

木质文物三维断层扫描图像处理

赵桂玲^{1,2}, 刘丹¹, 刘祎³, 贺喜¹, 毛磊⁴, 邓宗极^{2*}

(1. 东北农业大学 艺术学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 东北林业大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;
3. 南京林业大学 家居与工业设计学院, 江苏 南京 210037; 4. 黑龙江省木材科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:探索一种对木质文物无损检测与鉴定的有效方法。采用 philips64 排 CT, 对木质工艺品标本-透雕漏窗模型进行三维断层扫描。为了获取高清晰度的三维数据模型, 对 CT 扫描后的原始图像进行预处理, 预处理完成后分别进行面绘制和体会制。结果表明, 通过三维重建, 可以进行木质工艺品内部目标位置的切割。证明本技术可以有效用于木质文物的鉴定与保护。这一技术将会对木质文物鉴定和保护提供重要的数据和模型支持。

关键词:透雕文物; CT 扫描; 分割; 三维重建; 保护

中图分类号: S781.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2018)04-0226-04

Nondestructive Evaluation of Wooden Cultural Relics Based on Three Dimensional Scan and Reconstruction

ZHAO Gui-ling^{1,2}, LIU Dan¹, LIU Yi³, HE Xi¹, MAO Lei¹, DENG Zhong-ji^{2*}

(1. Art Academy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150040, China; 2. Material Science and Engineering College, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China; 3. College of Furniture and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China; 4. Administration of Forest Industry of Heilongjiang, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract: This paper intended to explore an effective method for nondestructive detection and identification of wooden carving window model. The philips64 platoon CT was used to carry out 3D tomography of the wooden handicraft specimen-“carving window model”. In order to get high resolution 3D data model, we carried out three-dimensional reconstruction experiments (including surface rendering and experience system two parts). The results showed that wooden handicraft interior could be visual analyzed through three-dimensional reconstruction. The visualization included any angle and at any position. This technique could be successfully used and popularized in identification and protection of wooden relics and would provide important data and models for the renovation and restoration of woody artifacts.

Key words: engraved wooden relics; three dimensional scan; segmentation; 3D reconstruction; protection

目前国内外用于无损检测的技术主要有 Ross、王立海、岳小泉、梁善庆等利用应力波研究木材缺陷, 研发了 IntelliPost 模型系统。该系统由 2 个模型组: 学习模型。先由工作人员操作仪器识别原木缺陷, 然后系统建立缺陷识别图像规则; 操作模型, 根据第一阶段建立的识别规则, 自动识别原木缺陷, 但是这种方法无法识别原木内部的细纹^[1-6]。李敏

华^[7]等采用手持式数码显微镜对木质工艺品外观拍摄微观与宏观构造图进行的比较分析。但是这种方法无法进行木质工艺品内部的可视化分析。朱晓东^[8]等采用虚拟仪器来测定木材弹性模量; 虚拟仪器技术在木质复合材料无损检测方面具有结果准确、操作简单和成本低等优点。

三维断层扫描相可以清晰获取所扫描木质文物

收稿日期: 2017-08-27 修回日期: 2018-01-10

基金项目: 黑龙江省森林工业总局应用研究项目 (sgzjY2015006)。

作者简介: 赵桂玲, 女, 在读博士, 讲师, 研究方向: 古建筑保护、家具设计等。E-mail: 635353445@qq.com

* 通信作者: 邓宗极, 男, 副教授, 研究方向: 图像处理。E-mail: 3256073977@qq.com

的内部组织结构。以本次试验扫描的“锦鸡牡丹”雕刻件,不仅扫描处理后我们所获取的三维模型与实物高度一致,而且木质试件内部的材质纹理清晰可见。对木质文物进行数字化处理不仅可以实现无损鉴定,同时可以进行三维表达和虚拟展示,而且精确的文物数字模型记录了木质文物原始真实的三维信息和纹理信息,为文物修缮和恢复提供了重要的数据和模型支持^[9-12]。

1 材料与方 法

1.1 试验准备与步骤

第 1 步,准备香樟木制试件,“锦鸡牡丹”雕刻件,合成大漆涂饰,漆膜厚度 0.5 mm,香樟木制试件直径 43.1 cm,雕刻件厚度 1.5 cm。

第 2 步,将准备好的木制文物放入目标 CT 仓。CT 扫描的参数设置见表 1。该试验在三甲医院正常工作日的工作时间在 CT 扫描室进行扫描,扫描外在条件与患者 CT 诊断的室内物理环境相同。试验进行时对 CT 诊断室的噪音、照度进行了同步测试,CT 诊断室的噪音为 11.8 HU、照度为 150 Lux。

第 3 步,验证该方法的有效性,利用 MATLAB 在 Window7 操作系统分割试验。

第 4 步,在 TM-MIS 软件中采用木质文物的 CT 图像进行体绘制和面绘制,分别重建。

第 5 步,在木质文物目标可视化位置进行分割,得到不同位置、不同角度的剖视图。

表 1 64 排 philips CT 主要参数

Table 1 Key parameters of 64 row philips CT

每排等效探测器数量	672 个
探测器排数	64 排
扫描层数	360° 64 层
64 层扫描时探测器覆盖范围	40 mm
数据采集率	4640 幅/单元/360°
最短扫描时间	360° 0.42 s
最薄扫描层厚	0.625 mm
重建矩阵	512×512
功率	60 kW

1.2 三维可视化

由于 CT 木质文物图像中目标物体灰度相近,而且部分目标相互连接,因此适合使用 TVL1 算法^[13-15]。TVL1 算法具有良好的边缘保护性和多尺度分解性,为了图像处理的精度更高,进行如下算法的改良。

首先根据 Bresson 等提出的边缘加权全变分模型: $TV_g(u) = \int \dot{O}_g |u| dx dy$, 然后进行算法的改良。通过改进的三维 TV-L1 分割模型和快速原对偶投

影,再引入离散方法得到了比较理想的分割效果。3DTV1 算法具有良好的边缘保护性和多尺度分解性,计算速度快、精度高,比较适合于木质品 CT 图像的分割^[16]。

3DTV1 具有计算速度快、定位精准等优点,在医学图像分割方面被广泛应用。第 1 步,对 CT 木质文物图像进行滤波处理,使 CT 木质文物图像平滑;第 2 步,基于平滑图像采用 3DTV1 分割;第 3 步,对分割后木质文物图像三维重建。流程如图 1 所示。

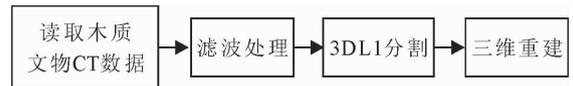


图 1 木质文物图像三维重建流程

Fig. 1 Three dimensional reconstruction flow chart of wood artifacts

为证明本试验方法的有效,在 Window7 操作系统中使用 MATLAB 工具进行试验图像分割。选取 CT 木质“锦鸡牡丹”雕刻件图像数据进行试验来提取木质透雕文物部分。

采用 64 排 CT 扫描该“锦鸡牡丹”雕刻件,扫描层厚 0.625 mm,得到序列图像 690。以第 345 张处理前后的图像做去噪、滤波、分割试验比较。

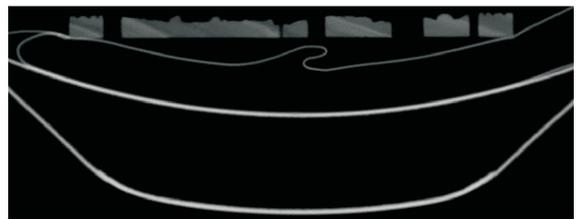


图 2 图像去噪结果

Fig. 2 Image denoising results

1.3 图像去噪

观察原始噪声 CT 木质透雕文物图像,发现所采集的 CT 木质透雕文物图像存在大量伪轮廓点,且图像灰度信息分布不均匀。为了获取清晰度较高的图像,采用总变差滤波对 CT 木质“锦鸡牡丹”雕刻件原始图像进行去噪,得到图 3 相对应的图像结果。可以明显看出,处理后的“锦鸡牡丹”雕刻件区域灰度均匀,组织边界清晰、平滑。

1.4 图像滤波

滤波是对信号中某一特定频带的频率进行滤波的一种运算,在抑制和防止干扰中起着非常重要的作用。滤波分为经典滤波和现代滤波。考虑到经典滤波方法中各种滤波器的特殊性,在试验中应用了双边滤波器。双边滤波器是一种基于图像空间贴近度和像素值相似度的折衷方案。考虑到空间信息和灰度

相似性,可以保留边缘,消除噪声,具有简单、非迭代部分的特点^[15-16]。本文采用双边滤波器进行滤波。

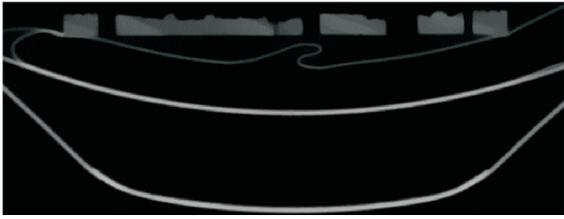


图 3 滤波后结果

Fig. 3 Filtered result

1.5 图像分割

图 4 为采用 3DL1 算法对图 5 分割的结果。使用 3DL1 算法可将木质透雕文物和非木质透雕文物部分分离。



图 4 图像分割结果

Fig. 4 Image segmentation results

1.6 三维重建

三维重建是指计算机系统中主体的数学模型的建立。该技术是计算机系统中处理、操作和分析对象的基础,也是表达虚拟现实的关键技术。三维重建的方法主要有曲面绘制法和体绘制法^[17]。曲面绘制方法是建立物体表面的几何模型,并用计算机图形学技术来表示模型^[18]。结果如图 5 所示。体绘制技术是利用三维离散采样数据集显示图像(三维标量场),其中的几何模型是不需要的^[19]。本研究采用医学图像重建中的行进立方体算法进行体绘制。结果如图 6 所示。体绘制的优点是可以重建内部结构。内部结构如图 7 和图 8 所示。

在试验中,“锦鸡牡丹”雕刻件的 CT 图像进行体绘制和面绘制,分别重建,采用基于 VTK 的医学图像系统的研制。可视化工具包是一种开源软件系

统,广泛应用于三维图形、图像处理和可视化等领域。三维重建结果如图 5 和图 6 所示。



图 5 体绘制结果

Fig. 5 Volume rendering



图 6 面绘制结果

Fig. 6 Surface rendering

2 结果与分析

通过透雕试件纵横 2 个位置的剖切,我们可以清楚的观察到所用木材的结构纹理,从另外 2 个角度的剖切断面可以观察出该试件由 3 层薄木胶压而成。试验证明我们可以在体绘制的基础上,对木质文物进行多角度、多位置的分割。在分割的图片中可以清晰地观察到木质文物的木材纹理状况(图 7、图 8)。

鉴于本次试验,我们可以通过移动 CT 或者 CT 获取三维断层扫描数据,然后进行试验分析,通过三维重建,可以观察出古文物木质构件的用材、内部腐朽或者虫蛀的精确位置、大小、形状等具体状况,从而为下一步的文物保护制定有效的干预方法,为文物保护工作提供科学、有力、可靠的技术支撑。

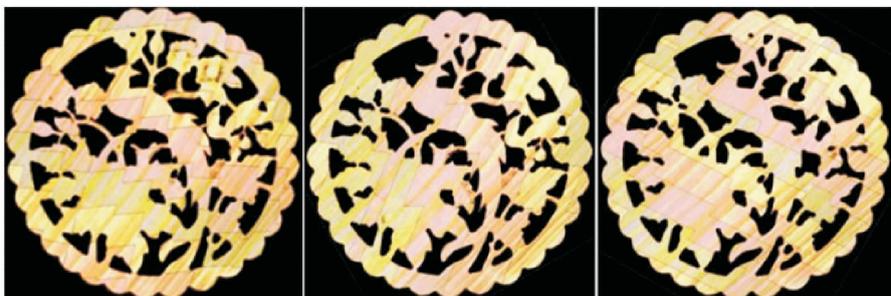


图 7 试件 3 个胶合薄木层纵切木质纹理(1~3 层)

Fig. 7 Specimens of three thin layers of wood glued wood longitudinal texture map (1-3)

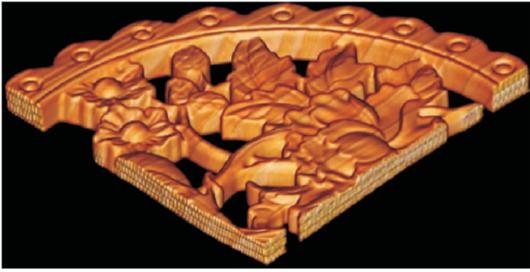


图 8 试件竖切断面木质纹理

Fig. 8 Wood texture map of vertical section

3 结论

通过本次木质文物内部成像试验,专业人士可以通过试验分割不同位置的图像进行木质文物内部材料情况的直观观察,也可以进一步根据木材的断面木纹、木射线等相关信息进行树种鉴定。另外利用专业的三维重建软件导入断层数据,直接生成高精度的三维模型,可以作为虚拟现实技术的前提。这项技术可以应用于博物馆和其他科普展览的虚拟展示。

但是目前三维重建、打印过程需要专业人员参与,并且工业 CT 价格昂贵,因而成本还是比较高的,且工业 CT 机器位置固定,无法随身携带,受扫描物体尺寸限制,不能扫描大型标本。同时缺乏图像自动分割软件,且打印速度较慢也是限制其应用的原因。本次试验的纵断面是由 3 层薄木胶压而成,木材断面不够大,所以图像不是很清晰。如果试验所用试件体积更大,所得试验图像会更加清晰。

参考文献:

[1] 梁善庆,蔡智勇,王喜平,等.北美木材无损检测技术的研究与应用[J].木材工业,2008,22(3):5-8.

[2] 岳小泉,王立海,王兴龙,等.空洞缺陷形状对杉木圆盘电阻与应力波断层成像效果的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2014,40(5):131-137.
YUE X Q, WANG L H, WANG X L, *et al.* Effects of artificial cavity defects on electric resistance tomography and stress wave technology of *Cunninghamia lanceolata* discs [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2014, 40(5):131-137. (in Chinese)

[3] 王立海,孙天用.基于应力波与 X 射线二维 CT 图像原木内部腐朽无损检测[J].森林工程,2011,27(6):26-29.

[4] 梁善庆,赵广杰,傅峰.应力波断层成像诊断木材内部缺陷[J].木材工业,2010,24(5):11-13.

[5] 王学顺,戚大伟,黄安民.基于小波变换的木材近红外光谱去噪研究[J].光谱学与光谱分析,2009,29(8):2059-2061.

[6] EROL S A, LYNN A, SCHMOLDT D L, *et al.* An interactive machine-learning approach for defect detection in computed tomography (CT) images of hardwood logs [C]. Proceedings of Scan Technique 2005 International Conference, Las

Vegas, Nevada, US, 2005:15-27.

- [7] 刘红清,宋刚,李敏华,等.无损检测方法在红木制品识别中的应用[J].西北林学院学报,2014,30(5):203-206.
LIU H Q, SHONG G, LI M H, *et al.* Application of non-destructive testing methods in the hongmu products identification [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 30(5): 203-206. (in Chinese)
- [8] 朱晓冬,王逢瑚,曹军,等.基于虚拟仪器的木材振动无损检测系统研究[J].西北林学院学报,2010,25(5):182-186.
- [9] 张爱武,胡少兴,孙卫东,等.基于激光与可见光同步数据的室外场景三维重建[J].电子学报,2005,33(5):810-815.
ZHANG A W, HU S X, SUN W D, *et al.* 3D Reconstruction of outdoor scenes from synchronized laser range data and visual image data [J]. Acta Electronica Sinica 2005, 33(5): 810-815. (in Chinese)
- [10] 胡伟,潘志庚,刘喜作,等.虚拟世界自然文化遗产保护关键技术概述[J].系统仿真学报,2003,15(3):315-318.
- [11] 胡少兴,查红彬,张爱武.大型古文物真三维数字化方法[J].系统仿真学报,2006,18(4):951-954.
HU S X, ZHA H B, ZHANG A W. Modeling method for large-scale cultural heritage sites and objects using real geometric data and real texture data [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(4): 951-954. (in Chinese)
- [12] 邱兆文,张田文.文物三维重建关键技术[J].电子学报,2008,36(12):2423-2427.
QIU Z W, ZHANG T W. Key techniques on cultural relic 3D reconstruction [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(12): 2423-2427. (in Chinese)
- [13] 梁广顺,汪日伟,温显斌.基于双边滤波与非局部均值的图像去噪研究[J].光子·激光,2015,26(11):2231-2235.
- [14] DAI L, ZHANG Y S, LI Y J. BM3D image denoising algorithm with adaptive distance hard-threshold [J]. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2013, 6(6): 41-50.
- [15] 胡韦伟,汪荣贵,方帅,等.基于双边滤波的 Retinex 图像增强算法[J].图学学报,2010,31(2):104-109.
HU W W, WANG R G, FANG S, *et al.* Retinex algorithm for image enhancement based on bilateral filtering [J]. Journal of Engineering Graphics, 2010, 31(2): 104-109. (in Chinese)
- [16] ZHAO G L, DENG Z J, SHEN J, *et al.* Three-dimensional reconstruction of wood carving cultural relics based on CT tomography data [C]. 3rd International Conference of Pioneer Computer Scientists, Engineers, and Educators, Changsha, China. Springer Verlag, 2017:462-471.
- [17] 崔宝侠,田佳,段勇,等.基于图论分割的肺部 CT 图像的三维重建[J].沈阳工业大学学报,2015,37(6):667-672.
- [18] 侯颖,许威威.增强现实技术综述[J].计算机测量与控制,2017,25(2):1-7.
HOU Y, XU W W. A survey of augmented reality technology [J]. Computer Measurement Control, 2017, 25(2): 1-7. (in Chinese)
- [19] 李霖,曾祥倚,段新桥,等.一种基于体绘制的二元变量体可视化方法[J].武汉大学学报:信息科学版,2017,42,(8):1082-1087.