

文章编号: 1004-4140 (2008) 02-0046-05

## 基于 CBS 扫描数据的多层表面体绘制

韩宇<sup>1</sup>, 夏小牛<sup>2</sup>, 邵立康<sup>3</sup>, 丁厚本<sup>4</sup>

1. 中国人民解放军沈阳炮兵学院, 沈阳 110161
2. 中国人民解放军 72590 部队, 河南 新郑 451150
3. 中国人民解放军合肥炮兵学院, 合肥 230031
4. 东方辐射公司, 合肥 230031

**摘要:** 基于 CBS 扫描数据, 构造了体数据文件, 提出了一种改进的体数据分割方法, 完成了不同物质间边界面的快速精确提取, 实现了对算法的优化。

**关键词:** CBS; 体数据; 多层表面体绘制; 阈值分割

**中图分类号:** TP 391.41      **文献标识码:** A

目前, 康普顿背散射 (Compton Backscatter Scanning, CBS) 技术正在一步步应用于工业无损探伤领域, 但是得到的图像都是二维切割面的信息, 没有空间感, 不能反映被检测物的全局情况。三维可视化技术的应用, 使二维切割面变为立体直观的三维图像, 从而使人们从不同方位角度观察被测物, 并为进一步模拟操作提供交互手段。

本文基于 CBS 扫描数据, 构造出 CBS 体数据文件, 实现了三维体数据的封装与储存, 它是程序实现模型构建与三维显示的基础。基于一种优化的多层表面体绘制算法, 提出了一种改进的阈值分割算法, 实现了算法优化。

### 1 构造 CBS 体数据文件

CBS 扫描仪三维扫描得到的是 0~255 之间的一系列灰度值, 每一个灰度值, 根据 CBS 扫描的顺序, 都可以知道它在三维空间的位置, 即该灰度值的行号、列号、层号。那么这一系列的灰度值就构成了一个空间的三维数据体。采用高斯滤波对数据体图像进行平滑, 去除噪声的影响<sup>[1]</sup>。

体数据虽为三维, 但在机器内部的表示仍是一维数据序列 (数组), 这样可以方便地进行体数据整体处理, 例如后续的旋转及投影变换的构建都是基于体数据进行的。这里制定了体数据的记录方式<sup>[2]</sup>, 如图 1 所示。

在图 1 中, 把均匀结构化数据分割成  $Z$  张二维切片数据, 每张二维切片数据的长和宽分别为  $Y$  和  $X$ 。在此我们用一维数组记录此体数据, 那么数组的长度共有  $X \times Y \times Z$  个字节。对于灰度级为 256 级的灰度图像, 数组中每个元素占一个字节, 即 8 bit。在一维数组中, 数组的第 0 至  $Y-1$  个元素保存在第一断层数据的第一行像素。第  $Y$  至  $2Y-1$  个元素保存在第一断层数据的第二行像素, …… , 即数组的第 0 至  $X \times (Y-1)$  个元素保存的是第一断层数

收稿日期: 2008-02-04。

基金项目: 解放军总装备部通用装备保障部项目 (PYBR200616) 资助。

据的所有像素。第  $X \times Y$  至  $X \times (Y-1) \times 2$  个元素保存的是第二断层数据的所有像素，依次保存至第  $Z$  断层。

利用这种数组记录的方式，我们可以很方便地由体数据的空间位置求出体素在数组中的位置，也可以由体素在数组中的位置方便地反求出其空间位置。

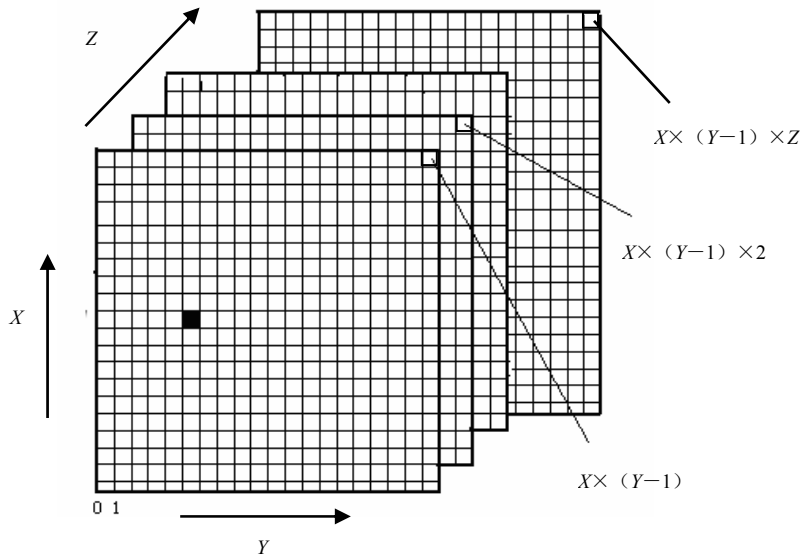


图1 体数据记录方式

## 2 基于分割的三维数据场多表面显示算法

### 2.1 算法实现过程

#### 2.1.1 边界提取

对全部采样点的灰度值进行统计后，设定若干阈值  $d_m (m=1, 2, \dots, n)$ 。如果各采样点的数值以  $f(x_i, y_i, z_i)$  表示，则将满足  $d_m \leq f(x_i, y_i, z_i) \leq d_{m+1}$  条件的采样点归入同一类中。

对任一个切片上的边界体元，可以定义一种数据结构来描述它<sup>[3]</sup>。

$$\text{voxel}[i] = \{x, y, z, tt, op\} \quad (1)$$

其中， $i$  表示切片的序号； $(x, y, z)$  表示边界体素在三维数据场中的位置； $tt$  表示物质边界的类型； $op$  表示赋予该类型物质边界上的体元的阻光度。

#### 2.1.2 法向量的计算

以体元的 8 个顶点处灰度值的平均值  $m$  作为阈值，以视线方向作为体元内插值的方向。设射线与体元的两个交点分别为  $p_1$  和  $p_2$ ，其值为  $v_1$  和  $v_2$ ，则这两条射线与以  $m$  定义的等值面的交点为：

$$p = (1-k)p_1 + kp_2 \quad (2)$$

其中, 当  $v_2 \neq v_1$  时,  $k = \frac{m-v_1}{v_2-v_1}$ ; 当  $v_2 = v_1$  时,  $k = 0$ 。  $k$  必须满足  $0 \leq k \leq 1$ , 才能保证交点在体元内, 否则可以认为该体元对射线到达的象素没有影响。

### 2.1.3 图像合成

图像合成的方式采用从后往前法, 其公式为<sup>[4]</sup>

$$C_{out} \alpha_{out} = C_{now} \alpha_{now} + (1 - \alpha_{now}) C_{in} \alpha_{in} \quad (3)$$

$$\alpha_{out} = \alpha_{now} + (1 - \alpha_{now}) \alpha_{in} \quad (4)$$

其中,  $C_{now}, \alpha_{now}$  表示射线与体元内等值面交点处的颜色和阻光度,  $C_{in}, \alpha_{in}$  代表射线进入交点前的颜色和阻光度,  $C_{out}, \alpha_{out}$  表示叠加上交点处的颜色和阻光度后的相应值。

## 2.2 算法实验结果及分析

基于该算法, 在实验中我们使用了  $450 \times 500 \times 200$  的气泡 (hole) 体数据和  $500 \times 300 \times 250$  的裂隙 (cranny) 体数据。得到的绘制效果如图 2 所示。

从图 2 中可以看出, 该算法相对于传统的体绘制算法, 无疑是反映了三维数据场的全局情况。同时我们不难得出, 在图 2 (a) 中, 气泡边界的提取不够精确, 并且和周围灰度值相差较小的气泡显示效果较差。图 2 (b) 中也出现了类似的问题。

## 2.3 利用改进的阈值分割方法实现边界的提取

上述算法相对于传统的体绘制算法而言, 反映了三维数据场的全局情况, 但是对于灰度值差异较小的区域, 其边界面提取的精度不高, 显示效果不好。另外, 由于该算法中的阈值分割方法需要反复多次才能找到合适的灰度值来设置分割阈值, 因为可视化算法本身运算量很大、速度慢, 所以绘制出合适的图像需要花费大量时间。基于此, 论文中我们提出了一种改进的方法。该方法利用梯度信息来设置一个阈值, 去掉体数据中梯度小的体素, 只保留物体边界处的体素, 然后得到保留下来的体素的直方图。通过该直方图, 就能够精确地找到体数据中突出对象的边界灰度值。利用这个边界灰度值, 就能得到合适的分割阈值, 从而优化了多层表面体绘制算法。

### 2.3.1 改进的方法

在二维图像处理中, 研究人员提出了大量的边缘检测算子, 如: Sobel 算子、Canny 算子等。一个很自然的想法是将这些方法扩展至三维就能检测三维体数据中物体的边界, 从而得到物体的边界值, 利用这些值就可实现对体数据的分割<sup>[5]</sup>。我们设置一个合适的梯度阈值来检测体数据中三维对象的边缘。

设三维体数据的灰度值为  $v(i, j, k)$ ,  $i, j, k = 0, 1, \dots, n$ , 其对应梯度的梯度值为  $g(i, j, k)$ 。体数据的梯度值用中心差分法来估计, 即:

$$g_x(i, j, k) = \frac{v(i+1, j, k) - v(i-1, j, k)}{2} \quad (5)$$

$g_y(i, j, k)$  和  $g_z(i, j, k)$  用类似的方法得到。设阈值为  $T$ , 当体素的梯度值大于  $T$  时, 它

就为物体的边界，即： $g(i, j, k) > T$ 。通过选择合适的阈值，去掉了大部分的体素，只剩下物体的边界体素，这样就能很容易找到物体边缘的精确值。

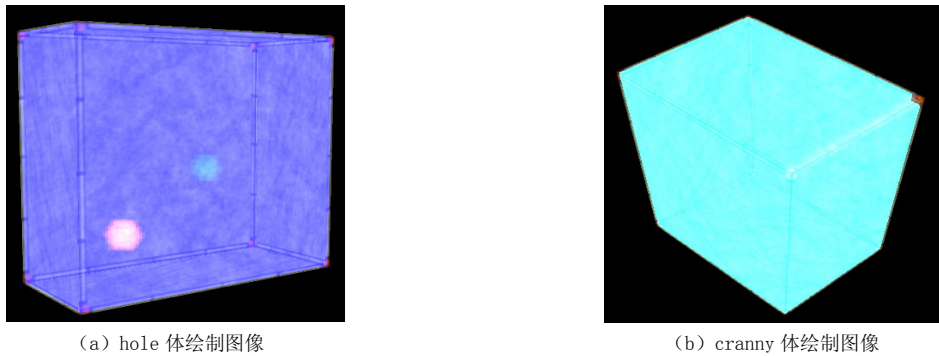


图 2 基于分割算法体绘制图像

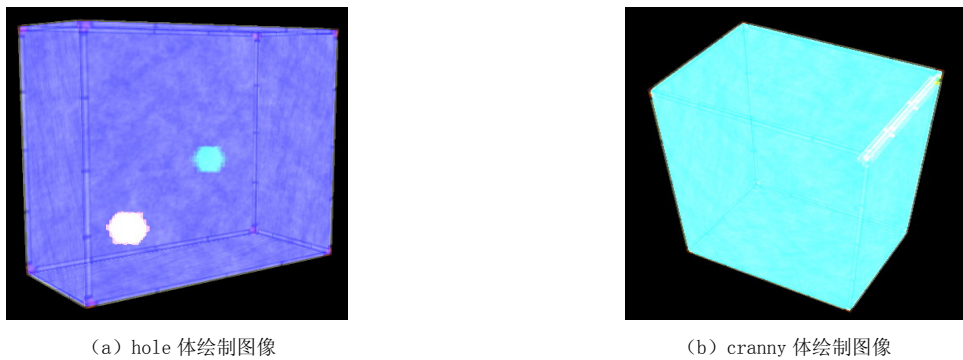


图 3 基于优化算法体绘制图像

### 2.3.2 阈值的选择

在 CBS 图像中，由于不同缺陷之间的灰度值信息也不相同，有的缺陷与周围物质之间的梯度就比较大，而有的缺陷与周围物质之间的梯度比较小。如果使用全局阈值，则只能找到体数据中最突出的边界，其他的边界信息被丢失了。由于上述原因，我们采用了基于邻域的局部阈值选择方法。

设体数据的大小为  $X \times Y \times Z$ ，其中  $X, Y, Z$  分别为体数据的三个坐标轴方向的大小。先将体数据分成大小为  $x \times y \times z$  大小的子体数据，然后求出每一子体数据的梯度的均值  $\mu$  和体素值的方差  $\sigma$ 。当子体数据的体素值的方差很小时，说明该子体数据是由相同的物质构成，没有边界。不妨设阈值为  $T_\sigma$ ，当  $\sigma > T_\sigma$  时子体数据内才有边界。如果子体数据内含有边界，设阈值为  $k\mu$ ，其中  $k$  为正实数。当梯度值  $g(i, j, k) > k\mu$  时，其对应的体素值  $v(i, j, k)$  就为边界体素。然后建立边界体素的直方图，直方图的局部极大值处就是对象的边界。

### 2.3.3 优化后算法实验结果

根据改进后的算法，得到的体绘制图像如图 3 所示。从图 3 可以看出，基于优化算法的体绘制图像有了明显改善，即使当灰度值差异较小的时候，缺陷边界的提取以及显示效

果也相当清晰。

### 3 结论

本文提出了一种改进的阈值分割方法。该方法利用梯度信息来设置一个阈值，去掉体数据中梯度小的体素，只保留物体边界处的体素，然后得到保留下来的体素的直方图。通过该直方图，就能够精确地找到体数据中突出对象的边界灰度值。利用这个边界灰度值，就能得到合适的分割阈值，快速精确地提取出不同物质的边界，实现对算法的优化。

从实验结果我们看出，相对于原算法，基于优化算法得到的可视化图像在边界提取及显示效果方面得到了明显改善，为以后的进一步研究工作打下了坚实的基础。

### 参考文献

- [1] 童利标, 丁厚本. CBS 图像重建中的数据修正[J]. CT 理论与应用研究, 1998, 7(1): 9-16.
- [2] 单霞. DHB2115 医用 CT 机扫描图像的三维重建[D]. 合肥: 中国人民解放军炮兵学院, 2005.
- [3] 诸葛婴, 田捷, 罗希平. 一种三维数据场多表面显示方法[J]. 电子学报, 2001, 29(4): 140-142.
- [4] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 12-15.
- [5] Parra LC. Reconstruction of cone-beam projections from Compton scattered data[C]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2000, 47: 1543-1550.

## Volume Rendering of Multilayer Surface Based on Data From CBS Scanner

HAN Yu<sup>1</sup>, XIA Xiao-niu<sup>2</sup>, SHAO Li-kang<sup>3</sup>, DING Hou-ben<sup>4</sup>

1. Artillery Academy(Shenyang) of PLA, Shenyang110161, China
2. 72590 PLA Troops, Xinzheng 451150, China
3. Artillery Academy(Hefei) of PLA, Hefei 230031, China
4. Eastern Radiation Company, Hefei 230031, China

**Abstract:** Based on CBS scanning data, constructs the file of CBS volume data, brings forward an improved volume data division method to achieve the fast and accurate extraction of fringe surface and optimizes algorithm.

**Key words:** CBS; volume data; multiplayer surface volume rendering; threshold division

**作者简介:** 韩宇(1981—), 女, 2006 年毕业于中国人民解放军炮兵学院, 获硕士学位, 辽宁省沈阳炮兵学院训练部教育技术中心助教, 主要从事计算机图形图像处理, Tel: 13309889564, E-mail: hanyu333@126.com; 夏小牛(1980—), 男, 2006 年毕业于中国人民解放军炮兵学院, 获硕士学位, 人民解放军 72590 部队助理工程师, 主要从事图形处理及 CAD 技术, Tel: 13733844795, E-mail: xxn2003@eyou.com.