

# 土壤显微灰度图像三维重建的研究

鲍苏苏 李 强 李吉桂

(华南师范大学计算机科学系 广州510631)

## The Study on 3D-Reconstruction of Soil Microscope Degree Image

BAO Su-Su LI Qiang LI Ji-Gui

(Department of Computer Science, South China Normal University, Guangzhou 510631)

**Abstract** It is very important to analyze the microstructure of soil for keep away the groundsill fall down and distortion. After the soil samples are dried in the vacancy container, the soil degree image is taken under the electron microscope. As usual, the soil micro-image is processed with 2 D method. In that way, many characters of soil micro-image are loosed. In this paper we introduce how to realize the 3D reconstruction of soil micro-image using OpenGL. By this way, the 3D structure of image can be sighted directly. More stability gist can be found for judging that groundsill has being reached the criterion of sinking whether or not.

**Keywords** OpenGL, Soil degree image, 3D reconstruction

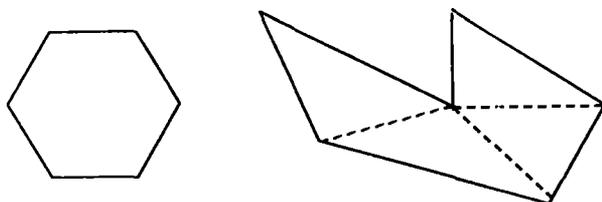
## 1 引言

OpenGL 在绘制三维场景方面具有十分强大的功能<sup>[2,3]</sup>。本文在 OpenGL 基本原理的基础上,利用图像像素灰度值的不同提出一种新的三维重建的算法。

## 2 OpenGL 基本原理

OpenGL 是一种非常优秀的绘制逼真三维物体的技术,可以绘制非常复杂的三维物体,然而它的基本原理并不复杂。

OpenGL 可以十分方便地渲染凸多边形(如图1(a))。现实中往往需求的不是凸多边形,往往是许多十分复杂的图形,如曲面、凹多边形(如图1(b))。OpenGL 不能够直接对凹多边形进行渲染<sup>[2]</sup>,而是要先把凹多边形分成若干个凸多边形(一般为三角形),然后进行渲染。这些分割出来的多边形必须紧密邻接,才能生成一个闭合的曲面。



(a) 凸多边形

(b) 现实中的复杂图形

图1 OpenGL 对图形的渲染

由于多边形的顶点很可能带有不同的颜色信息,OpenGL 在对多边形进行渲染的时候(凹多边形应先被分解成多个凸多边形),可以利用顶点的颜色信息形成渐变效果(如图2)。

在绘制更为复杂的三维物体的时候,也同样利用这个原理,即提供足够多的空间顶点坐标,把这些顶点组合成一系列既不重叠也无间隙的凸多边形并进行渲染。同时要注意顶点

数目和方向矢量。

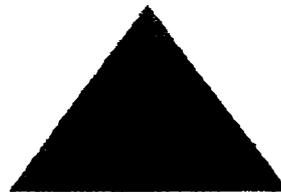


图2 三角面的颜色渐变

### 2.1 采样频率

顶点数目的大小决定了图像质量的高低。作为生成曲面的三角形的顶点,顶点数目越多,就会生成越多的三角形,从而提高生成的曲面的图像质量。

### 2.2 方向矢量

在使用 OpenGL 建立三角面的时候要注意,每个三角面分为正反两面,必须按照正确的顺序给出三角形各个顶点才能生成正确的面。如图3所示,可以看到法线 OF 方向与顶点 A、B、C 给出的关系,它们的关系符合右手定则。

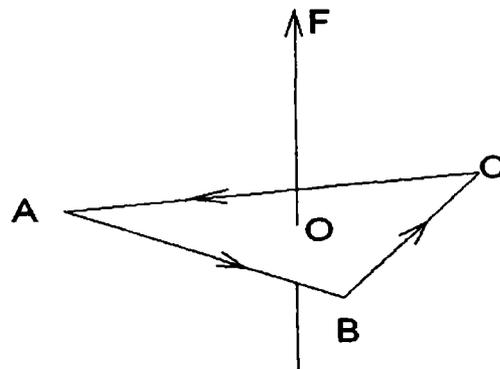


图3 顶点方向与法线的关系

鲍苏苏 博士,副教授,从事数字图像处理与人工智能的教学和科研工作;李 强 硕士,计算机科学与技术专业;李吉桂 教授,从事计算机人工智能、图像处理、远程教育教学和科研工作。

### 3 三维重建

从图4中可以看出这幅土壤的原始图像是一幅灰度图像。图像比较明显地分为两个部分：较亮的部分灰度值较高，代表土壤颗粒，较暗的部分代表颗粒间空隙。通常可以这样理解，像素值越高的点就离我们越近，否则越远。从上面对 OpenGL 基本原理的分析，可以知道 OpenGL 并不是用来进行三维重建的。但是 OpenGL 在绘制三维物体的时候，却是利用三维空间中的顶点绘制一系列既不重叠也无间隙的紧密凸多边形集并进行渲染来完成的。因此，对于图4这幅灰度图像，基于以上介绍的 OpenGL 原理，以像素为单位进行采样，也就是把图像的所有像素作为即将绘制的三维图像的顶点，其中每一个顶点的 X、Y 轴坐标为相应像素的坐标，Z 轴坐标为该像素的灰度值。这样，每一个像素点都成为三维空间中的一个点，并按图5所示对图像进行三角形分割。在图5中，每个黑点代表一个像素，我们通过连线将其划分，形成既不重叠又无间隙的紧邻三角形集。由于每四个点之间的三角划分都是一样的，因此只需研究其中一组： $(0,0,a)$ 、 $(0,1,b)$ 、 $(1,1,c)$ 和 $(1,0,d)$ ，其中 a、b、c、d 为四个顶点像素的灰度值。这四点可划分成两个三角形面。根据右手定则，按照  $(0,0,a)$ - $(0,1,b)$ - $(1,1,c)$  的顺序构造出第一个三角形面，再按照  $(0,0,a)$ - $(1,1,c)$ - $(1,0,d)$  的顺序构造出另外一个三角形面。

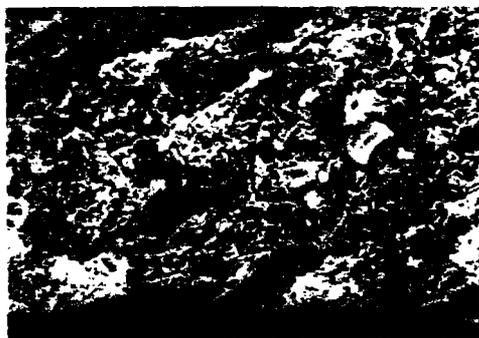


图4 原始图像(土壤的显微照片)

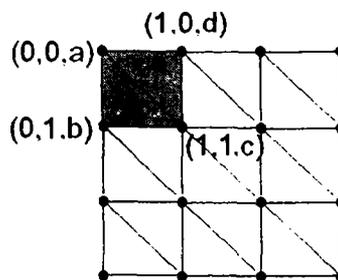


图5 逼近曲面的建立

如此类推，通过循环就可以分割出所有三角形面。

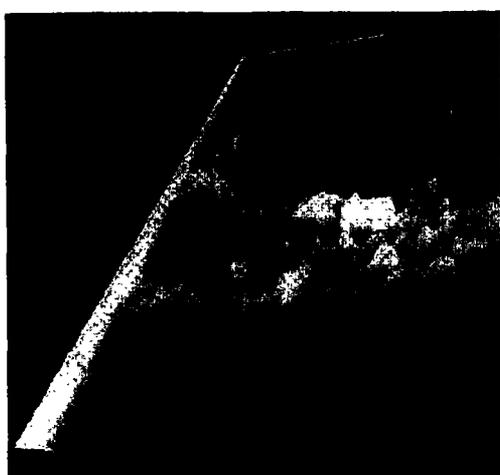
假定每一个像素的灰度值用变量 Z 代替，指定每一个顶点的 RGB 颜色值为  $(Z,Z,Z)$  (代表该顶点的灰度值)。按照以上的分析，用 OpenGL 的方法渲染各个三角形面。如果三角面的三个顶点之间的灰度值不同的话，就会形成渐变效果，这也是能够形成三维重建效果的根本原因。图6就是重建后的效果。



图6 原始图像的三维重建局部效果图

生成了整个曲面后，往往还会有一些不满意的地方，如图7所示。

可以发现图(a)的效果不如(b)好，因为里面的点落差太大了，而且三维效果也不相同。事实上，这只是 Z 轴方向的显示比例不同而已。因此，创建了整个曲面后还要做相应的调整，才能形成一幅效果好的三维图像(图8)。



(a)



(b)

图7 高度控制

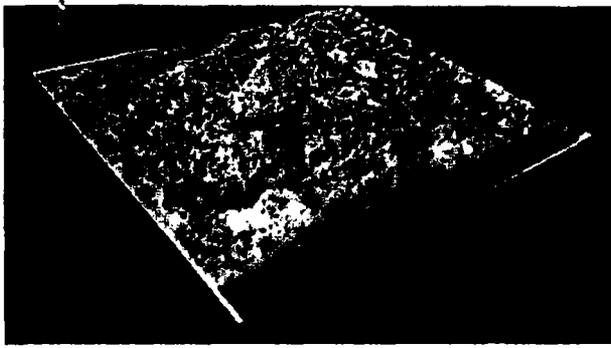


图8 原始图像的三维重建整体效果图

**结论** 本文通过采样、三角化、色彩控制的方法实现了灰度图像的三维重建。实际应用表明,该方法能有效地生成三维效果较好的图像。将图4与图6和图8进行比较,图6和图8更加

突出了土壤颗粒的空间关系。从图8中可以明显地看出,右上部整体高于左部,中部有一个比较深的凹陷。同时,通过三维处理的图像可以进一步放大,还可以对其进行旋转,工程技术人员对于原土壤图像的理解就能够更加深刻,更接近实际土壤空间状况,对于判断地基下沉依据将更符合实际。

### 参考文献

- 1 姜志国. 颗粒显微图像分析方法. 粉体技术, 1996, 2(2): 40~43
- 2 杨铁笙, 等. 图像处理技术用于泥沙颗粒分析的研究. 1999, 5(6): 13~19
- 3 Richard S, Wright Jr., Sweet M, 潇湘工作室译. OpenGL 超级宝典. 人民邮电出版社, 2001, 6
- 4 Woo M, Davis J, Shreiner D 著. The Official Guide to Learning OpenGL, Version 1.2 Publisher: Addison Wesley Professional, 1999, 8

(上接第173页)

$$(C, D) \in R \wedge (C, E) \in R \rightarrow (C, \text{Lub}(D, E)) \in R \quad (5)$$

如果  $C, D, E$  满足(4), 则我们记作  $C, D; E$ 。如果  $C, D, E$  满足(5), 则我们记作  $C; D, E$ 。

**命题3.2** 若二元关系  $R_1$  和  $R_2$  是和-封闭的, 则  $R = R_1 \cap R_2$  是和-封闭的。

**命题3.3** 假设在  $\langle C$  构成一个概念树。对于任意给定的两个陈述  $S = C_1 R_1 C_2$  和  $S' = C_1' R_2 C_2'$ 。如果  $R_1$  和  $R_2$  是和-封闭的,  $C_1 R_1 C_2 \in S$  和  $C_1' R_2 C_2' \in S$ ,  $S_1 = C_1' R_1 C_2 \in S$ ,  $S_2 = C_1 R_2 C_2' \in S$ , 则  $S$  和  $S'$  存在一个联通  $T$ 。其中,  $R = R_1 \cap R_2$ 。

**证明:** 由命题3.2可知  $R$  是和-封闭的。因此  $S$  的特化  $C_1 R_1 C_2$  和  $S_1 = C_1' R_1 C_2$  有一个共同的泛化, 例如  $T_1 = \text{Lub}(C_1, C_1') R_1 C_2$ , 同理  $S_2 = C_1 R_2 C_2'$  和  $S'$  的特化  $C_1' R_2 C_2'$  有一个共同的泛化, 例如  $T_2 = \text{Lub}(C_1, C_1') R_2 C_2'$ , 进而可知  $T_1$  和  $T_2$  存在一个共同的泛化, 例如  $\text{Lub}(C_1, C_1') R \text{Lub}(C_2, C_2')$ 。设  $T = \text{CRD}$ , 则  $T$  是  $S$  和  $S'$  的一个联通。

这个命题表明给定两个陈述  $S = C_1 R_1 C_2$  和  $S' = C_1' R_2 C_2'$ 。如果  $R_1$  和  $R_2$  是和-封闭的, 并且  $C_1, C_1'; C_2, C_1, C_1'; C_2'$  和  $\text{Lub}(C_1, C_1'); C_2, C_2'$ , 则  $S$  和  $S'$  一定存在有意义的联通; 否则不一定存在联通。

再考虑更特殊的情况, 即如果  $\text{Glb}(C_1, C_1')$  和  $\text{Glb}(C_2, C_2')$  是存在的。为了讨论这种情况, 我们定义: 一个关系  $R$  是交-封闭的, 即如果对于任何  $C, D, E \in C$ , 有

$$(C, E) \in R \wedge (D, E) \in R \rightarrow (\text{Glb}(C, D), E) \in R \quad (6)$$

或

$$(C, D) \in R \wedge (C, E) \in R \rightarrow (C, \text{Glb}(D, E)) \in R \quad (7)$$

如果  $C, D, E$  满足(6), 则我们记作  $C, D; E$ 。如果  $C, D, E$  满足(7), 则我们记作  $C; D, E$ 。对于这种特殊的情况, 也有类似命题:

**命题3.4** 若二元关系  $R_1$  和  $R_2$  是交-封闭的, 则  $R = R_1 \cap R_2$  是交-封闭的。

**命题3.5** 假设在  $\langle C$  构成一个层状概念图。对于给定的两个陈述  $S = C_1 R_1 C_2$  和  $S' = C_1' R_2 C_2'$ 。如果  $R_1$  和  $R_2$  是和-封闭的,  $C_1 R_1 C_2 \in S$  和  $C_1' R_2 C_2' \in S$ ,  $S_1 = C_1' R_1 C_2 \in S$ ,  $S_2 = C_1 R_2 C_2' \in S$ ,  $\text{Glb}(C_1, C_1')$  和  $\text{Glb}(C_2, C_2')$  是存在的, 则  $S$  和  $S'$  存在一个联通  $T$ 。

**证明:** 类似于命题3.2的证明。

这个命题表明给定两个陈述  $S = C_1 R_1 C_2$  和  $S' = C_1'$

$R_2 C_2'$ 。如果  $R_1$  和  $R_2$  是和-封闭的,  $C_1 R_1 C_2 \in S$  和  $C_1' R_2 C_2' \in S$ , 并且  $C_1, C_1'; C_2, C_1, C_1'; C_2', \text{Glb}(C_1, C_1')$  和  $\text{Glb}(C_2, C_2')$  是存在的, 另外  $\text{Glb}(C_1, C_1'); C_2, C_2'$ , 则  $S$  和  $S'$  一定存在联通; 否则不一定存在联通。

现在, 令  $R = R_1 \cup R_2$  的。有下面的类似命题:

**命题3.6** 假设在  $\langle C$  构成一个概念树。对于任意给定的两个陈述  $S = C_1 R_1 C_2$  和  $S' = C_1' R_2 C_2'$ 。如果  $R$  是和-封闭的,  $S_1 = C_1' R_1 C_2 \in S$ ,  $S_2 = C_1 R_2 C_2' \in S$ , 则  $S$  和  $S'$  存在一个联通  $T$ 。其中,  $R = R_1 \cap R_2$ 。

**命题3.7** 假设在  $\langle C$  构成一个层状概念图。对于给定的两个陈述  $S = C_1 R_1 C_2$  和  $S' = C_1' R_2 C_2'$ 。如果  $R$  是交-封闭的,  $S_1 = C_1' R_1 C_2 \in S$ ,  $S_2 = C_1 R_2 C_2' \in S$ ,  $\text{Glb}(C_1, C_1')$  和  $\text{Glb}(C_2, C_2')$  是存在的, 则  $S$  和  $S'$  存在一个联通  $T$ 。

**结束语** 本文首先讨论基于概念主干  $H$  的概念联通以及联通分析; 然后, 给出了联通测度所应满足的直观性质, 并给出了上联通测度、下联通测度和混合联通测度, 这些测度满足所提出的直观性质。我们主要从理论上分析了基于概念主干的陈述联通, 给出了判定存在有意义联通的条件, 即命题3.2、3.5、3.6和命题3.7。本文仅讨论了基于概念主干  $H$  的概念联通以及联通测度, 并在此基础上进一步探讨了基于概念主干的陈述联通, 没有探讨基于部分关系的联通分析。下一步, 将继续讨论这类联通以及联通测度。

**致谢** 中科院计算机大规模知识处理课题组的曹存根研究员首先提出知识联通, 并给于作者有益的指导。在此表示感谢!

### 参考文献

- 1 雷玉霞, 陆跃飞. 基于 Concept-Relation 模型的知识联通. 计算机科学, 2002, 29(11): 53~58
- 2 Lei Yuxia, Cao Cungen, Sui Yuefei. Based-CR Knowledge Interconnection in National Knowledge Infrastructure. ICII'2001, C: 134~139
- 3 Gallant S I. Connectionist expert systems. Communications of the ACM, 1988, 31: 152~169
- 4 Richardson S D, Dolan W B, Vanderwende L. MindNet: acquiring and structuring semantic information from text. Microsoft Research Technical Publications, 1998. 网址: ftp://ftp.research.microsoft.com/pub/tr/tr-98-23.doc
- 5 Richardson S. Determining similarity and inferring relations in a lexical knowledge base. [PhD. dissertation]. City University of New York, 1997