

基于可见性选择体元的投影成像体绘制方法*

王文成¹, 魏莉萍², 吴恩华^{1,3}

¹(中国科学院 软件研究所 计算机科学开放研究实验室, 北京 100080);

²(中国科学院 计算技术研究所, 北京 100080);

³(澳门大学 科学技术学院, 澳门)

E-mail: {whn, weh}@ios.ac.cn; weilp@fulong.com.cn

http://www.ios.ac.cn

摘要: 基于可见性避免了对不可见体元的合成操作, 是提高体绘制速度的有效方法. 为此提出了一种方法, 根据体元基于体元面的相邻性及累积非透明度没有饱和的像素来挑选体元进行处理. 这使得投影成像方法能有效地避免处理不可见体元. 该方法不仅适用于平行投影和透视投影的成像运算, 而且能处理各种规则场和非规则场.

关键词: 可见性; 色彩合成; 投影; 体绘制; 科学计算可视化.

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

科学计算可视化中的体绘制方法, 运用光线穿越半透明物质的原理对数据场进行成像, 可以在图像中反映各种内容的综合分布情况^[1-3]. 作为一种重要的成像方法, 投影成像方法的操作步骤如下^[2-3]: 将数据场的体元按前后遮挡关系排序, 并依次投影到屏幕上, 由屏幕上各个像素对它所获得的体元贡献进行色彩合成, 以得到体绘制图像. 由于体绘制是按照光线穿越半透明物质时非透明度累积的方式运算的, 当非透明度饱和, 也即不透明时, 后面的体元对可视图就不会有色彩贡献了, 也就是不可见. 显然, 关于不可见体元的计算是多余的. 因此, 人们一直在研究有效的方法, 以避免计算这样的体元, 加速体绘制成像. 但是, 一个体元的投影往往覆盖多个像素, 要避免一个体元的处理, 就要判定它所覆盖的像素的累积非透明度都达到饱和. 这样, 就会增加很大的计算量, 以致得不偿失.

为此, 人们提出了一些改善的方法. 比如文献[4]中的方法, 利用规则数据场中各个体元的平行投影具有相同大小的特点, 建立一个与成像屏幕同样大小的缓冲区, 以缓冲区的每一个点反映屏幕上一定区域范围内像素的累积非透明度平均值, 而这个区域的中心就是该点对应的屏幕像素, 区域的大小就是体元在屏幕上的投影大小. 这样, 在处理一个体元时, 根据它在屏幕上的投影中心寻找其在缓冲区中相应的点, 以考察该点所记录的累积非透明度. 如果它达到饱和, 就不必进行色彩合成的操作了. 由此, 那些不可见的体元就不必进行色彩合成的操作. 但这种方法依然要投影每个数据体元, 并要增加一个缓冲区来记录累积非透明度的情况. 而且, 它还不便处理透视投影和非规则场的情况, 因为此时的体元投影会有大小的变化, 使得缓冲区的组织和管理难以操作.

在此, 我们提出一种方法, 使得投影成像方法可以高效地基于可见性, 中断合成不可见体元的

* 收稿日期: 2000-08-25; 修改日期: 2001-07-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69903009); Research Grant of University of Macau 基金资助项目(RGG09/99-00S/WEH/FST)

作者简介: 王文成(1967-), 男, 湖南双峰人, 博士, 副研究员, 主要研究领域为科学计算可视化, 虚拟现实; 魏莉萍(1968-), 女, 江西南昌人, 博士, 副研究员, 主要研究领域为人工智能, CAD; 吴恩华(1947-), 男, 江苏南通人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究领域为计算机图形学, 虚拟现实, 可视化, CAD/CAM.

操作. 其基本思路是: 运用动态屏幕技术^[5]来管理屏幕上累积非透明度没有达到饱和的像素, 并且在这些像素上为其相应的成像光线记录它穿越数据体元的信息; 然后, 根据这些信息进行体元的选择和投影成像, 就可以避免对不可见体元的操作. 新方法不仅对平行投影和透视投影都适用, 而且可以方便地处理规则数据场和非规则数据场.

1 基于可见性中断合成的投影成像方法

数据场的数据按照体元的方式来组织. 每一个数据就是一个体元, 由一个多面体表示. 这些多面体的面称为体元面. 其中, 由两个体元共享的面称为内部面, 而只与一个体元相关的面称为外部面. 这些面是一些平面多边形, 由一些共面的顶点标识.

当体元按照由前往后的顺序依次投影到屏幕上时, 各个像素就顺序地合成它所获得的体元贡献. 当一个像素的非透明度累积达到 1.0, 也即饱和时, 就不必再为它进行色彩合成的操作了. 这样的像素称为填充像素. 因此, 成像时只需处理那些还没有饱和的像素(称为活动像素). 在此, 我们提出以下面的方式来处理体元. 在每个像素上建立一个链表, 按照前后顺序记录那些已处理并覆盖它的体元. 这相当于为从此像素发出的成像光线记录它所相交的体元. 对于一个活动像素, 根据其链记录的已处理体元, 可以基于体元相邻性挑选一个还没有处理的体元进行处理. 当然, 所挑选的应该是离像素最近的. 当一个活动像素达到饱和时, 它就成为填充像素. 在后续操作中将不再处理该像素.

这里, 我们采用动态屏幕技术来管理活动像素^[5]. 它为屏幕上每一行像素建立一个链表, 链表中按行坐标顺序排列的每一个链节点表示一段连续的活动像素, 由该段像素的起始和终止行坐标标识. 一旦一个活动像素变为填充像素, 就将它从相关链表中除去. 我们将在第 1.1 节讨论如何根据像素上的可见性来选择体元, 然后在第 1.2 节详细介绍基于可见性选择体元的投影成像方法.

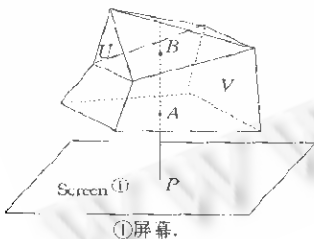
1.1 基于可见性选择体元

为了尽可能地避免处理不可见体元, 我们将根据像素上的可见性来挑选体元进行处理, 而不是按照前后顺序依次处理体元. 体绘制的本质是从每个像素发出一条光线去穿越数据场空间, 以进行

色彩累积的运算. 如果一条光线已穿过数据场空间或其由前往后的累积非透明度已经饱和, 则相关的像素将不能再从数据场得到色彩贡献, 就成了填充像素. 对于一个活动像素而言, 它可以继续进行色彩合成, 因为它还是可见的. 显然, 一个体元对一个像素的贡献是由其相关的光线穿越此体元的直线段决定的(如果是凸体元, 就是一个直线段; 如果是凹体元, 就可能是多个直线段. 为论述方便, 这里只讨论一个直线段的情况, 而多个直线段的情况, 可以类似地处理). 如图 1 所示, 体元 V 对像素 P 的贡献是由直线段

AB 决定的. 由于直线段的两个端点是光线与体元多面体的面的两个交点, 因此, 根据这些交点所在的面以及一个内部面只与两个体元相关的原则, 就能挑选新的体元进行处理. 如图 1 所示, 若体元 V 已处理, 则根据端点 B 的情况就可以选择体元 U . 对于交点所在的面是外部面的情况, 将在第 1.2 节中加以讨论.

这样, 只有那些对最终的可视图有贡献的体元才会进行投影成像, 而那些在可视图中不可见的体元将不会被处理. 由于体元是根据像素相关的光线来进行选择的, 而一个体元的投影往往覆盖多



①屏幕.
Fig. 1
图:

个像素,因此,某些像素所获得的体元的贡献,也就是那些直线段,可能不会是邻接的.为此,运用文献[6]中的方法,对这些不邻接的体元贡献分别建立链接点进行保留,等到与它们邻接的体元贡献出现之后再行合成.这样,在每个像素上,将有一个链表,以记录已处理并覆盖它的那些体元的贡献.当然,链节点是按照深度顺序排列的.

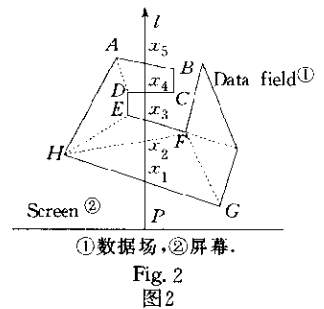
由于建立链表需要花费一些空间和时间,我们希望链节点越少越好.也就是说,光线穿越体元的线段要尽可能早地根据相邻的特性进行处理和合成.由于是根据由前往后的方式进行色彩合成,并基于累积非透明度达到饱和来中断合成,成像时就要尽可能地挑选离屏幕近的体元或与已处理的体元相邻的体元.对于规则场,合适地选择体元甚至可以保证每个像素上只有一个链节点.

1.2 基于可见性中断合成的投影成像方法

在第 1.1 节的讨论中,若数据场不包含空洞,则当光线前行遇到外部面时,就表示它已经穿出了数据场,其相关的合成运算结束.若数据场包含空洞,则光线遇到外部面时并不表明它穿出了数据场,因为这可能是与空洞相关的外部面.因此,我们提出下面的投影成像方法,它既能处理包含空洞的情况,又能基于可见性避免处理不可见体元.除了选择体元处理的顺序不同以外,该方法的其余部分与一般的投影成像方法一样.因此,这里只讨论有关体元选择的操作.其操作分为两个部分.首先,将数据场的外部面都投影到屏幕上,并为各个像素建立关于外部面的链,由此可以将与空洞相关的外部面串联起来,以保证光线能穿越整个数据场空间,而不会在遇到空洞的外部面时停止前行.这与文献[7]中利用二叉树结构将数据场中的空洞联系起来的思路类似,只不过我们是用链表来建立这种联系.然后,根据这些链节点来选择体元.若链节点是关于内部面的,则按第 1.1 节的方法进行处理;若它是关于外部面的,则考察与此外部面相关的体元是否已处理.若没有,则进行处理;否则,继续考察其后续链节点以挑选体元.

由于要尽早地进行色彩合成,以根据可见性来避免处理不可见体元,因此当一条链上与空洞相关的两个相邻的外部面节点已处理而它们之间又是空洞时,就要合成这两个节点的贡献.这种情况是容易判定的.根据文献[8]的推导,将一条光线与外部面的交点按深度排序并从 1 开始顺序编号,则奇数号交点与其后续的偶数号交点之间是数据场内部,而偶数号交点与其后续的奇数号交点之间是数据场外部.

如图 2 中的 2 维例子所示,数据场中的实线边表示外部面,虚线边表示内部面,而各个多边形就表示一些体元.当所有外部面投影到屏幕上以后,为各个像素建立关于外部面的链.不失一般性,为屏幕上的像素 P 建立的链就包含光线 l 与外部面 AB, CD, EF, GH 的 4 个交点 x_1, x_3, x_4, x_5 .于是,首先根据交点 x_1 ,由其相关的外部面 HG 选择体元 FGH 进行处理,并得到光线 l 与内部面 FH 的交点 x_2 .然后,由 x_2 相关的内部面选择体元 EFH 进行处理.此时,光线 l 已达到它与外部面的交点 x_3 ,但在链中,与 x_4 相关的外部面节点还没有被处理.于是,由 x_4 相关的外部面 CD 选择体元 $ABCD$ 进行处理.由于与 x_3 和 x_4 相关的体元均被计算了,所以它们相关的链节点就可以合成了;尽管它们之间是一个空洞.



2 实验结果

我们在 SGI Indigo2 工作站上实现了本文提出的新方法,并用它检测了两个数据场,一个是关于树獭的一个规则场,有 $128 \times 128 \times 197 = 3227648$ 个体元;另一个是关于一座水坝的应力分布的包含凹槽的非规则场,有 300 个体元.新方法对它们进行体绘制成像时,所处理体元的比率和所花费的时间见表 1.为了作比较,我们也实现了传统的投影成像方法,它在成像时要处理所有的体元.为简便起见,实验中采用平行投影的方法.表 1 中列出了新方法相对于传统方法的加速率.虽然加速率与数据场内容的非透明度有关,但新方法仍然很好地提高了成像速度.它们所生成的图像质量没有差别,如图 3 和图 4 所示.

Table 1

表 1

	Our new method ^①		Rendering time in the conventional projection method ^④ (s)	Acceleration ratio ^⑤ (%)	Size of the image ^⑥
	Percentage of the rendered voxels ^②	Rendering time ^③ (s)			
The regular data for the sloth ^⑦	69.7	131	184	40.46	640 * 985
The irregular data for the stress distribution in a dam ^⑧	74.3	9	12	33.33	500 * 400

①我们的新方法,②处理体元的比率,③成像时间,④传统方法的成像时间,⑤加速率,⑥图像大小,⑦树獭规则场,⑧水坝应力场.

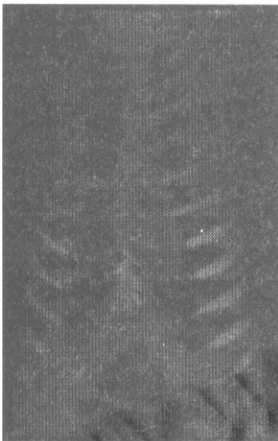


Fig. 3
图 3

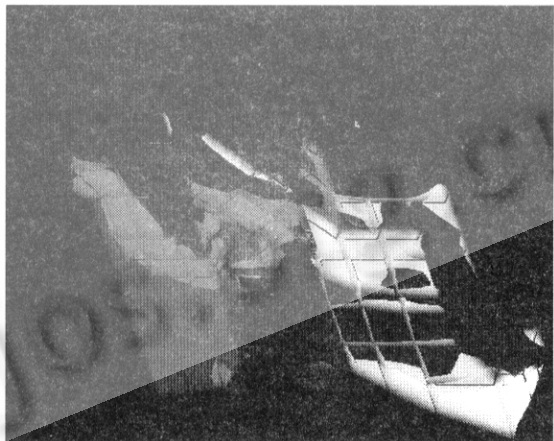


Fig. 4
图 4

3 结论

本文提出的方法,在投影成像方法中能有效地避免处理不可见体元,很好地提高成像速度.与国际上的同类方法相比,新方法对平行投影和透视投影都适用,能处理各种组织形式的数据场.

References:

- [1] Drebin, R. A., Carpenter, L., Hanrahan, P. Volume rendering. *Computer Graphics*, 1988,22(4):65~74.
- [2] Westover, L. Footprint evaluation for volume rendering. *Computer Graphics*, 1990,24(4):367~376.

- [3] Wilhelms, J., Gelder, A. V. A coherent projection approach for direct volume rendering. *Computer Graphics*, 1991, 25(4): 275~284.
- [4] Mueller, K., Sharcef, N., Huang, J., *et al.* High-quality splatting on rectilinear grids with efficient culling of occluded voxels. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1999, 5(2): 116~134.
- [5] Reynolds, R. A., Gordon, D., Chen, L. S. A dynamic screen technique for shaded graphics display of slice-represented objects. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1987, 38(3): 275~298.
- [6] Wang, W., Zhou, D., Wu, E. Accelerating techniques in volume rendering of irregular data. *Computers and Graphics*, 1997, 21(3): 289~295.
- [7] Comba, J., Klosowski, J. T., Max, N., *et al.* Fast polyhedral cell sorting for interactive rendering of unstructured grids. *Computer Graphics Forum*, 1999, 18(3): 369~376.
- [8] Hong, H., Kaufman, A. Fast projection-based ray-casting algorithm for rendering curvilinear volumes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1999, 5(4): 322~332.

Projective Volume Rendering by Selecting Voxels Based on Visibility*

WANG Wen-cheng¹, WEI Li-ping², WU En-hua^{1,3}

¹(Laboratory of Computer Science, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China);

²(Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China);

³(Faculty of Science and Technology, University of Macau, Macau, China)

E-mail: {whn, weh}@ios.ac.cn; weilp@fulong.com.cn

<http://www.ios.ac.cn>

Abstract: It is efficient to accelerate volume rendering by avoiding compositing invisible voxels. As for this, a method is proposed in this paper to select voxels to render by the neighboring relation between voxels and the accumulated opacity at pixels, which can efficiently exclude invisible voxels in the rendering process. This method is suitable for both parallel and perspective projections, and it can treat both regular and irregular volumes.

Key words: visibility; color composition; projection; volume rendering; scientific visualization

* Received August 25, 2000; accepted July 30, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 69903009; the Research Grant of University of Macau of China under Grant No. RG009/99-00S/WEH/FST