

基于声音的纸张柔软度检测方法研究

邱斌¹, 李占锋¹, 王顺利², 武志翔², 钟波²

(1. 西南科技大学 制造科学与工程学院, 四川 绵阳 621010; 2. 西南科技大学 信息工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 针对当前纸张柔软度检测仪器, 存在量程小、适用对象少的问题; 提出一种根据纸张声音能量特征的差异, 采用击点能量法和主成分分析法 (PCA), 实现对纸张柔软度进行分级的方法; 击点能量法给出待测对象柔软度的参考值; 对不同柔软度纸张声音信号分帧, 求取每帧的能量, 利用 PCA 获取特征互不相关的训练集, 在此基础上建立特征矩阵, 然后根据方差最小原则判断待测纸张样本的柔软度级别; 实验表明, 该方法能将同型号打印纸的柔软度分为 5 级, 正确率达到 100%。

关键词: 纸张柔软度; 声音能量; PCA; 柔软度分级

Study on the Method of Paper Softness Detection Based on Sound

Qiu Bin¹, Li Zhanfeng¹, Wang Shunli², Wu Zhixiang², Zhong Bo²

(1. School of Manufacturing Science and Engineering; Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 2. School of Information Engineering; Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: Currently, the paper softness testing instruments have the problem that the range is small and the applicable object is little. A method for grading the softness of the paper was proposed, which is based on the differences of sound energy feature, hit-point energy and principal component analysis (PCA). Firstly, Hit point energy law given the test object softness reference value, and framed audio signals for different softness of the paper and obtained the energy of each frame. Then the PCA was used to obtain characteristics unrelated training set and established the characteristic matrix. Finally, the softness levels of the paper was determined by the principle of minimum variance. Experiments showed that the paper softness could be divided into five different levels, and the correct rated of 100%.

Key words: paper softness; sound energy; PCA; softness levels

0 引言

纸张的应用已不再局限于记录场合的使用, 更广泛应用于像包装、减震、绝缘、物件造型等方面, 而且对于印刷、包装的高档纸及一些特殊用途的纸张柔软度提出了严格的要求。目前纸张柔软度检测仪器量程 (10~1 000 mN) 较小, 仅适用于餐巾纸之类的生活用纸。一些高刚度的特殊用途纸张的柔软度分级, 还处在人工作业水平, 因此, 一种大量程的纸张柔软度检测方法成为业界的关注焦点^[1-2]。

声音是由物体震动产生, 声音能量与物体的结构、材质有关; 纸张的柔软程度同样由这些因素决定。不同柔软度的同类纸张受到恒定的速度、力度敲击时, 产生的声音能量具有差异, 因此可以根据纸张受敲击时的声音能量大小衡量纸张柔软度^[3-4]。

1 基于击点能量和 PCA 的系统模型及其算法

1.1 击点能量法

击点能量法: 根据纸张受敲击瞬间的声音能量衡量其柔软度的大小。纸张敲击示意图, 如图 1 所示, 图中实线表示敲击爪刚接触到纸张, 虚线是敲击爪与纸张脱离的瞬间, 假设整个过程纸张不弯曲。电机速度 3 000 r/min, 敲击爪半径为 70 mm, 敲击爪在纸张上的刮痕长度 l 为 2.4 mm, 敲击爪的线速

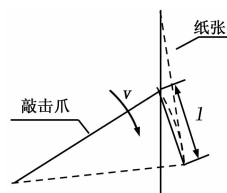


图 1 纸张敲击示意图

度为 v , 敲击爪和样本的接触时间 T :

$$T = \frac{l}{v} = \frac{2.4 \text{ mm}}{21\,980 \text{ mm/s}} = 0.11 \text{ ms}$$

计算声音最大值前后 0.05 ms 时间段内的声音时域能量 E :

$$E = \sum_{t=-0.05}^{0.05} x_t^2$$

其中, x_t 是 0.1 ms 内时域采样点数值, 单位为 mV。以此为阈值判断待测对象的柔软度级别。

1.2 PCA 的识别系统模型

纸张声音包括从纸张开始受到敲击, 经反复震荡至停止整个过程的声音。完整的声音信号包含的数据量大, 可用于区分柔软度的特征较多, 为了提高系统实时性, 必须减少运算量, 从众多特征中提取差异较大的特征。主成分分析 (PCA) 是将多个变量转化为几个综合变量 (即主成分), 每个主成分由原始变量的线性组合生成, 各主成分之间互不相关, 这些主成分能够反映始变量的绝大部分信息, 且所含的信息互不重叠^[5-7]。因此采用 PCA 分析方法提取出纸张声音能量中主要特征组成特征矩阵, 然后根据待测对象的特征向量与特征矩阵的

收稿日期: 2014-02-21; 修回日期: 2014-04-23。

基金项目: 自然科学基金 (11176032); 西南科技大学研究生创新基金 (13ycjj43)。

作者简介: 邱斌 (1987-), 男, 硕士, 主要从事机电一体化方向的研究。

每一列进行比较，确定其柔软度级别。

PCA 识别过程如图 2 所示，图中实线表示的过程为特征提取过程，虚线表示的过程为识别过程，加粗表示公共部分。

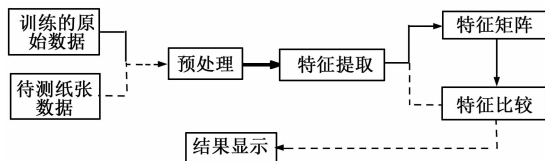


图 2 PCA 识别过程框图

预处理首先对原始数据进行分帧并计算每帧的能量，然后是对每帧的能量进行标准化处理。

特征提取过程也称降维过程^[8-9]，假设有 n 个样品，每个样品有 p 项观测指标： $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ ，设 X ：

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_p \end{bmatrix}$$

其中： $X_i = [x_{1i} \ x_{2i} \ \dots \ x_{pi}]^T, (i = 1, 2, \dots, p)$ 。

用矩阵 X 的 p 项指标 x_1, x_2, \dots, x_p 经线性组合生成综合指标：

$$\begin{cases} F_1 = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{p1}x_p \\ F_2 = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{p2}x_p \\ \vdots \\ F_p = a_{1p}x_1 + a_{2p}x_2 + \dots + a_{pp}x_p \end{cases}$$

简写为：

$$F_j = a_{1j}x_1 + a_{2j}x_2 + \dots + a_{pj}x_p$$

其中， $(j = 1, 2, \dots, p)$ ，式 (2)、(3) 要求： $a_{1j}^2 + a_{2j}^2 + \dots + a_{pj}^2 = 1$ ，且系数 a_{ij} 由以下两个原则决定：

- a) F_i 与 F_j 不相关，其中 $i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, p$ ；
- b) F_1 是 X_1, X_2, \dots, X_p 的所有线性组合情况中方差最大的， F_2 是与 F_1 不相关的 X_1, X_2, \dots, X_p 所有线性组合情况中方差最大的， F_p 是与 F_1, F_2, \dots, F_{p-1} 不相关的 X_1, X_2, \dots, X_p 所有线性组合情况中方差最大的。其中 F_1 为一阶主成分（一阶主元）， F_2 为第二阶主成分（二阶主元），依次类推。

特征比较的过程是待测样本数据经过预处理、特征提取得到的特征向量与特征矩阵的每列向量作比较，方差最小的那列特征向量所属级别即为待检测样本柔软度级别。

2 实验结果与分析

2.1 实验系统与样本

2.1.1 实验装置系统

系统立足于纸张柔软度检测的基本功能和开放性设计原则，由机械装置和系统软件组成。系统的总体方案如图 3 所示。

机械装置由伺服电机带动敲击爪以恒定的速度敲击纸张；纸张发出的声音经双层消音箱的内层多次反射而减弱，消音箱的外层隔离外界环境噪音，为下次声音采集提供安静的环境。

系统软件以 Windows 为软件开发平台，以高速采集卡为核心，利用 VS2008 在此平台上自主编写电机控制模块，位置检测模块、声音采集模块、分类算法以及人机交互界面。

2.1.2 纸张样本声音能量

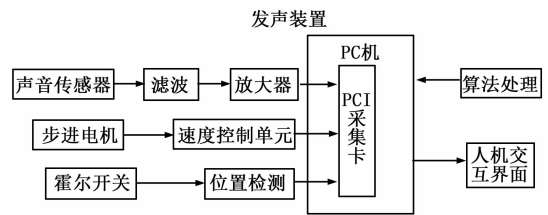


图 3 系统的总体方案图

同种型号的打印纸按柔软度从大到小记为 I、II、III、IV、V，每级柔软度的打印纸各 3 张，每页纸裁剪成 6 张 130 mm × 60 mm 的长方形纸片。实验之前将纸张样本在 20℃、40%—60% 相对湿度下平整放置 24 小时。取不同柔软度的样本各 1 张，固定在实验装置上采集样本受敲击时的声音信号，获得 5 级 × 18 样本声音信号。不同柔软度的声音信号经过分帧之后的能量如图 4 所示。

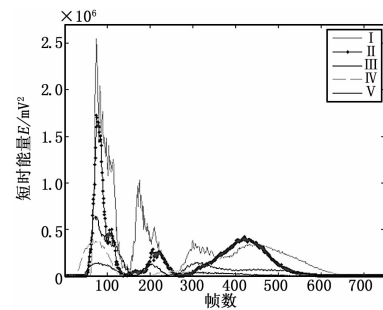


图 4 分帧能量图

3 实验结果与分析

3.1 击点能量法

随机抽取 5 级 × 12 样本计算击点声音能量，以每级的最小能量为标准，对其余样本进行柔软度分类，结果如表 1 所示。

表 1 击点能量法结果

| 柔软度 | 最小能量(×10 ⁶) | 判断 | 判断规则 |
|-----|-------------------------|-----|-------------|
| I | 2.54 | 6/6 | ≥2.54 |
| II | 1.74 | 6/6 | (1.74 2.54] |
| III | 0.63 | 6/6 | (0.63 1.74] |
| IV | 0.36 | 6/6 | (0.36 0.63] |
| V | 0.13 | 4/6 | (0.13 0.36] |

表中最小能量表明：打印纸越硬（柔软度大）声音能量越大，不同柔软度的打印纸声音能量具有明显差异，因此，可以用声音能量表征打印纸的柔软度。

表 1 中除 V 类样本外的准确率均达到 100%，经标准仪器测得 V 类样本的柔软度为 574 mN，其余各类样本均超过 1000 mN。因为 V 类样本太软，受敲击时形变不一致，所以能量变化较大。

3.2 基于 PCA 的柔软度识别

上述的 5 级 × 12 样本声音数据经过预处理提取出特征矩阵，对其余的样本进行柔软度分类结果如表 2，各主成分贡献率如图 6 所示。

(下转第 1983 页)

从图中可以观察到, 当 E 快速变化时, 新型电导增量法能够较快速的跟踪 MPP 的变化, 且系统稳定无震荡。实验结果表明: 新型变步长电导增量法能更加快速准确的实现对光伏系统 MPP 的跟踪。

4 实验

根据图 3 搭建实验电路验证新算法有效性, 选用光伏电池模拟装置太阳能电池, 并在 BOOST 电路输入端并联一个 $360 \mu\text{F}$ 电容以保证太阳能电池能持续供电。系统采用 DSP 芯片 TMS320LF2407A 为 MPPT 控制电路主处理器, 通过改变 BOOST 占空比来实现 MPPT。BO-OST 变换器升压电感为 $900 \mu\text{H}$, 滤波电容为 $0.1 \mu\text{F}$ 并联在 BOOST 电路输出端, 光伏电池内阻为 100Ω , $R_L = 150 \Omega$ 。光照强度突变时的实验波形如图 7 所示。

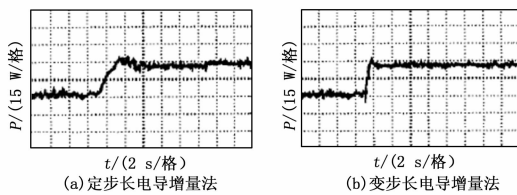


图 7 实验波形

~~~~~

(上接第 1980 页)

表 2 基于 PCA 的识别结果

| 柔软度 | I   | II  | III | IV  | V   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 正确率 | 6/6 | 6/6 | 6/6 | 6/6 | 6/6 |

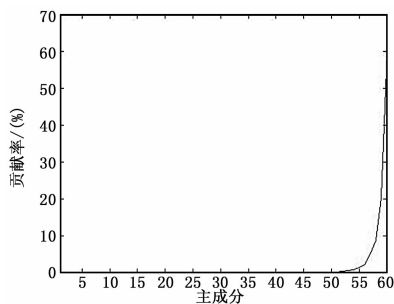


图 5 各主成分的贡献率

虽然 V 类样本受敲击时的瞬间能量有差异, 但是整体能量谱图却相似, 通过 PCA 提取其他特征加以辅助, 5 级柔软度的识别准确率均达到 100%。

#### 4 结论

通过分析纸张声音的差异, 提出基于声音能量的纸张柔软度识别方法, 实现对打印纸 5 级柔软度的识别, 正确率达到 100%。后期研究过程中需要更多的纸张样本进行实验, 提取同级柔软度纸张更多有共性的声音能量特征, 以达到更好的识别效果, 并更好地应用于纸张柔软检测、纸币柔软度清分等

#### 5 结论

此处通过分析光伏电池输出特性  $P-I$  曲线, 并结合现有电导增量法的研究, 提出了一种新颖的变步长光伏系统 MPPT 控制方法, 并进行了仿真与实验。结果表明: 变步长电导增量法在外界环境突变时能快速跟踪到最大功率点, 并有效地减小了稳态时的振荡, 在实际应用中具有良好的应用背景。如何减小 MPPT 系统体积, 提高 MPPT 系统效率, 将是今后深入研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] 田清华, 陈家斌, 张建平. 太阳能热水器自动控制系统的的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2002, 10 (12): 799-800.
- [2] 苏建徽, 余世杰, 赵 为, 等. 硅太阳能电池工程用数学模型 [J]. 太阳能学报, 2001, (4): 409-412.
- [3] 徐鹏飞. 太阳能光伏逆变器的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [4] 赵 宏, 潘俊民. 基于 Boost 电路的光伏电池最大功率跟踪点跟踪控制系统 [J]. 电力电子技术, 2004, 38 (3): 55-57.
- [5] 朱铭炼, 李臣松, 陈 新, 等. 一种应用于光伏系统 MPPT 的变步长扰动观察法 [J]. 电力电子技术, 2010, 44 (1): 20-22.

领域。

#### 参考文献:

- [1] 陈 洋, 李佩仪. 谈谈生活用纸柔软度的测定 [J]. 造纸科学与技术, 2002, 21 (5): 52-53.
- [2] Tao J S, Yan D B, Liu H B, et al. A study of the relation between the relative bonded area and the fiber flexibility [J]. Journal of Shanxi University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2005, 23 (6): 1-4.
- [3] 袁世炬. 纸张结构、性能与影响因素 [J]. 湖北造纸, 2004, (1): 8-10.
- [4] Teranishi M, Omatu S, Kosaka T. Fatigue level estimation of bill by using supervised SOM based on feature-selected acoustic energy pattern [A]. 2008 8th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS) [C]. 2008: 368-373.
- [5] Teranishi M, Matsui T, Omatu S. Neuro-classification of fatigued bill based on tensional acoustic signal [J]. Soft Computing in Industrial Applications. 2005: 173-177.
- [6] 刘素京. 基于核主成分分析和支持向量机的飞机仓音信号识别 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
- [7] Sheng J L, Zhi H Z, Li L C. Feature extraction method based PCA and KICA [A]. 2010 Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing (CINC) [C]. 2010, (1): 349-352.
- [8] 李 晖, 曲仕茹. 基于分层梯度方向直方图和 SVM 的人体识别 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (11): 2602-2604.