

体绘制中基于透明度标尺的色彩合成方法*

王文成 吴恩华

(中国科学院软件研究所,北京 100080)

(中国科学院计算技术研究所CAD开放试验室,北京 100080)

摘要 科学可视化中,体绘制是非常重要的一类方法,它的基本操作是色彩合成.本文对色彩合成过程中透明度的变化序列进行了考察,提出了一个基于透明度基准且与视点无关的透明度标尺,并将各类物质的透明度转换为基于透明度标尺的步长,使成像时的色彩合成过程省略许多重复计算,从而提高可视化效率.

关键词 科学视算,体绘制,色彩合成,透明度标尺.

科学计算的可视化是计算机图形学中当前最热门的领域之一.它用形象的图形方式表达数据域中抽象的数据所反映的内容,使人们能更快地、更直观地进行科学分析.

体数据的可视绘制方法一般分为两大类:抽取数据域中的等量面及体绘制.由于抽取等量面的方法^[1]易于利用真实感技术,它可以让用户较清晰地观察数据域中某些介质在数据域中的状况,特别是等量值的分布状况;但它不能完整地反映数据域中所包含的信息.与此相比,体绘制方法不依赖于中介因素,直接显示数据域的状况.该方法可以完整地反映数据域中所包含的整体信息,但所生成的可视图比较模糊、不易理解,因此常常要从不同角度、不同远近观察,以产生不同角度和不同大小的可视图,使用户能更好地理解数据域中的内容.

一般来说,体绘制方法分成两大类:光线追踪方法^[2~6]及投影成像方法^[7~10].前者从视点向各个像素追踪光线穿越数据域,通过合成每条光线上所有体素的影响,求取各个像素的色彩.后者则是先将所有体素的影响投影到成像面上,然后依体素影响在各个像素上的迭加顺序,用某种合成方法^[11],形成各个像素的色彩.

不管使用哪种体绘制方法,每个像素的色彩都是沿着体素的影响在此像素上的迭加顺序,用合成算子^[12]递推地进行迭加合成,因而需要进行大量的乘法运算,这严重地制约了成像速度.

在文献^[13,14]中,我们提出了一种新的色彩合成方法,该方法通过在“虚拟面”上分布色彩,从而可以在后处理过程中便捷地生成尺寸不同的可视图,但由于这种改进要生成一个“虚拟面”,空间开销比较大,因而从某种程度上是用空间开销换取效率的改进.

* 本文 1994-09-24 收到,1994-11-24 定稿

作者王文成,1967年生,助研,主要研究领域为计算机图形学.吴恩华,1947年生,研究员,主要研究领域为计算机图形学.

本文通讯联系人:王文成,北京 100080,中国科学院软件研究所

本文提出一种合成色彩的新方法. 该方法先设立一个透明度基准, 然后由此将用于体绘制的透明度表组织成透明度标尺. 映射成像时, 只需沿透明度标尺前进并选取适当的色彩进行迭加. 此标尺与视点无关, 可以反复使用, 因而新算法将很好地提高可视成像的速度.

下面本文将论述该方法的算法及实现. 第 1 部分介绍合成色彩的新方法, 第 2 部分讨论透明度基准的求取. 第 3 部分是算法分析.

1 合成色彩的新方法

所有体绘制算法, 在合成像素的色彩时, 都使用 Porter 等^[12]提出的 over 算子. over 算子的运算过程是: 沿着视线方向, 设介质 A 覆盖介质 B, 两者的色彩与非透明度分别为 C_a 、 O_a 、 C_b 、 O_b , 则两者前后迭加所体现出的色彩为 $C = C_a O_a + (1 - O_a) C_b O_b$ (1)

体绘制时, 沿着体素影响在像素上的迭加顺序, 由前往后递推地合成像素色彩. 其递推公式^[11]为:

$$C_{acc} = (1 - O_{acc}) C_{new} O_{new} + C_{acc} \tag{2}$$

$$O_{acc} = (1 - O_{acc}) O_{new} + O_{acc} \tag{3}$$

此处, C_{new} 和 O_{new} 表示沿着迭加顺序最新遇到的体素影响的色彩与非透明度.

将(2)和(3)式递推地迭代 n 次, 则结果可表示为^[2]:

$$C = \sum_{j=1}^n C_j O_j \prod_{i=0}^{j-1} (1 - O_i) \tag{4}$$

此处, C_j 、 O_j 表示沿着迭加顺序第 j 个体素影响的色彩与非透明度, C 是这 n 个体素影响由前往后迭加所体现出的色彩.

为了形成更有效的合成色彩的方法, 我们将(3)式的非透明度迭加效果公式转换成透明度的迭加效果公式:

$$(1 - O_{acc}) = (1 - O_{acc}) * (1 - O_{new}) \tag{5}$$

选一个比 O_1 、 O_2 、 \dots 、 O_n 均小的正数, 设为 O_0 , 则存在实数 St_1 、 St_2 、 \dots 、 St_n 使下列等式成立:

$$(1 - O_1) = (1 - O_0)^{St_1} \tag{6}$$

$$(1 - O_2) = (1 - O_0)^{St_2} \tag{7}$$

.....

$$(1 - O_n) = (1 - O_0)^{St_n} \tag{8}$$

将(6)–(8)式用于(5)式, 则色彩合成的迭加过程中, 透明度的变化序列为:

合成(C_1 , O_1)时, $(1 - O_{acc}) = (1 - O_0)^{St_1}$ (9)

合成(C_2 , O_2)时, $(1 - O_{acc}) = (1 - O_0)^{St_1 + St_2}$ (10)

.....

合成(C_n , O_n)时, $(1 - O_{acc}) = (1 - O_0)^{St_1 + St_2 + \dots + St_n}$ (11)

于是, (2)式在合成到第 j 个体素影响时, 色彩为:

$$C_{acc} = C_{acc} + C_j * O_j * (1 - O_0)^{St_1 + St_2 + \dots + St_n} \tag{12}$$

若以 $(1 - O_0)$ 为基准, 建立一个透明度序列:

$$(1 - O_0), (1 - O_0)^2, (1 - O_0)^3, \dots, (1 - O_0)^n \dots$$

我们称之为透明度标尺, 并记为 $R_1, R_2, \dots, R_n \dots$

那么色彩合成的运算可转换为下面的过程:

(1) 将各个体素的非透明度转换成相对于透明度基准的步长 St_i .

(2)将色彩合成时步长的迭加记为 St_{acc} ,

则合成第 J 个体素影响时,(1)选取它的透明度步长 St_j , (2)步长迭加 $St_{acc} = St_{acc} + St_j$,

(3)在透明度标尺中选取 $R_{Stacc} = (1 - O_0)^{Stacc}$, (4)则 $C_{acc} = C_{acc} + C_j O_j * R_{Stacc}$.

由于色彩合成过程中 C_j 与 O_j 是成对出现的,我们可预先计算并储存各类物质的 $C_j * O_j$. 这样可省去色彩合成过程中大量的重复 $C_j * O_j$ 操作. 在此,记 $C_j * O_j$ 为 CO_j . 于是,由前往后迭加色彩的递推公式为:

$$C_{acc} = C_{acc} + R_{Stacc} * CO_{new} \quad (13)$$

$$St_{acc} = St_{acc} + St_{new} \quad (14)$$

若储存要求能得到满足,我们可将各类物质 (C_j, O_j) 在各种透明度 $(1 - O_0)^i$ 下的色彩贡献 $C_j O_j * (1 - O_0)^i$ ($i = 0, 1, \dots, n \dots, j = 1, 2, \dots, m \dots$) 均计算并储存,并记为 C_{ij} ,则由前往后迭加色彩的递推公式为:

$$C_{acc} = C_{acc} + C_{ij} \quad (15)$$

此处 i 为 St_{acc} , j 为第 j 类物质.

我们将这里的色彩贡献序列称为色彩标尺.

若同类物质在不同位置体现的色彩 C_i 是可变的,则将其的非透明度 O_i 与 $(1 - O_0)^j$, $j = 0, 1, 2, \dots$, 相结合.

2 基准透明度 $(1 - O_0)$ 的求取

为了计算方便,我们希望透明度标尺的刻度为整数,也就是所有的 St_i 为整数.

由于:(1) St_1, St_2, \dots, St_n 无公因子. 因为若有公因子,不妨设为 $St_0 (> 1.0)$, 则以 $(1 - O_0)^{St_0}$ 为基准,并不影响所生成的图形精度,且可节省空间. (2) $(1 - O_0)^{St}$ 是递减函数.

依照代数理论中求最大公因子的方法,我们可得到一个求基准透明度 $(1 - O_0)$ 的算法.

(1)设 N 类物质的透明度为 $(1 - O_1), (1 - O_2), \dots, (1 - O_n)$, 从中选出非 1.0 的最大者. 不妨设 $(1 - O_1)$ 为最大者.

(2)对于 $(1 - O_i) (i \neq 1)$ 中任一个非 1.0 的 $(1 - O_j)$, 以 $(1 - O_1)$ 为除数,反复进行除法,直至商大于 $(1 - O_1)$, 此商仍记为 $(1 - O_j)$.

(3)若所有的 $(1 - O_j) (j \neq 1)$ 均为 1.0, 则结束. 否则转至(1). 最终,除数 $(1 - O_1)$ 就是透明度基准 $(1 - O_0)$.

上述算法在理论上是正确的,但由于计算机中表达的数据范围是有限的,上述算法可能找不到透明度基准 $(1 - O_0)$.

我们可以采用一种近似计算的方式:

将 $(1 - O_1), (1 - O_2), \dots, (1 - O_n)$ 中最大者选出,定为基准.

不妨设最大者为 $(1 - O_1)$, 此时 $St_1 = 1$, 由 $St_i = \ln(1 - O_i) / \ln(1 - O_1)$, $i = 2, 3, \dots, n$, 分别求 St_2, St_3, \dots, St_n . (此时 St_2, St_3, \dots, St_n 是带有小数的).

然后根据精度要求扩展标尺. 例如扩大 10 倍, 则是以 $(1 - O_1)^{0.1}$ 为基准. 于是 $St_1, St_2, St_3, \dots, St_n$ 均扩大 10 倍, 并舍弃小数位.

3 算法分析

设允许的透明度最小值为 T , 透明度基准为 $(1 - O_0)$, 则由它所建立的透明度标尺有

$\ln(T)/\ln(1-O_0)$ 项,最长也就是 $1.0/T$ 项,例如 $T=0.001$,最长有 1000 项,每一项存放一个浮点数.可见透明度标尺所占空间不多.

若有 K 类物质,则色彩标尺有 $K * \ln(T)/\ln(1-O_0)$ 个色彩.

建立透明度标尺所花费的时间包括:(1)求取透明度基准 $(1-O_0)$ 的时间,(2)依 $(1-O_0)$ 建立标尺的时间:有 $\ln(T)/\ln(1-O_0)$ 次乘法.

建立色彩标尺所花费的时间包括:(1)求取透明度基准 $(1-O_0)$ 的时间,(2)依 $(1-O_0)$ 及各类物质的 (C_i, O_i) 建立标尺的时间:有 $K * (1+\ln(T)/\ln(1-O_0))$ 次乘法.

预处理过程还包括各类物质的非透明度转换为相对于透明度基准的步长的过程.

从上面可知,预处理的时间并不多,并且所建立的标尺与视点无关,可反复利用.

在成像合成色彩时,比较(2)、(3)式和(13)、(14)式及(15)式,可知新方法能很好地提高速度.

其实,新方法是将色彩合成过程中,对于相同非透明度的重复操作进行省略,并尽可能地省略关于相同色彩贡献的重复操作.

4 实验结果

下面是色彩标尺方法与原方法在成像时间上的比较.在色彩标尺方法中,预处理时间为 0.02 秒.

数据大小	256 * 256 * 40	512 * 512 * 40	768 * 768 * 40	1024 * 1024 * 40	1280 * 1280 * 40
色彩标尺方法(秒)	10.61	19.81	34.36	53.81	78.35
原方法(秒)	13.53	24.98	43.19	67.78	99.15
加速率	21.63%	20.69%	20.44%	20.61%	20.97%

图 1、图 3 是用色彩标尺方法生成的,图 2、图 4 是用原方法生成的.

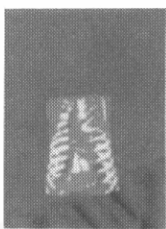


图 1

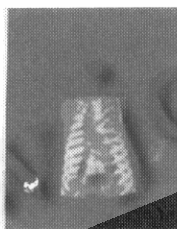


图 2

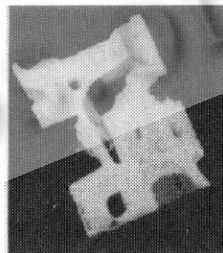


图 3

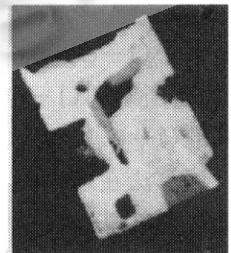


图 4

从实验结果可知新方法能很好地提高成像速度,并且所生成的可视图在质量上与原方法几乎没有差异.

5 结论

本文提出了一种用于体绘制的色彩合成新方法.它依据一个透明度基准,将各类物质的透明度统一起来;并且建立一个透明度标尺或色彩标尺,用以省略成像过程中重复的透明度计算及色彩贡献计算,提高成像速度.由于透明度标尺和色彩标尺与视点无关,这些标尺可

被反复利用。

参考文献

- 1 Lorenson W E, Harrey E C. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm. *Computer Graphics*, July 1987, **21**(4):163-169.
- 2 Fruhauf, M. Volume visualization on workstations: image quality and efficiency of different techniques. *Computer & Graphics*, 1991, **15**(1):101-107.
- 3 Kajiya, J, Brian V H. Ray tracing volume densities. *Computer Graphics*, July 1984, **18**(3):165-174.
- 4 Sabella, P. A rendering algorithm for visualizing 3D scalar data. *Computer Graphics*, Aug. 1988, **22**(4):51-58.
- 5 Sakas, G. Fast rendering of arbitrarily distributed volume densities. In: *Proceedings EUROGRAPHICS'90*, Montreux, Switzerland; North-Holland Publishers, Sep. 1990. 519-53.
- 6 Yagel, R. Kaufman A. Template-based volume viewing. In: KILGOUR A eds. *Proc. EUROGRAPHICS'92*, Cambridge-UK; North-Holland Publishers, Sep. 1992. 153-167.
- 7 Drebin R, Carpenter L, Hanrahan P. Volume rendering. *Computer Graphics*, Aug. 1988, **22**(4):65-74.
- 8 Laur D, Hanrahan P. Hierarchical splatting: a progressive refinement algorithm for volume rendering. *Computer Graphics*, July 1991, **25**(4):285-188.
- 9 Lenz, R. Gudnumdsson B, Lindskog B *et al.* Display of density volumes. *IEEE Computer Graphics and Applications*, July 1986, **6**(7):20-29.
- 10 Westover L. Footprint evaluation for volume rendering. *Computer Graphics*, Aug. 1990, **24**(4):367-376.
- 11 Wilhelms J, Gelder A V. A coherent projection approach for direct volume rendering. *Computer Graphics*, July 1991, **25**(4):275-284.
- 12 Porter T, Duff T. Compositing digital images. *Computer Graphics*, July 1984, **18**(3):253-259.
- 13 Wang Wencheng, Wu Enhua. A new method of compositing colors in volume rendering. In: *Fifth Eurographics Workshop on Visualization in Scientific Computing*, Rostock, Germany, May 30-June 1, 1994.
- 14 Wang Wencheng, Wu Enhua. New approach for color composition in volume visualization. In: Chen Jiannan eds. *Pacific Graphics'94*, Beijing; World Scientific Publishing, Aug. 26-29, 1994. 353-366.

USING TRANSPARENT DEGREE RULER TO COMPOSITE COLORS IN VOLUME RENDERING

Wang Wencheng Wu Enhua

(*Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

(*CAD Laboratory, Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Abstract Color composition is a fundamental step for direct volume rendering in scientific visualization. A new technique is proposed in this paper for compositing colors. By this method, a transparent degree ruler based on a transparent degree unit is built, and it is independent of the view point. After the transparent degrees of all media are transferred to relative steps based on the transparent degree ruler, a new compositing color method is presented to eliminate a lot of repeated calculations to improve the efficiency of visualization.

Key words Scientific visualization, volume rendering, compositing colors, transparent degree ruler.