

# 基于几何模型与彩色图像融合的地质化石数字化<sup>\*</sup>

Digitizing Geological Fossils by Integration of Geometrical Models and Color Images

李笑岚 孟放 冯洁 查红彬

(北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室 北京 100871)

**摘要** 随着计算机和网络技术的高速发展,各种化石和标本的远程显示系统已成为地质学和古生物学研究的有效工具之一。在这个显示过程中,物体的表面纹理和三维几何信息对于专业工作者鉴定化石和矿石形成的年代和环境非常重要,因此对其建模具有一定的特殊性要求。本文针对这种特殊性,详细介绍我们对三维实测数据与彩色图像进行融合来建立真实感地质化石模型的过程,对在建模过程中所遇到的一些关键问题进行分析,并提出一些解决这些难题的方法,如三维几何数据采集的视点规划、全景纹理图片的合成及其映射等。最后,通过对实物建模的结果显示这些方法的有效性,并对存在的问题进行探讨。  
**关键词** 地质化石,几何模型,彩色图像,图像融合

## 1. 引言

建立真实感三维模型<sup>[1,6]</sup>作为计算机图形学的热点研究之一,已经取得了很多成果。这些成果已被广泛应用于电影特技、三维动画制作、飞行员驾驶模拟系统等实际问题中。物体的模型信息一般包括几何形状与颜色纹理两个部分,而物体表面的很多细节往往很难通过几何信息直接表达,例如皮肤肌理、毛衣表面的绒毛、鸟兽的毛发等。因此,对真实感的要求不仅仅来自于对其几何特征的保存和重现,而且,纹理、颜色方面的信息也非常重要。

在地质学和古生物学研究方面,物体表面纹理的重要性更加突出。对于建立矿石和化石的真实感模型,我们需要从两个角度来考虑。一方面,对专业的古生物和地质工作者来说,为了测定化石与矿石的大小和体积等几何信息,准确的三维几何模型是必不可少的。同时,纹理的每个细微特征对矿石和化石的鉴定都有着极其重要的意义,因此对模型纹理的精确性要求更是非常严格。通过这些细微特征,古生物学家可以判断出化石产生的年代和环境;地质学家可以从中了解到矿石产生的条件、时代等信息。另一方面,对参观数字博物馆的一般网络浏览者而言,强烈的真实感和便利的浏览操作是非常重要的两个要求。但是,目前大多数数字博物馆中的二维图片只能提供物体某个侧面的纹理颜色信息,无法在观众的脑海里留下一个直观、立体的印象,上述的两个要求都很难满足。

我们利用三维扫描设备 FastScan 以及三维动画制作软件 Maya4.0 为北京大学地质学系地质档案博物馆建立了一些矿石和化石的模型,最大程度地保存了物体的几何和纹理信息。在这里,通过对已获取的化石几何模型进行纹理映射,以较小的计算代价实现了细节多、真实感强的三维数字化建模。

该文的第 2 部分主要介绍建立真实感模型的整个过程以及对其中一些问题的解决方法。第 3 部分是一些实验结果,最后给出结论。

## 2. 建模过程

为了得到一个真实感模型,我们需要考虑下述三个问题:(1)在建立几何模型时,应尽可能准确地保存物体几何信息;(2)对物体表面纹理进行全景无缝合成,以得到光照均匀、过渡自然的全景纹理图像;(3)在前两个工作的基础上,通过纹理映射<sup>[2~5]</sup>将几何模型与全景纹理融合,生成具有真实感的数字化模型。整个工作流程可用图 1 表示。



图 1 三维化石建模的基本过程

下面我们分三个部分介绍建模的全过程。

### 2.1 几何建模

首先使用手持式三维激光扫描仪 FastScan 对被测物体进行扫描,得到它的三维几何信息。扫描化石的场景如图 2 所示。此扫描仪由磁场定位系统和激光扫描系统组成。磁场定位系统包括磁场发射器和磁场接收器,激光扫描系统包括激光发射器和激光接收器。在扫描过程中,要求磁场发射器与被测物体应尽可能接近,最远距离不能超过 75 厘米。同时,激光扫描系统与被测物体之间的距离应保持在 15cm 和 75cm 之间。当激光扫过物体表面时,两个 CCD 摄像机和激光扫描点构成三角形,根据三角测距原理,计算得到被扫描点与扫描仪的距离。同时,磁场接收器收到磁场发射器的电磁信号,确定激光扫描仪在整个空间中的位置和姿态。这样,就能计算

<sup>\*</sup> 本课题得到国家 973 课题(G199803606)与高校博士点基金(20010001004)的资助。

出被扫描点的空间几何坐标。因此,在扫描过程中如果保持物体和磁场发射器的相对位置不变,系统本身就可对扫描得到的几何数据进行自动配准。

在扫描过程中,我们应当注意以下几点:

1) 该手持式三维扫描仪通过激光发射、磁场定位来完成对被测物体空间几何坐标的计算。因此,在扫描环境中应避免有强光出现,以防止对测距产生干扰;同时,应将可能改变磁场分布的较大的金属物体,包括计算机在内,置于至少距离整个扫描环境一米以外的场所,否则可能会导致扫描数据的严重失真。

2) 被测物体表面的反射特性的不同要求我们在扫描中选择合适的激光强度。激光太弱,会遗漏很多细节部分的数据;激光太强,数据噪音就会增加。

3) 为方便后期合成,减少物体表面拓扑错误的产生,应当在扫描前做好视点规划,用最少的扫描次数得到高质量的三维数据,减少后期处理的工作量。

图 3(a)是事先没有做视点规划对菊石化石进行扫描得到的结果。可以看到,噪音非常多,而且表面凹凸的几何纹路也不是很清晰;图 3(b)是事先做了视点规划所得到的结果。从结果可看出,噪音明显减少,同时表面凹凸的几何纹路更加明朗。

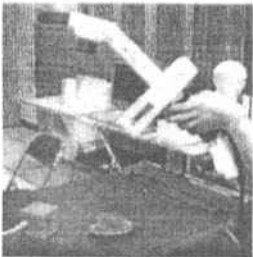
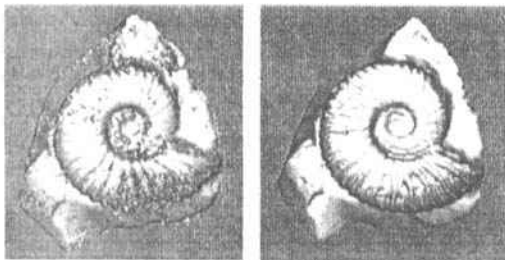


图 2 FastScan 扫描场景



(a)

(b)

(a) 无视点规划扫描 (b) 有视点规划扫描

图 3 视点规划对数据采集结果的影响

通过上述扫描过程所得到的一般是点云数据,或者是结构非常复杂的非均匀网格。为了满足数据配准与纹理映射等后期处理的要求,需要对这些原始数据进行网格重构,以得到便于使用的三角网格。

由于三维扫描仪扫描范围的制约,每次数据采集操作只能扫描到物体表面的一部分,因此必须从多个不同的角度对物体扫描,并将这些不同角度的数据进行拼接。通常,这个过程称作三维数据的配准。如前所述,一般来说,在扫描过程中如果保持物体和磁场发射器的相对位置不变,就不需要进行这个配准操作。但是,物体放在桌面上,总会出现无法扫描到的视觉盲区。为了得到完整的数据,必须改变物体的姿势,因此也就必须进行数据配准。这种配准过程一般包括下述主要操作:在两片数据中的公共部分找到一定数量的对应点,其中一片数据固定不动,另外一片数据进行旋转和平移,使得两片数据上的对应点互相吻合,合并生成一片较大的数据,对其余的扫描数据,重复上述操作,直至得到一个完整的三维几何模型。

虽然我们在数据采集过程中尽量减少空洞、噪音等测量误差的产生,但仍不能完全杜绝,因此仍需对完成的三维模型进行修正拓扑错误、补洞、消除噪音等处理。例如,在激光无法扫描到的物体表面,模型上会出现空洞。我们一般是选取空洞边缘的三个点,将它们连成一个三角形,这样依次操作下去,最后填满所有空洞。噪音一般表现为一些异常的突起和凹陷,局部平滑是去除这些噪音的主要方法。

## 2.2 全景纹理合成

我们用高精度的数码相机采集物体的纹理图像。由于相机视野的限制,为了得到物体全景纹理,我们往往需要从多角度来进行采集。在全景纹理的拼接过程中,为达到单幅图像的均匀光照、多幅图像间的相同色调及其接缝处的自然过渡等目的,都要求在拍摄过程中尽量保持光照的一致性。但在一般的拍摄环境下,光照的一致性很难完全满足。这种光照的变化表现在一幅图像上,就很可能导致物体表面出现阴影、高光点等不利因素;表现在多幅图像上,就会看到几幅图像之间色调的差异。

为了消除阴影和高光点的影响,在拍摄时可在物体周围加上反光镜或挡光板,使被摄物体光照均匀。在拍摄物体多角度图像时,为了保持几幅图像之间色调一致,必须固定照相机的位置,每次只改变物体的姿势。对得到的多幅图像,我们还可以调整每幅图像的亮度等因素再次去除阴影、高光点,羽化图像的边缘以消除图像之间的接缝线,合成一幅完整的、自然过渡的全景纹理图像。

## 2.3 纹理映射

纹理映射的重点是在三维几何模型和二维纹理图像之间建立一一对应的关系。首先,将三维几何模型在某个方向上进行投影变换。然后,选取对应点,将二维纹理图像的像素信息赋予相应的三维数据点。最后,通过计算,将三个顶点颜色的平均值赋予此三角面片,这样就得到了有颜色纹理信息的三维模型。此过程需要多个投影坐标,对三维模型来说,就是模型的不同纹理映射平面。在这些模型纹理映射平面的边界处经常会出现接缝效应,对此目前还

没有通用的消除方法。

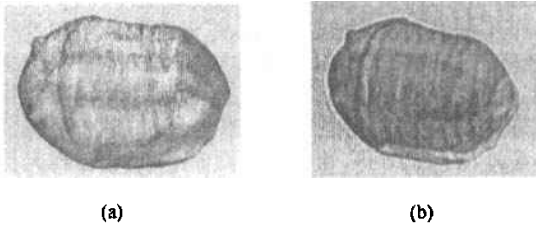


图4 纹理映射边界的选择对映射结果的影响

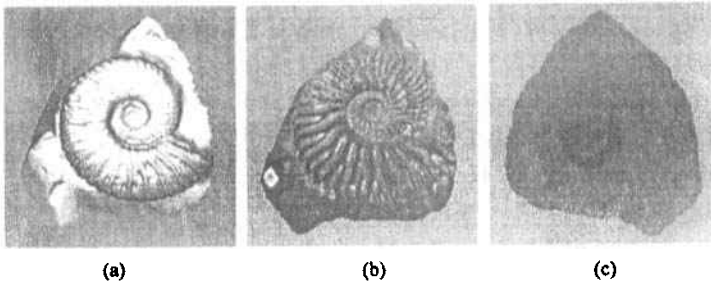
在纹理映射过程中,我们通过观察真实物体的纹理分布,找到物体纹理本身的边界,即颜色和纹理变化剧烈的地方。在模型上标定相应位置,以此作为该模型不同纹理映射平面的交接线,减轻合成以后模型的分片感,实现视觉效果上自然的过渡。图4(a)是任意选择纹理映射边界贴图后的结果。注意三

叶虫模型的上边部分,明显有一条过渡边界;图4(b)是在纹理变化较大区域进行分割贴图后的结果,整个模型看上去过渡比较自然。

### 3. 实验结果

运用上述方法,我们为北京大学地质学系地质档案博物馆建立了数个地质化石的三维数字化模型,其中包括菊石、三叶虫化石和珊瑚化石等。建模过程中的纹理贴图是在 Maya4.0 系统中完成。

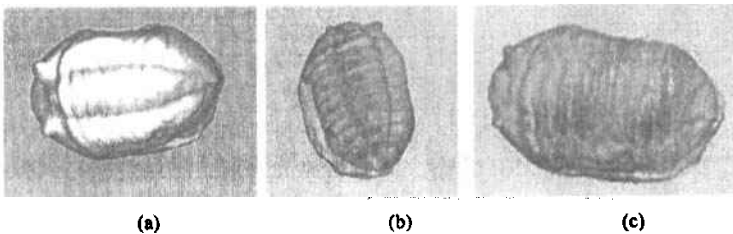
图5(a)为菊石三维几何模型,图5(b)、5(c)是贴上纹理后的菊石模型。其中图5(b)中展示的模型完整保留了菊石的黄色花纹,专家们可根据这些花纹推断菊石形成的年代和环境。在模型的左下角还能清楚地看到化石编号384。菊石纹理变化剧烈处恰是其几何模型边界,纹理映射的边界就选定于此,整个模型实现了符合实物的纹理过渡。菊石模型的相关数据在表1中给出。



(a)几何模型; (b)(c)贴上纹理的菊石模型(两个不同的角度)

图5 菊石模型

三叶虫化石和珊瑚化石的建模结果在图6、7、8中显示,表1中列出了相关数据。



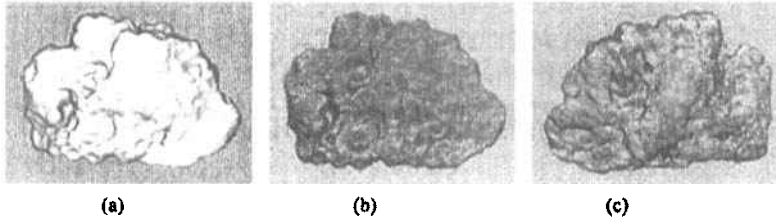
(a)几何模型; (b)(c)贴上纹理的三叶虫化石模型(两个不同的角度)

图6 三叶虫化石模型



(a)几何模型; (b)(c)贴上纹理的珊瑚化石模型(两个不同的角度)

图7 珊瑚化石模型1



(a) 几何模型; (b)(c) 贴上纹理的珊瑚化石模型(两个不同的角度)

图8 珊瑚化石模型2

表1 化石模型中的相关数据

名称 \ 参数	长/宽/厚度 (单位:厘米)	顶点数	三角面 片数	彩色图 像数
菊石	10/9.5/2.5	2509	5000	2
三叶虫化石	6.5/4.5/2.7	28410	56815	2
珊瑚化石1	6.5/6/3.4	15002	30000	4
珊瑚化石2	9.5/6.8/2.5	27559	55114	4

**结论** 由于古生物和地质工作者需要根据化石来鉴定其形成的年代和环境,因此在这个领域的数字化建模有其特殊要求。它不仅需要准确地保留几何特征,还需要精确的纹理信息。本文详细介绍了建立地质化石真实感模型的整个过程,尤其对在建模过程中遇到的困难及其解决方法作了较为详尽的阐述,同时部分解决了模型纹理贴图图中的边界接缝问题,使整个模型的纹理过渡更加自然。通过实例展示了应用这些方法的建模效果。

但是,在纹理边界接缝的处理上仍然存在一些问题。目前我们只是通过观察来确定分界线,这样做存在一定的误差,它可以减轻但不能完全消除分界现象。如何更好地实现物体表面纹理的全景无缝合

成,将作为下一步的研究工作,需要我们进一步探讨和解决。

**致谢** 该研究使用的各种地质化石均由北京大学地质学系地质档案博物馆提供,特此感谢。

### 参考文献

- 1 Bernardini F, Martin L M. High-Quality Texture Reconstruction from Multiple Scans. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, 2001, 7(4): 318~332
- 2 Weinhaus F W, Devarajan V. Texture Mapping 3D Models of Real-World Scenes. *ACM Computing Surveys*, 1997, 29(4): 325~365
- 3 Weinhaus F M, Devich R N. Photogrammetric Texture Mapping onto Planar Polygons. *Graphical Models and Image Processing*, 1999, 61: 63~83
- 4 Neugebauer P J, Klein K. Texturing 3D Models of Real World Objects from Multiple Unregistered Photographic Views. *Computer Graphics Forum*, 1999, 18(3): 245~256
- 5 Heckbert P S. Survey of Texture Mapping. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 1986, 6(11): 56~67
- 6 El-Hakim S F, Brenner C, Roth G. A Multi-sensor Approach to Creating Accurate Virtual Environments. *ISPRS J. of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1998, 53: 379~391

(上接第13页)

- 5 Zhao H, Shibasaki R. Reconstructing Urban 3D Model Using Vehicle-borne Laser Range Scanners. In: *Proc. of 3-D Digital Imaging and Modeling*. 2001. 349~356
- 6 Reed M K, Allen P K. A Robotic System 3-D Model Acquisition from Multiple Range Images. In: *Intl. Conf. on Robotics and Automation*. 1997. 2509~2514
- 7 Mangan A P, Whitaker R T. Partitioning 3D Surface Meshes Using Watershed Segmentation. *IEEE Trans. On Visualization and Computer Graphics*, 1999, 5(4): 308~321
- 8 Abja N. A Transform for Multiscale Image Segmentation by Integrated Edge and Region Detection. *IEEE Trans. Pattern*

- Analysis and Machi-Intelligence, 1996, 18(12): 1211~1235
- 9 Singleton H R, Pohost G M. Automatic Cardiac MR Image Segmentation Using Edge Detection by Tissue Classification in Pixel Neighborhoods. *Magnetic Resonance in Medicine*. 1997, 37(3): 418~424
- 10 Goldenberg R, Kimmel R, Rivlin E, et al. Fast Geodesic Active Contours. *IEEE Trans. On Image Processing*, 2001, 10(10): 1467~1475
- 11 Canny J. Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Trans. On Pattern Anal. Machine Intell.* 1986, 8(6): 679~698
- 12 朱建新. 扫描工程图的轮廓矢量提取. *工程图学学报*, 1997, (3): 46~51