

基于时域和频域的层积材强度检测系统

赵索菲 撒 潮 杨 娜 李婷婷

(北京林业大学工学院)

摘要: 为对层积材强度进行无损在线检测,设计了一种基于时域和频域分析法的层积材强度检测系统,并阐述了该系统的检测原理、系统构成和软件实现。该系统采用研华开发的 PCI-1710HG 采集卡进行数据采集,以工控机为数据处理核心,通过提取振动信号对数衰减率和试件各阶固有频率实现层积材强度的检测。最后通过验证实验证明,该系统设计是可行的。

关键词: 层积材;强度;时域分析;频域分析;PCI-1710HG 数据采集卡

中图分类号: TS653.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)03-0116-04

ZHAO Suo-fei; SA Chao; YANG Na; LI Ting-ting. **Laminated veneer lumber strength testing system based on time domain and frequency domain analyses.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) **34**(3) 116-119 [Ch, 11 ref.] School of Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

In order to test the strength of laminated veneer lumber nondestructively and online, a new detecting system which can test the strength of laminated veneer lumber based on time domain and frequency domain analyses was introduced in this paper. Data acquisition card PCI-1710HG was selected to collect data information. Industrial computer was used as the core processor. By extracting vibration signal logarithmic decrement and each natural frequency of samples, the strength of laminated veneer lumber can be tested. Testing principle, system constitutes, software design and experiments were discussed. Also this system designing was validated by experiments.

Key words laminated veneer lumber (LVL); strength; time domain analysis; frequency domain analysis; data acquisition card PCI-1710HG

随着人造板消费需求逐年扩大,优质大径材单板型产品应用也逐渐扩大。面对这种情况,木材工业着眼于利用小径木和人工速生材代替大规格结构用成材,使原本材质低劣的原料通过加工成为优质人造材,以缓解因木材短缺带来的矛盾。单板层积材(简称为 LVL)是一种用低等级木材制成的强度高、性能稳定的优质成材。对层积材的力学强度进行无损在线检测,是科学、合理利用木材,提高木材利用率的重要手段^[1-2]。我国自 20 世纪 80 年代中期开始对单板层积材进行研究,层积材力学强度无损在线检测一直是单板层积材应用中的一个重要技术问题。通过振动法提取振动信号对数衰减率和试件各阶固有频率,能够比较简便、有效地分析层积材弹性特性,进而对层积材强度进行判断。

1 检测原理及方法

由于木材的声传播特性、声共振特性等特征参量与木材的力学性质存在内在联系,因此可以通过提取木材振动时的时域特征参量(振动信号对数衰减率)以及频域特征参量(试件各阶固有频率),配合试件的尺寸、密度等参数对试件力学强度进行检测,并可综合这些特征参量指标对层积材的力学强度进行分级^[3-4]。

本检测系统采用纵向振动法检测试件的强度,其原理如图 1 所示。系统采用了脉冲锤激振的方法:在试件的一个端面上施加一瞬态变化的力,使试件内部产生纵向共振,由传感器在试件的另一端接收响应信号,并经过信号放大、滤波、数据采集、模数转换等环节,将振动信号存入计算机,最后对

收稿日期:2011-07-28

基金项目:国家林业局林业科学技术推广项目([2009]23号)。

第一作者:赵索菲。主要研究方向:微机测控。电话:010-62338143 Email: zhaosuoifei@163.com 地址:100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学 966 信箱。

责任作者:撒潮,教授。主要研究方向:微机测控。电话:010-62338143 Email: sachao56@163.com 地址:100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学工学院。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

信号进行时域和频域分析^[5-6]。

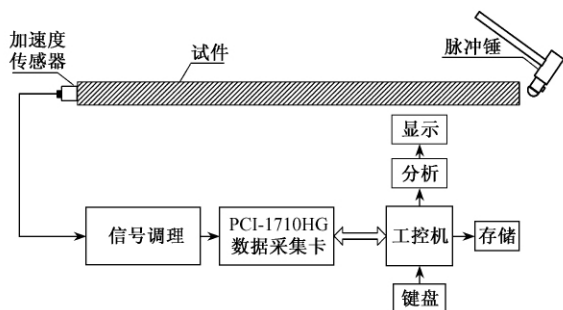


图1 强度检测原理图

Fig.1 Schematic diagram of strength test

2 系统构成

整个系统主要由数据采集卡、脉冲锤、加速度传感器、旋转编码器、光电传感器、信号调理电路、计算机处理系统以及传送带构成。系统的检测装置如图2所示。

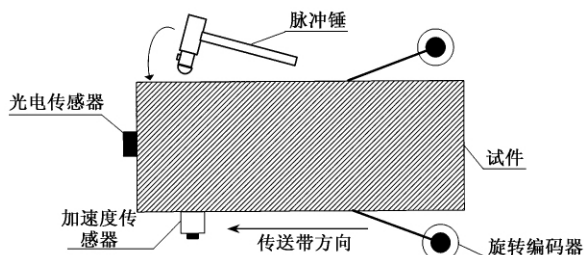


图2 检测装置图

Fig.2 Setup diagram of testing

传送带以 12 m/min 的速度运行,当试件被传送到强度检测区域时,首先由光电传感器感应试件到达,试件到达后启动强度检测程序。这时宽度测量区域内的 2 个旋转编码器会被测量杆带动,分别转过一定的角度,根据 2 个旋转编码器转过的角度、测量杆的长度以及 2 个旋转编码器之间的距离就可以得到板材的宽度。然后安装在试件一侧的脉冲锤敲击试件产生振动,而在试件另一侧的加速度传感器拾取振动信号,由数据采集卡进行数据采集,之后由计算机处理软件来对采集到的振动信号进行处理分析^[7]。

3 系统软件设计

强度检测系统软件以 Visual Studio 2003.NET 为开发环境,采用面向对象程序设计语言 C++ 进行开发。按照系统的具体要求将软件系统的功能模块划分为数据采集模块、数据处理模块、数据显示模块和数据管理模块,如图3所示。

3.1 数据采集模块

选用研华开发的 PCI-1710HG 数据采集卡进行数据采集。该数据采集卡完全符合 PCI 规格

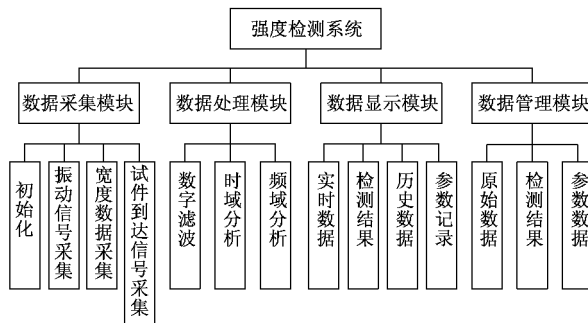


图3 系统功能模块图

Fig.3 System functional module chart

Rev2.1 标准,支持即插即用,提供 5 种最常用的测量和控制功能,即 12 位 A/D、D/A 转换、数字输入、数字输出和时钟定时器/计数器。数据采集时首先要根据设备号打开相应的采集设备,获取设备句柄,与采集卡相关的采集函数都要通过该设备句柄来调用;然后调用相应的数据采集函数;完成了相关的采集工作之后,再调用设备句柄来关闭采集卡。

3.1.1 试件到达信号采集

试件到达信号为数字信号,采用软件触发方式来进行数字量的采集。在采集过程中首先要配置数字量输入通道信息,之后调用相关函数读取相应数字量输入口的值。

3.1.2 宽度数据采集

PCI-1710HG 数据采集卡有计数功能,在采集过程中首先要设置计数通道信息,之后通过函数启动计数功能,最后调用相关函数读取计数结果。

3.1.3 振动信号采集

振动信号的采集是数据采集的核心部分,通过 VC 及 Adsapi 编程实现。因为采样频率比较高,所以采用中断方式对模拟量进行采集。由于采样数据比较多,为防止数据丢失,使用了板卡上的 FIFO。具体的采集过程如图4所示。

3.2 数据处理模块

3.2.1 数字滤波

在对采集到的信号进行分析之前必须要进行消噪处理。数字滤波是一种软件消噪方法,与模拟滤波相比数字滤波具有精度高、通用灵活、适应性强、稳定性高等特点。数字滤波通过巴特沃斯低通滤波算法,对数据采集过程中传送带振动、电源干扰等进行滤波^[8]。

3.2.2 时域分析

时域分析是要计算出振动信号的对数衰减率 δ 。首先要得到等步距离散信号的数据序列,然后编写程序正确地判读每个波形的峰点值以及各个峰点在数据序列中的序列号。对数衰减率大多是根据公式 $\delta = \ln(A_1/A_2) = \ln(A_2/A_3) = \dots = \ln(A_1/A_n)$

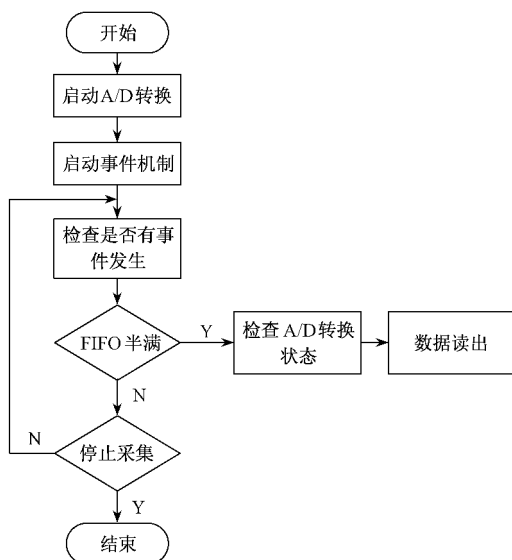


图4 振动信号采集流程图

Fig. 4 Flowchart of vibration signal acquisition

$A_{1+n})/n$ 计算,其中 A 为振幅。本系统采取更为精确并切合实际的计算方法,将 $\{0, 1, \dots, n-1\}$ 设为自变量 $\{\ln(A_1/A_2), \ln(A_1/A_3), \dots, \ln(A_1/A_n)\}$ 设为因变量数组来进行回归分析,取回归方程式的斜率作为振动信号对数衰减率。

3.2.3 频域分析

频域分析是要通过快速傅里叶变换算法来提取试件的1、2、3阶固有频率,再结合试件的宽度和密度计算出试件的动态弹性模量 E 。

$$E = 4L^2\rho(f_n^2/n^2)$$

式中: L 为试件宽度 ρ 为试件密度 f 为振动的固有频率 n 为固有频率阶数。

快速傅里叶变换是把信号从时域转换到频域

的有效数学运算手段。本系统采用的是加窗插值快速傅里叶变换算法(FFT),输入倒序、输出顺序,算法流程如图5所示。在实际采样过程中会出现频谱泄露,因此为了减少误差,需要对FFT进行改进。现有的改进方法很多,本系统选用汉宁窗插值法对FFT进行改进。汉宁窗是3个矩形时间窗的频谱之和,汉宁窗插值法计算量较少,同时可以通过调节采样长度减少误差^[9-11]。

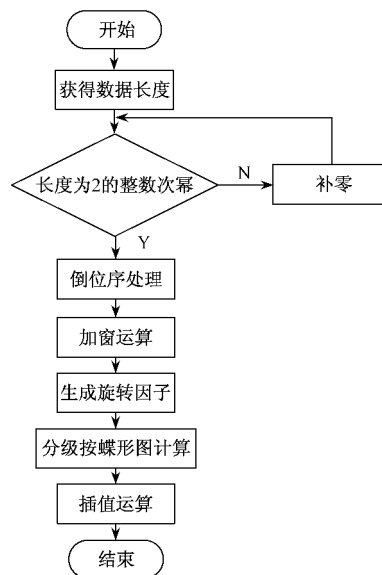


图5 快速傅里叶变换算法流程图

Fig. 5 Flowchart of FFT

3.3 数据显示模块

利用MFC开发的强度检测系统,具有良好的人机对话功能,显示面板设计形象,易于操作,功能定义灵活,有很好的可扩展性。软件的自动检测界面如图6所示。

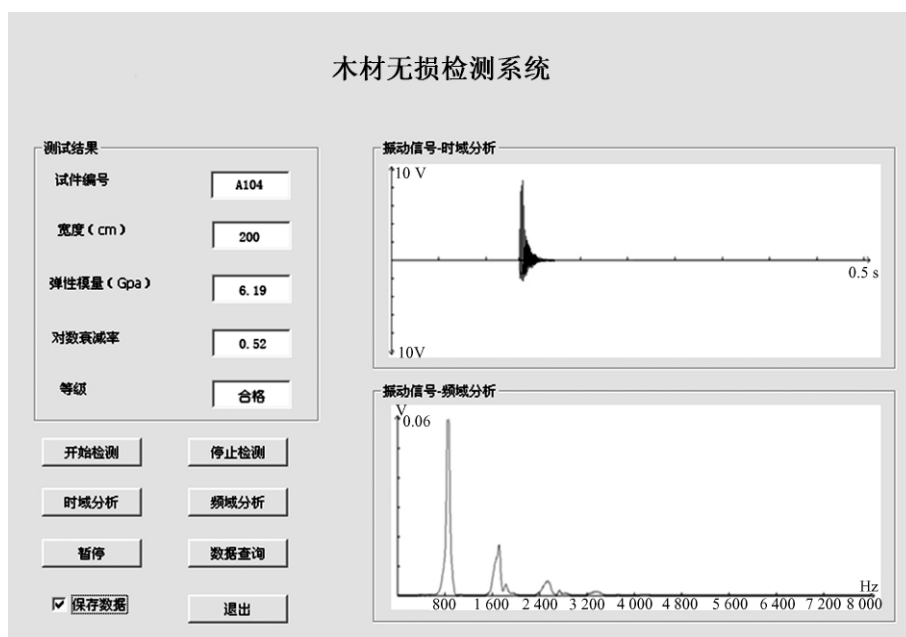


图6 自动检测界面

Fig. 6 Automatic detection interface

3.4 数据管理模块

检测系统主要应用于工厂环境下,测试任务比较繁重,测试对象数量比较多,为了提高系统工作效率,系统会按照日期对文件进行存储。系统每天会新建2个文件。一个用来保存检测结果,另一个用来保存参数记录。为了降低成本并且方便存储,选用了二进制文件格式进行文件存储。检测结果文件中包含了日期、试件编号、时间、软件参数配置信息和所有的检测结果、分析结果以及原始数据。参数文件中包含了参数设置编号、相关检测标准、检测基准值以及检测说明。为了方便用户使用,还添加了数据查询功能,用户可以方便地按照相关编号对记录进行查询。

4 验证实验

实验材料为河北三利公司生产的单板层积材,密度 $0.478 \sim 0.521 \text{ g/cm}^3$,宽度 $1.38 \sim 3.5 \text{ m}$,含水率 12% ,试件层数 23,共 20 件。测试环境温度 25°C 。系统检测到的动态弹性模量和静曲强度的关系如图 7 所示,对数衰减率和静曲强度的关系如图 8 所示(其中静曲强度采用日本产的岛津万能力学实验机测得)。

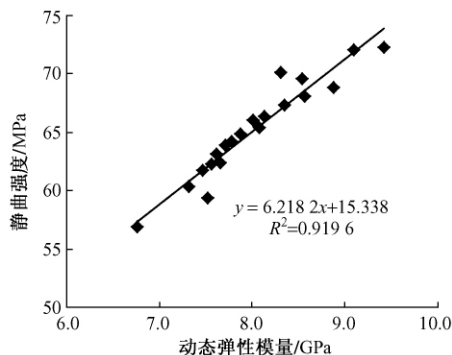


图7 动态弹性模量与静曲强度的关系

Fig. 7 Relationship between dynamic modulus of elasticity and static bending strength

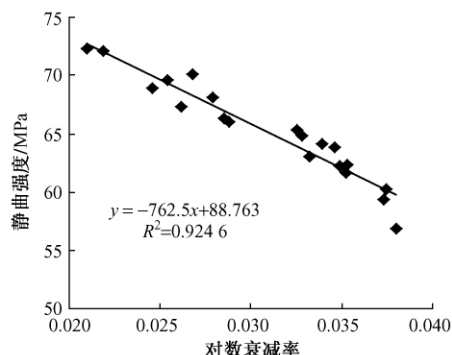


图8 对数衰减率与静曲强度的关系

Fig. 8 Relationship between logarithmic attenuation rate and static bending strength modulus

从图 7、8 可知:系统检测出的试件动态弹性模量和对数衰减率都与试件强度有很高的相关性,相关系数分别为 0.919 6 和 0.924 6;所以,可以根据本系统测得的试件动态弹性模量和对数衰减率对试件强度进行有效的预测。根据多元线性回归分析相关理论及实验数据得出强度预测方程

$$\text{MOR} = 53.952 + 2.993\text{MOE} - 412.712\delta$$

式中: MOR 为静曲强度, MOE 为动态弹性模量。方程相关系数 $R^2 = 0.943$,说明静曲强度变动中的 94.3% 可以由动态弹性模量和对数衰减率解释。 t 检验和 F 检验也分别证明了回归参数以及回归方程的显著性。

5 结束语

本文介绍了一种基于时域和频域分析法的层积材强度检测系统的设计。该系统采用研华开发的 PCI-1710HG 数据采集卡进行数据采集,并以工控机为数据处理核心,通过计算振动信号对数衰减率和试件各阶固有频率实现对层积材强度的检测。通过对系统的软件调试、工业现场运行可知,该系统能够达到对层积材强度在线分等的要求,并具有测量速度快、成本低、抗干扰能力强等优点。该系统能够为科学、合理使用木材提供科学依据。

参考文献

- [1] 王立海,杨学春,徐凯宏.木材无损检测技术的研究现状与进展[J].森林工程,2001,17(6):12-23.
- [2] 郝金城.木材应力分等的机械[J].木工机械,1995(1):11-12.
- [3] 刘镇波,刘一星,于海鹏.木材弹性模量自动检测的研究进展[J].林业科技,2004,29(1):40-50.
- [4] BRANCHERIAU L, BAILLERES H. Natural vibration analysis of clear wooden beams: A theoretical review[J]. Wood Science and Technology, 2002, 36(3): 367-380.
- [5] KANG H, BOOKER R E. Variation of stress wave velocity with MC and temperature[J]. Wood Science and Technology, 2002, 36(1): 412-413.
- [6] WANG J, BIERNACKI J M, LAM F. Nondestructive evaluation of veneer quality use acoustic wave measurement[J]. Wood Science and Technology, 2001, 34(1): 405-419.
- [7] 胡英成,王逢瑚.木材及人造板物理力学性能无损检测技术研究的发展与展望[J].世界林业研究,2002(4):39-41.
- [8] 胡广书.数字信号处理:理论算法与实现[M].北京:清华大学出版社,2005:15-37.
- [9] 张楠,秦开宇.基于 Visual C++ 的实时频谱分析软件设计[J].测控技术,2008,27(1):78-80.
- [10] DAISUKE T. An extended split-radix FFT algorithm[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2001, 8(5): 145-147.
- [11] 史旭光,裴海龙.一种改进的 FFT 方法在谐波测量中的应用[J].计算技术与自动化,2005,24(2):24-26.

(责任编辑 李文军)