

研究与开发

基于 CT 扫描的计算机模拟薄木刨切

王厚立,徐兆军,丁建文,业宁

(南京林业大学,南京 210037)

摘要: 基于 CT 扫描和计算机模拟技术,本文介绍了一种制定原木截断和木方锯剖方案的方法。通过扫描获得原木内部结构的相关信息、图象处理和三维重建,在计算机上进行原木模拟刨切加工,并在屏幕上显示虚拟刨切薄木的图象。可对同一木段进行多方案的重复加工,通过对显示图象的比较分析,制定出优化加工方案。

关键词: 原木;断层扫描;图象处理;三维重建;模拟;木方锯剖;优化

中图分类号: TP391, TS653 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2004)06-0009-04

Computerized Simulation of Veneer Slicing Based on CT Scanning

WANG Hou-li, XU Zhao-jun, DING Jian-wen, YE Ning

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: This paper introduces a new processing method for hardwood log veneer based on a computed tomography (CT) image. The process mainly involves log CT scanning, CT image processing, 3-D reconstruction of the log on a computer, simulated flitch slicing, and a virtual display of veneer. The application of the process and the benefits of the method are described. It also analyzes the possibility of applying a CT machine to the wood processing industry. Results showed that the method could be an efficient way to help operators with decisions on log sawing and flitch slicing.

Key words: Log; Computerized tomography(CT) scanning; Image processing; 3-D reconstruction; Simulation; Flitch slicing; Optimization

薄木贴面是人造板表面装饰广为应用的一种方法。刨切薄木的有效出板率在很大程度上取决于原木的合理截断和木方的合理锯制。原木截断要考虑原木的外观以及某些内部缺陷在外观上的征兆显示,力求使节子等缺陷落在木段的端头;木方的锯剖要考虑木段的直径、年轮、木方固定方法及木段外观可见缺陷和可能的内部缺陷。通常原木的截断和木方锯剖依赖于操作工人的观察,依据人工经验对原木内部情况进行判断。然而,对于那些外观无任何征兆的缺陷,则很难判断,直接影响原木截断和木方锯剖的合理性。对木材内部缺陷的位置、大小和分布等准确、全面的了解,无疑将有助于提高木材的出材率和使用价值^[1]。

断层扫描技术为实现准确了解木材、高效利用木材的目标提供了可能^[2,3]。通过断层扫描技术获取原木断面的数字化图象,再借助于计算机对图象数据进行处理,实施原木的 3-D 重建,并模拟对原木进行多种方案的虚拟切削,在此基础上筛选和确定出最优方案。本研究即以原木 CT 扫描图象为基础,通过图象处理、3-D 重建、虚拟切削以及结果的图示化显示,证明了断层扫描技术的运用对改善原木刨切薄木操作的可能性。当将来 CT 扫描技术真正进入薄木刨切生产之时,基于 CT 扫描和虚拟切削的模拟技术将成为有效的辅助手段。

1 试验材料与 CT 扫描图象获取

试材 樟树(*Sassafras* spp.)、色木(*Acer mono Maxim.*)、枫香(*Liquidambar formosana*)和欧洲白

收稿时间:2004-03-15

基金项目:国家自然科学基金委(批准号 30271048)资助。

作者简介:王厚立(1941—),男,南京林业大学木材工业学院教授,博士生导师。

万方数据

腊(*Fraxinus excelsior*), 直径为 20~30 cm, 木段长度、80~120 cm;

CT 扫描 在医学 CT 机上进行。原木截成木段, 逐根放置到 CT 机的床台上, 两端用 V 形木块支撑使其中段抬高脱离床台, 以便于图象处理(图 1)。



图 1 原木 CT 扫描

Fig. 1 Log CT scanning

调整好木段的位置和状态, 用激光参照线确定初始扫描断面。扫描的断层厚度为 2 mm, 各断层之间的间距为 5 mm, 扫描图象的分辨率为 512×512 。由于医学 CT 机床台移动范围有限, 每根木段实际被扫描的是其中段部分, 长 65~70 cm。每根木段的 CT 扫描图象均在 100 幅以上(图 2)。

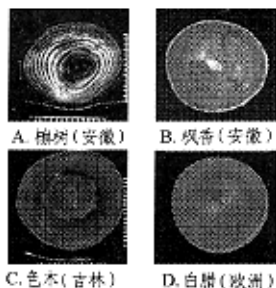


图 2 四种树种原木的 CT 扫描断层图像

Fig. 2 Scanned CT images of four wood species

CT 机获取的扫描图象是原木在该断层上内部特征的数字化信息^[4], 即用某种格式存储在计算机中的信息数据。由于各 CT 扫描仪制造公司所开发的信息数据存储方式和图象数字化处理方式不同, 因而图象文件的存储格式也多种多样, 一般无法直接用普通计算机程序读解。为此, 在扫描图象信息输入计算机前, 需将扫描图象文件的存储格式进行转换^[5]。此外, 每幅图象在输入时要进行适当滤波处理, 以减小噪声^[6]。

2 三维重建和虚拟切削的程序设计原理

原木的 CT 扫描是通过发射 $\times$ 射线在两维平面内穿透某个厚度确定的原木断层而完成的, 所产

生的是一个二维的平面图象^[4]。扫描沿着原木的轴线方向进行, 所有的扫描平面都垂直于原木的轴线。每一次 CT 扫描都会产生一幅横切断面的图象。如果以足够快的频率进行扫描, 扫描断层之间紧密相邻, 那么当一系列断层扫描图象以轴线为中心线叠加起来时, 就形成了重建的原木三维图象。在扫描图象上任意放置一根切割线, 使这根切割线沿着与轴线平行的方向移动, 横切过所有的扫描图象。将这些横切的交点组合, 可形成一个新的、与轴线方向相平行的二维图象, 即为长度方向的剖面, 实际上是原木刨切薄木的等效体, 不仅包含了刨切薄木的外形轮廓边界, 而且展示因早晚材的差别而形成的木材纹理, 以及木材内部在该剖面上的缺陷^[2]。

将基于原木 CT 扫描获取的图象信息数据在计算机上进行三维重建, 实施薄木虚拟刨切, 并显示虚拟刨切所形成的薄木图象的操作过程, 该模拟薄木刨切程序用 VC++6.0 进行编制。

必须指出的是, 由于对原木每隔 5 mm 才进行一次断层扫描, 每个扫描断层的厚度是 2 mm, 因此, 各个断层扫描图象之间存在着间距。当一连串的 CT 扫描断层图象被叠加在一起并实施纵向的薄木虚拟刨切时, 所获得的刨切薄木图象也呈现不连续状态, 存在着缺失(图 3)。为了消除这种情况, 需要对扫描图象进行插值处理, 即在相邻的两个二维断层扫描图象之间插补构造新的二维断层图象^[2]。图象的插值处理可采用最佳近邻法、线性加权平均法、基于形状的插值等多种方法^[5]。本试验采用样条函数进行插值处理, 获得了较为理想的效果。

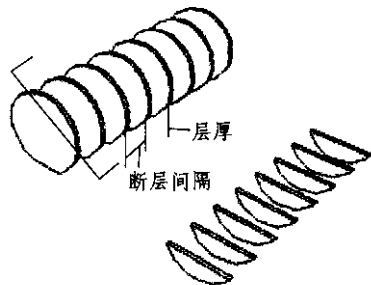


图 3 未插值处理的虚拟刨切图象缺失示意图

Fig. 3 A schematic drawing of a simulated slicing image without interpolation

在我国, 多数采用平面刨切的方法制造薄木, 但旋转刨切法也有应用。本研究设计的程序可显示两种方式的虚拟刨切薄木图象, 供选择和比较。

如前所述, 由于每段木段的实际扫描长度被限制

于 70 cm 之内。因此,作为图象处理的演示实例也只能限于长度在 70 cm 之内的木段,但目前的设计程序可以对更长的木段进行处理。

3 模拟薄木刨切的结果检验

利用本研究设计的程序,通过可供选择的菜单,可图示化地实现原木刨切薄木的计算机模拟,展现刨切薄木的视觉效果。

将原木断层图象数据信息输入计算机,并以适当的文件形式存储。操作者随时调出这些扫描图象,既可以对全部图象快速浏览,也可以对感兴趣的扫描图象逐个研究分析。由于扫描图象是沿着原木长度方向、以一定的间距逐层扫描而获得的,当某个图象上出现节子之类的缺陷时,该缺陷在原木长度方向上的位置即可确定,其在原木横断面上的坐标位置则在 CT 扫描平面图象中直接反映出来。操作者可根据显示的扫描图象结果,合理制定出原木截断方案,尽可能让缺陷被置于木段的端部。

薄木的平面刨切和旋转刨切均可通过计算机模拟演示。操作者可虚拟地将木段锯剖成木方,然后将刨切的相关物件放置到相应的位置上。木方的底面与装料工作台的台面相吻合;固定木方用的夹持器以某个厚度上的粗线条表示,其高度亦即刨切后木方的残余厚度;虚拟刨切刀具(鼠标箭头)可以平移调整,指示出需要刨切的位置(图 4)。对于旋转刨切,还要确定木方旋转的中心位置。

将工作台和夹持器的代替几何形体放在原木扫描

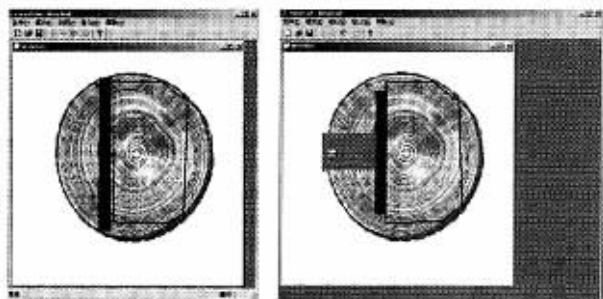


图 4 虚拟木方制作和刨切相关物件的放置

Fig. 4 Simulated processing of flitch and layout of

necessary objects on a CT image

图象上相应的位置后,便可在感兴趣的位置上进行虚拟刨切,刨切得到的薄木可在刨切薄木窗口中显示。从木方表面向着底面逐步移动刀具的位置,也就相应地产生一幅幅刨切薄木的图象(图 5)。

对同一根木段,在完成一组虚拟木方锯剖、薄木刨切操作、得到刨切薄木的图象后,还可根据另一种锯剖方案制得新的木方,重复虚拟刨切操作,获得一组新的刨切薄木图象。改变锯剖方案既可以是锯路的平移,也可以是在横断面内转动某个角度,且其尺寸可以变化(图 6)。虚拟刨切的薄木图象可以完全显示薄木幅面大小及木纹的图案,节子等缺陷也将暴露无遗。

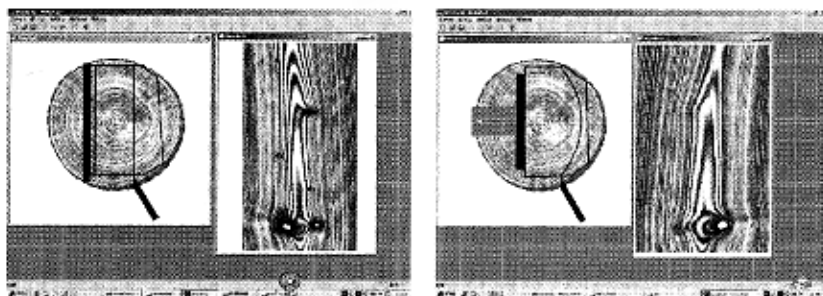


图 5 虚拟刨切薄木的图象

Fig. 5 Images of veneers from fictitious flitch slicing

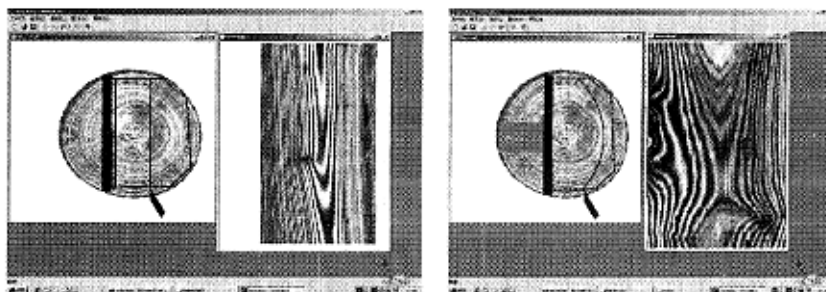


图 6 虚拟刨切方案的变换

Fig. 6 Two images of veneers from different slicing projects

4 讨论与建议

1)通过试验,研究了运用 CT 扫描原木和虚拟切削技术模拟刨切薄木的可能性。本试验中,由于试材原木的直径相对较小,木段的长度较短,实际获取的断层图象的长度受现有设备所限制更短,与刨切薄木的实际生产情况存在差异。同时,所设计的程序也仅仅是用来实现模拟试验的目标,如果将来用于生产,还需作大量的工作进行拓展和完善。尽管如此,现有的试验研究已证明,运用 CT 扫描和虚拟切削技术改善原木刨切薄木加工是可行的;基于 CT 扫描和虚拟切削的计算机模拟技术将成为一种有效制定原木截断和木方锯剖优化方案的辅助工具。

2) 有益于大幅提高工厂的效益。对于刨切薄木生产厂而言,木材原料的高效和高附加值利用是影响经济效益的决定性因素之一。原木在市场上以批量的形式销售,面对原木质量高低混杂的现实,企业的效益取决于如何充分利用质量低劣的原木^[1]。基于CT扫描技术获得的原木断层图象可较准确地反映出木材内部的结构,降低人为因素对木段内部质量的判断失误,从而制定出优化的操作方案,从较低质量的木材原料中生产出较高质量的刨切薄木产品,大幅度地提高工厂的效益。

3) 运行成本有望降低。运用CT扫描技术获取原木断层图象目前相当昂贵,其生产成本的可行性是一个值得关心的问题。然而,人们有理由相信,工业化应用的CT扫描装置的成本将会有较大幅度的降低。第一,CT扫描仪总成本中,计算机及图象处理的相关硬件成本占很大的比例。随着计算机技术和相关技术的发展,计算机信息处理的功能增强,其成本也会大幅度降低;第二,CT扫描仪总成本中的重要组成部分是其研发费用。目前CT扫描设备主要集中在医疗系统,市场空间非常有限,因而每台扫描仪分摊的研发成本费用必然居高不下。如果突破窄小市场空间的约束,以工业化应用的CT扫描系统拓展市场容量,包括木材加工的市场在内,则每台设备的研发成本自然会大幅度地降低。事实上,CT扫描系统近年来在海关、航空航天、精密装备制造等领域也都有应用。在不远的将来,CT扫描仪足以大量地工业化应用,包括木材的加工利用。

就运用CT扫描图象进行模拟刨切薄木而言,也可以通过减少扫描图象的数量来降低运行成本。如前所述,为了使薄木图象具有连续完整的视觉效果,需

要在每两层扫描图象之间增加插值。虽然插值可能会在一定程度上地降低薄木图象的质量,但因原木长度方向是连续的,其内部结构的变化是渐进的,因而不会对于木方锯剖方案的制定有很大的影响。换言之,可适当加大原木断层扫描的层间距,使扫描次数适当减少,从而降低运行成本。然而,过于加大扫描断层的间距,必然会丢失某些原木内部的信息。如何得到最佳组合方案,达到运行成本最低,又保证图象质量的目的,还需进一步地研究。

本研究是基于原木CT扫描图象,运用虚拟现实技术对三维重建后的原木进行模拟薄木刨切,并图示化刨切薄木图象。但木材内部的有些缺陷,如节子,还需要由人工观察和识别。如果能够自动标识这些缺陷,需进一步设计开发出一种算法程序,由计算机自动地拟定出木方锯剖方案,供操作人员选择,从而大大地提高工作效率。这无疑是一个极具挑战性的课题,有待于深化研究。

致谢:原木CT扫描得到南京军区总医院影像科和安徽祁门人民医院的大力支持和帮助,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] Francis G Wagner. Potential Benefits of Internal-log Scanning [C]. 美国第三届国际锯材扫描技术研讨会, 1989.
- [2] Daniel L Schmoldt, Philip A Araman. Interactive Simulation of Hardwood log Ueneer Slicing Using CT Images [J]. Forest Products Journal, 1996(4):41-47.
- [3] 黄心源. 虚拟现实技术与应用[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [4] 康晓东. 现代医学影像技术[M]. 天津:天津科技翻译出版社, 2000.
- [5] 田捷,包尚联,周明全. 医学影像处理与分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [6] 容观澳. 计算机图象处理[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.

欢迎订阅《北京林业大学学报》

《北京林业大学学报》是教育部主管、国内外公开发行的全国性林学与森林生物学学术期刊,拥有以北京林业大学、中国科学院、中国林科院、国内农林院校、综合性大学及国外有关科研机构和大学等单位的研究人员为主的作者队伍。

《北京林业大学学报》是中国自然科学核心期刊、中文核心科技期刊、科技部“中国科技论文统计源期刊”和中科院“中国科学引文数据库统计源期刊”,并被中国科学院列入中国自然科学学术期刊排行榜(农林类)前10名,荣获第2届全国期刊奖提名奖等多项全国优秀期刊奖。

连续多年被著名检索期刊和数据库收录,如:美国工程索引(EI)、《英联邦国际农业文摘》、俄罗斯《科学文摘》、《中国农业文摘》和《中国生物学文摘》等。

双月刊,大16开本,单月月底出版。邮发代号:82-304,国内定价:10元/期,全国各地邮局收订。也可直接汇款向本编辑部订阅。

地址:100083 北京市清华东路35号《北京林业大学学报》编辑部

电话:010-6233 7673-800 刘大林先生

电子信箱:limz@bjfu.edu.cn