

文章编号: 1672-2892(2011)06-0770-04

基于 COM 组件技术的岩心图像在线三维重建

刘良彪, 吴晓红, 王正勇, 何小海, 滕奇志

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 在石油、地质部门, 很多重要的地质参数都来自于钻井出来的岩心, 而岩心图像是钻井得到岩心后的第一手资料, 在对岩心的研究中发挥着重要作用。但只观看岩心表面图像不够直观, 无法看到岩心的实际形状, 因此需要进行三维重建。而在钻井过程中不可避免地造成岩心受到一些破坏。为此提出一种对岩心图像先进行简单修复, 然后采用 OpenGL 技术, 基于 COM 组件的在线三维重建技术, 使得地质专家不必亲临现场就可以查看岩心的三维图像。实践表明, 岩心图像在线三维重建技术可应用于石油和地质部门。

关键词: COM 组件; 岩心图像; 图像修复; OpenGL 技术; 在线三维重建

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

Online three-dimensional reconstruction of core images based on COM component technology

LIU Liang-biao, WU Xiao-hong, WANG Zheng-yong, HE Xiao-hai, TENG Qi-zhi

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: In the departments of petroleum and geology, many important parameters come from the cores of rocks, and the core images which play a key role in the research on cores are the firsthand data after getting cores by drilling. But it is not enough to watch only the surface images of the cores for obtaining the authentic form of them. Therefore, the three-dimensional reconstruction is necessary. And some damages on the cores will inevitably occur during the drilling process. A sort of online three-dimensional reconstruction technology is put forward, which repairs the core images simply and then reconstructs the images by using OpenGL and the online three-dimensional reconstruction technology based on COM component technology. As a result, geologists can get three-dimensional images of the cores without being on the spot. Practices indicate the online three-dimensional reconstruction technology shows a big utility value in the departments of petroleum and geology.

Key words: COM component technology; core images; repair core images; OpenGL; online three-dimensional reconstruction

岩心是石油地质勘探开发研究工作中宝贵的、不可再生的实物资料, 石油地质工作中大量的参数都来源于岩心。岩心出筒后通过岩心扫描仪^[1]得到岩心外表面图像, 再配合相关地质数据一起保存在计算机中以供地质分析使用。但岩心表面图像不直观, 要使地质专家不需亲临现场就能看到逼真的岩心图像, 就需要对岩心图像进行在线三维重建。有学者对图像经过数学变换用 GDI+ 得到伪三维图像^[2-3], 但得到的三维图像效果并不好。除此之外, 还未出现更全面的岩心三维重建算法研究。为此, 本文提出一种基于 COM 组件、OpenGL 技术和 B/S 模式下的在线岩心图像三维重建技术, 采用交互操作的三维重建方法, 实现了岩心图像的在线三维重建、放大缩小和 360° 全方位旋转功能。并且在重建前对受损的图像进行了修复, 使最终得到的重建效果更好。岩心图像三维重建系统采用 OpenGL 技术实现, 采用 OpenGL 纹理贴图技术, 结合当前广泛使用的基于 COM 组件技术的 ActiveX 控件实现三维重建。将 ActiveX 控件嵌套在网页中实现岩心三维图像的在线观看。

1 COM 组件技术简介

COM component(COM 组件)是微软公司为了计算机工业的软件生产更加符合人类的行为方式开发的一种新的软件开发技术。在COM构架下,人们可以开发出各种各样功能专一的组件,然后将它们按照需要组合起来,构成复杂的应用系统。ActiveX是微软对于一系列策略性面向对象程序技术和工具的总称,其中主要的技术就是组件对象模型(COM)。ActiveX控件是一种可重用的软件组件,通过使用ActiveX控件,可以很快地在网址和应用程序中加入特殊的功能。本文使用ActiveX控件技术使得系统的可移植性等方面都得到较大提升。

2 岩心图像修复

基于模板匹配的图像修补算法^[4-5]的主要思想是在整幅图像内搜索与待修补点某邻域匹配的多个匹配区域,然后选取1个匹配区域对应参考点的像素值作为该待修补点的像素值,见图1。

模板 $T(n \times n$ 个像素)叠放在被搜索图 $S(W \times H$ 个像素)上平移,模板覆盖被搜索图区域称为子图 S_{ij} , i 和 j 为左上角被搜索图 S 上的坐标。搜索范围是:

$$\frac{n}{2} \leq i \leq W - \frac{n}{2}, \quad \frac{n}{2} \leq j \leq H - \frac{n}{2} \quad (1)$$

通过比较 T 和 S_{ij} 的相似性,完成模板匹配过程。用式(2)衡量 T 和 S_{ij} 的相似性:

$$D(i, j) = \sum_{a=1}^B \sum_{b=1}^B [S_{i,j}(a, b) - T(a, b)]^2 = \sum_{a=1}^B \sum_{b=1}^B [S_{i,j}(a, b)]^2 - 2 \sum_{a=1}^B \sum_{b=1}^B S_{i,j}(a, b) T(a, b) + \sum_{a=1}^B \sum_{b=1}^B [T(a, b)]^2 \quad (2)$$

式中: a 和 b 分别是模板的像素个数; B 为模板的最大搜索范围。式(2)的第1项为子图的能量,第3项为模板的能量,当模板和子图完全一致时, $D(i, j) = 0$ 。将其归一化,得模板匹配的相关系数:

$$R(i, j) = \frac{\sum_{a=1}^B \sum_{b=1}^B S_{i,j}(a, b) \times T(a, b)}{\sqrt{\sum_{a=1}^B \sum_{b=1}^B [S_{i,j}(a, b)]^2} \sqrt{\sum_{a=1}^B \sum_{b=1}^B [T(a, b)]^2}} \quad (3)$$

当模板和子图相同时,相关系数 $R(i, j) = 1$ 。在被搜索图 S 中完成全部搜索后,找出 R 的最大值 $R_{\max}(i, j)$, 其对应的子图 S_{ij} 即为匹配目标。原图和修复后的图像见图2和图3。

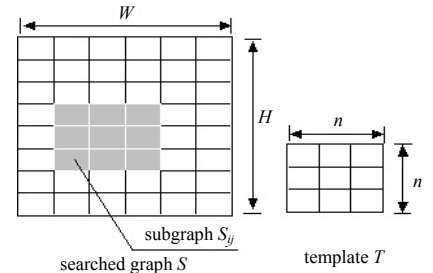


Fig.1 Template matching graph
图1 模板匹配图



Fig.2 Image awaiting repair
图2 待修复图



Fig.3 Repaired image
图3 修复图像

3 岩心图像在线三维重建原理及实现

3.1 岩心图像在线三维重建原理

图像的三维重建有多种方法,本文采用的是交互操作方法。根据射影几何的原理来实现交互操作的三维重建功能。在欧式空间中欧式变换常见的有旋转和平移,欧式变换下保持不变的性质就是欧式几何。在透视投影过程中有个重要的性质是交比不变性:在三维空间中线段的长度比投影后仍然保持不变,本文的三维重建算法正是利用了投影过程中的交比不变性。在透视图投影图像中,无穷远点在图像上的投影称作灭点,所有的平行平面在图像上的投影交于1条直线,该直线称作灭点线。

图4中 v_1 和 v_2 表示灭点,直线 $m_1 n_1$ 和直线 $m_2 n_2$ 为1组平行线在图像上的投影。灭点 v_1 是直线 $m_1 n_1$ 和直线 $m_2 n_2$ 的交点,它们的齐次坐标为: $\tilde{v}_1, \tilde{m}_1, \tilde{m}_2, \tilde{n}_1, \tilde{n}_2$, 用2条直线的叉乘来计算灭点的齐次坐标:

$$\tilde{v}_1 = (\tilde{m}_1 \times \tilde{n}_1) \times (\tilde{m}_2 \times \tilde{n}_2) \quad (4)$$

首先定义1个世界坐标系 XYZ , 空间1点 X 通过1个透视投影矩阵 A 投影到图像平面上的投影 x 可以表示为:

$$x = AX = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4] X \quad (5)$$

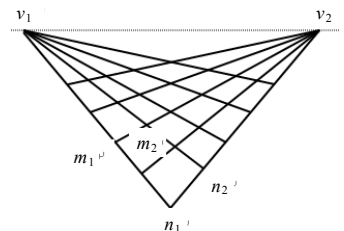


Fig.4 Vanishing point and vanishing point line
图4 灭点和灭点线

式中: $\mathbf{x}=[x\ y\ w]^T$; $\mathbf{X}=[X\ Y\ Z\ W]^T$ 。

假设用 $\mathbf{v}_x, \mathbf{v}_y$ 和 $\mathbf{v}_z$ 分别表示 X, Y 和 Z 方向的灭点, 则:

$$\begin{cases} \mathbf{A}_1 = \mathbf{A}[1\ 0\ 0\ 0]^T = \mathbf{v}_x, \mathbf{A}_2 = \mathbf{A}[0\ 1\ 0\ 0]^T = \mathbf{v}_y \\ \mathbf{A}_3 = \mathbf{A}[0\ 0\ 1\ 0]^T = \mathbf{v}_z, \mathbf{A}_4 = \mathbf{A}[0\ 0\ 0\ 1]^T = \mathbf{o} \end{cases} \quad (6)$$

式中 $\mathbf{o}$ 表示世界坐标原点在图像上的投影, 连接 $\mathbf{v}_x$ 和 $\mathbf{v}_y$ 的灭点线用 l 来表示, 投影矩阵 1,2,4 列构成从参考平面到图像平面的单应矩阵, 因为这个矩阵的秩为 3, 所以世界坐标原点在图像上的投影 $\mathbf{o}$ 不能在灭点线 l 上。因此, 假设 $\mathbf{o} = \mathbf{A}_4 = \ell/\|\ell\| = \hat{\ell}$ (ℓ 为单位灭点线的值), 因此矩阵 $\mathbf{A}$ 可以表示为:

$$\mathbf{A} = [\mathbf{v}_x\ \mathbf{v}_y\ \mathbf{v}_z\ \hat{\ell}]^T \quad (7)$$

其次, 在透视投影得到的图像中, 选择 1 个参考平面, 可以通过该参考平面得到该平面的 1 个灭点和灭点线, 而图像平面上这些平行平面或平行线的距离的投影可以用像素距离来表示, 所以可以根据透视投影的交比不变性来计算现实中的平行平面或平行线之间的距离。图 5 中 E 为摄像机中心, 空间直线 DM 在图像上投影为 dm , P 为相机中心平面和直线 DM 的交点, $\mathbf{v}_L$ 为相机中心平面和直线 dm 的交点, $\mathbf{v}_z$ 为 ∞ 在图像上的投影, 就是投影线 dm 的灭点, 根据交比不变性原理有:

$$\frac{\|M-D\|\|\infty-P\|}{\|M-P\|\|\infty-D\|} = \frac{1}{\|M-P\|} Z = aZ = \frac{\|m-d\|\|\mathbf{v}_z - \mathbf{v}_P\|}{\|m - \mathbf{v}_P\|\|\mathbf{v}_z - d\|} \quad (8)$$

式中 $\|\mathbf{v}_z - \mathbf{v}_P\|$ 表示向量 $\mathbf{v}_z$ 减向量 $\mathbf{v}_L$ 的模。

由于 D 和 M 的齐次坐标可以表示为 $\tilde{\mathbf{D}}=[X\ Y\ 0\ 1]^T$, $\tilde{\mathbf{M}}=[X\ Y\ Z\ 1]^T$, 则 d 和 m 二点的齐次坐标表示为:

$$\tilde{\mathbf{d}} = \mathbf{A}[X\ Y\ 0\ 1]^T, \tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{A}[X\ Y\ Z\ 1]^T \quad (9)$$

设 μ 和 λ 为 2 个未知比例系数, 则上式等价于:

$$\tilde{\mathbf{d}} = \mu(X\mathbf{A}_1 + Y\mathbf{A}_2 + \mathbf{A}_3), \tilde{\mathbf{m}} = \lambda(X\mathbf{A}_1 + Y\mathbf{A}_2 + Z\mathbf{A}_3 + \mathbf{A}_4) \quad (10)$$

由于 $\mathbf{v}_x \cdot \tilde{\ell} = 0, \mathbf{v}_y \cdot \tilde{\ell} = 0, \tilde{\ell} \cdot \tilde{\ell} = 1$, 则 $\mu = \tilde{\mathbf{b}} \cdot \tilde{\ell}$, 综合式(7)和式(10)可得

$$aZ = -\|\tilde{\mathbf{d}} \times \tilde{\mathbf{m}}\| / (\tilde{\mathbf{d}} \cdot \tilde{\ell}) \|\tilde{\mathbf{v}} \times \tilde{\mathbf{m}}\| \quad (11)$$

根据式(11), 如果已知 a , 可以计算得到 Z 的值, 同样如果已知 1 点的 Z 值, 也可以计算出 a 的值。通过这种方式, 就可以利用图像上标出的几个已知点求出 a 的值, 然后利用 a 的值计算出其他点的 Z 值。

3.2 OpenGL 技术及三维重建流程

OpenGL 是一个到图形硬件的软件接口, 包括超过 100 多个图形操作函数, 开发者可以使用这些函数到具体的对象和操作中, 来创建交互式三维应用程序。OpenGL 是一个高性能的图像开发开放库, 它支持网络, 在网络系统中用户可以在不同的终端上运行程序显示图像。OpenGL 提供了一些对三维物体的绘制方式。例如 OpenGL 中的模型绘制过程就多种多样: 格线绘图方式、深度优先网格线绘图方式、反走样网格线绘图方式和纹理绘图方式等。

根据岩心的自身特征和采集到的岩心外表面图像, 选取 OpenGL 的圆柱体作为显示模型, 并对岩心图像进行纹理贴图的方式把图像重建为立体三维重建^[6-7]。具体过程可以参考图 6 所示的岩心立体三维重建流程图。

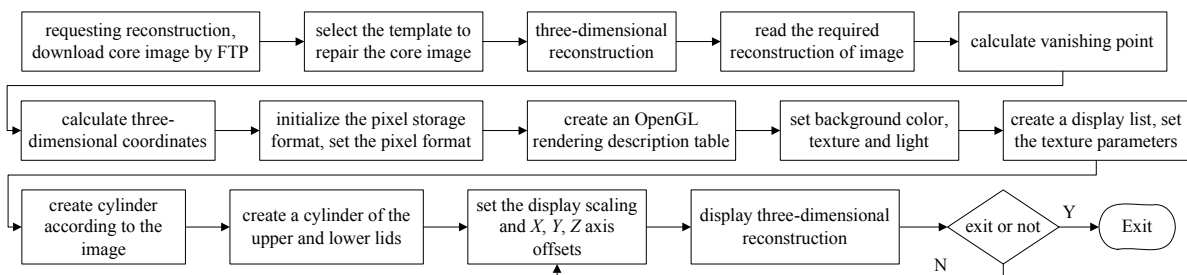


Fig.6 Flow chart of online three-dimensional reconstruction

图 6 在线三维重建流程图

3.3 岩心图像在线三维重建程序设计实现

利用 ActiveX 的相关技术、交互操作的三维重建方法、FTP 等网络开发技术和功能强大的 OpenGL 技术,能够实现真实、交互性强、视觉效果比较好的岩心立体三维重建。本系统是在 Visual Studio2008 下完成的。遵循面向对象的思想,将图像修复、FTP 下载等均写成独立的类,使其具有更好的复用性。运用面向对象相关技术大大提高岩心图像三维重建系统的开发周期,同时提高该系统的可扩展性、可复用性和可维护性。岩心原始图像和立体三维重建图像分别见图 7 和图 8。



Fig.7 Outer surface of core image
图 7 岩心外表面图像

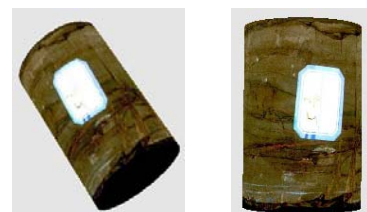


Fig.8 Reconstruction of core image
图 8 岩心三维重建图像

4 结论

本文以石油、地质部门的实际应用需求为背景,综合应用 COM 组件技术、图像修复技术和 OpenGL 三维绘图技术实现了 1 套岩心图像在线三维重建系统。在 Web 页面上用户选择感兴趣的岩心图像观看其真实的三维图像,通过 FTP 等下载技术将服务器上的图像下载到本机,然后对受损的图像进行修复,最后利用 OpenGL 进行三维重建,试验表明,本文提出的方法取得了良好的效果。该系统在重建受损比较严重的图像时效果不是很理想,这也是今后需要努力的地方。

参考文献:

- [1] 吴晓红,徐强. 岩心扫描成像系统的设计与实现[J]. 西南民族学院学报:自然科学版, 2002,28(1):102-105.
- [2] 庄双勇,何小海. 岩心外表面图像在线三维重建[J]. 成都信息工程学院学报, 2006,21(6):806-811.
- [3] 胡述龙. 基于岩心外表面图像三维重建模拟岩心恢复[J]. 大庆石油学院学报, 2003,27(2):17-19.
- [4] Efros A A,Freeman W F. Image quilting for texture synthesis and transfer[C]// Computer Graphics Proceedings,Annual Conference Series,ACM SIGGRAPH. Los Angeles,CA:[s.n.]. 2001:341-346.
- [5] Chan T F,Shen J. Morphologically invariant PDE inpainting[R]. Los Angeles:University of California,CAM Report 01-15, 2001.
- [6] 吕希奎,周小平. 实战 OpenGL 三维可视化系统开发与源码精解[M]. 北京:电子工业出版社, 2009.
- [7] (美)Edward Angel. OpenGL 编程基础[M]. 段菲,译. 北京:清华大学出版社, 2008.

作者简介:



刘良彪(1986-),男,安徽省六安市人,在读硕士研究生,主要研究方向为图像处理与网络通信,email:wxcllb@163.com.

吴晓红(1970-),女,四川省射洪县人,副教授,博士,主要研究方向为图像处理、模式识别.

王正勇(1969-),女,四川省达州市人,博士,副教授,主要研究方向为实时信号处理、图像处理和通信电路.

何小海(1964-),男,四川省盐亭县人,教授,博士生导师,主要研究方向为通信与信息处理、图像处理、机器视觉与智能.

滕奇志(1961-),女,成都市人,教授,博士,主要研究方向为数字图像处理、模式识别和计算机应用等.