990.06	224.81
总时间加速率(%)		245.8	190.3	268.4

注:例 1 为从规则的动物 CT 数据中抽取的非规则密度数据场;例 2 为某物体一侧气流的能量非规则数据;例 3 为某一水坝的有限元非规则数据

从表中可以看出,新算法明显地提高了速度,特别是外部面与光线的求交。并且得出的图形跟传统方法几乎没有什么区别。其例 1、例 2 和例 3 结果分别为图版 I 图 4、图 5 和图 6[(a):直接求交;(b):新

算法]。

5 结论

本文提出的关于非规则数据场体绘制中光线与体元面求交的新方法,运用多边形扫描填充算法,将外部面投影到屏幕上,以此求取光线与外部面的交点;在处理内部面时,也改进了光线与面的求交计算。测试表明,这种方法切实可行,可有效地提高体绘制的速度。

参考文献

- [1]Arie Kaufman. Efficient Algorithms for 3D Scan-Conversion of Parametric Curves, Surfaces and Volumes. *Computer Graphics*, 1987, 21(4): 171-179.
- [2]Arie Kaufman. An Algorithm for 3D Scan-Conversion of Polygons. In: G. Marechal. EUROGRAPHCS'87. North-Holland; Elsevier Science Publishers, 1987. 197-208.
- [3]M. P. Gurrity. Ray-tracing Irregular Volume Data. *Computer Graphics*, 1990, 24(5): 35-40.
- [4]Thomas Fruhauf. RayCasting of Nonregularly Structured Volume Data. In: M. Daehlen and L. Kjeldahl. EUROGRAPHCS'94. OSLO/NORWAY; Blackwell Publishers, 1994. 293-303.
- [5]N. Max, P. Hanrahan and R. Crawfis. Area and Volume Coherence for Efficient Visualization of 3D Scalar Functions. *Computer Graphics*, 1990, 24(5): 27-33.
- [6]Peter L. Williams. Visibility Ordering Meshed Polyhedral. *ACM Transactions on Graphics*, 1992, 11(2): 103-126.
- [7]张寒松,刘慎权.一种具有物体空间精度的基于扫描线的单元排序方法. *计算机工程(专刊)*, 1994, 11 物: 504-507.
- [8]C. Giertsen. Volume Visualization of Sparse Irregular Meshes. *IEEE CG. & A.*, 1992, 12(2): 40-48.



周定红,中国科学院软件研究所计算机科学实验室硕士研究生,主攻方向计算机图形学。