

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.017

# 贯流风叶缺陷红外自动检测中噪声抑制的方法

赵腾飞<sup>1</sup>, 宋寿鹏<sup>1</sup>, 李建平<sup>2</sup>

(1. 江苏大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 中山市朗迪电器有限公司, 广东 中山 528427)

**摘要:**针对贯流风叶缺陷红外自动检测中环境光干扰导致检测准确率不高的问题,文章提出了基于调制红外光、差动传感器与 Hilbert-Huang 变换去噪相结合的方法,实现了对贯流风叶注塑缺料缺陷的在线自动检测。首先由红外光源向外发射经过幅值调制的红外光,当红外光透过贯流风叶后,由差动传感器接收透射信号并进行放大,经 A/D 采样后送入单片机,再经过 Hilbert-Huang 变换去噪,提高了缺陷检测信号的信噪比。通过对贯流风叶产品的实际检测,该方法有效地抑制了检测中环境光的干扰,提高了缺陷识别的准确率。

**关键词:**缺陷检测;噪声抑制;红外调制;Hilbert-Huang 变换

中图分类号:TP391 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)05-0073-04

## Anti-Nosing Method in Cross-Flow Fans' Defect Infrared Automation Detection

ZHAO Tengfei<sup>1</sup>, SONG Shoupeng<sup>1</sup>, LI Jianping<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China;

2. Zhongshan Langdi Electronic Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong 528427, China)

**Abstract:**To address the problem of low inspection accuracy in cross-flow fans' defect infrared automation detection cause of interference of ambient light, a new method was proposed to on-line automatically detect cross-flow fans' starving in injection molding, which was combined with modulation infrared light, differential modulation sensor and Hilbert-Huang transform de-noising method. Amplitude modulation infrared light transmitted through cross-flow fan, and transmission signal was received and amplified by differential sensor. Defect detection signal sampled into single chip microcomputer by A/D, was de-noised by Hilbert-Huang transform to improve the signal-to-noise ratio. Cross-flow fans' actual detection shows this method can effectively suppress interference of ambient light in detection and improve the defect recognition accuracy.

**Key words:**defect detection;noise suppression;infrared modulation;Hilbert-Huang transform

贯流风叶是空调、空气净化器等风力输送设备的重要组成部分,其结构的完整性将直接影响风力输送设备的静音性能和气流平稳性。为了保证贯流风叶的产品质量,目前基本上采用人工目视检测<sup>[1]</sup>手段来实现缺陷的检测。但是,由于产品数量大、人工检测易产生视觉疲劳,再加上人工检测易受人为主观因素影响,往往不能保证对产品质量检测的一致性,导致在产业链下游部件不合格率上升,返工等事件时有发生,大大影响了产品合格率,增加了生产成本,也使企业信誉受

到影响。为此,文中设计了一套基于红外传感器的产品缺陷自动检测装置,用来实现对贯流风叶注塑缺料缺陷的在线自动检测。但是,在检测装置的试用过程中,发现红外接收传感器易受环境光的影响,导致检测信号中噪声水平偏高,极大地影响了缺陷检测的准确率。

针对上述问题,文中采用了基于幅值调制红外发射光、差动传感器结构与 Hilbert-Huang 变换去噪相结合的方法,可有效地降低检测信号的噪声水平,提高缺

收稿日期:2015-02-11;修回日期:2015-03-31

作者简介:赵腾飞(1990),男,江苏泰兴人,硕士研究生,研究方向为工业在线智能化检测故障诊断技术及设备。E-mail: zhaotf2011@163.com

陷检测的准确率。

### 1 贯流风叶缺陷红外自动检测原理

在贯流风叶的注塑成型过程中,由于生产工艺、模具磨损等原因会出现缺料、缺叶等缺陷,如图1所示。

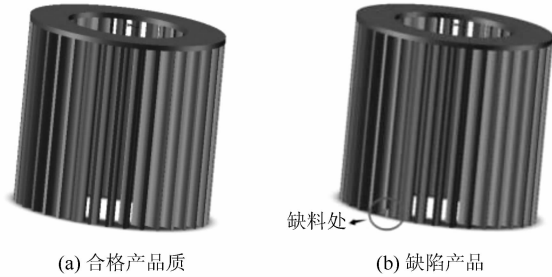


图1 贯流风叶结构图

Figure 1 Structure chart of cross-flow fan

为了能够自动检测贯流风叶注塑缺料缺陷,设计了一套基于红外传感器的缺陷自动检测装置。检测系统的工作原理:将贯流风叶放置在旋转检测台上,两侧分别放置红外光源和红外接收传感器;红外光源发射红外光,透过贯流风叶后,接收传感器接收透射信号,经过信号处理电路,由A/D采集送至单片机处理,并进行有无缺陷判别;当存在缺陷时,透过叶片的光强发生变化,结合检测信号参数特征,就可以进行缺陷的识别。检测系统功能组成框图如图2所示。

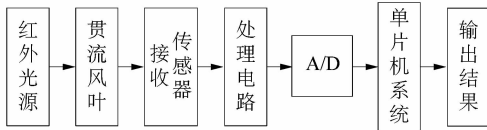


图2 检测系统组成框图

Figure 2 Constitution diagram of detection system

### 2 检测中环境光影响

检测系统中,光源发出的红外光的波长范围为880~1 030 nm,接收传感器能够接收到的光谱范围为600~1 200 nm,如图3所示。图中,  $T_a$  为环境温度,  $I_F$  为发射传感器的工作电流。而可见光主要涉及日光和灯光等环境光源,其波长范围一般为380~780 nm。由此可知,接收传感器光谱与可见光谱有交叠区域。由于可见光光强会随时间、空间及自然现象的变化而变化,所以会对接收传感器产生影响。并且由于这种环境光干扰是随机的,所以对缺陷的识别非常不利。

### 3 噪声抑制方法

考虑到环境光对检测的影响,在选取接收传感器时,选择了与环境光交叠区域较小的红外接收传感器,但从其光谱分布看还是存在一定的交叠区域。为此,

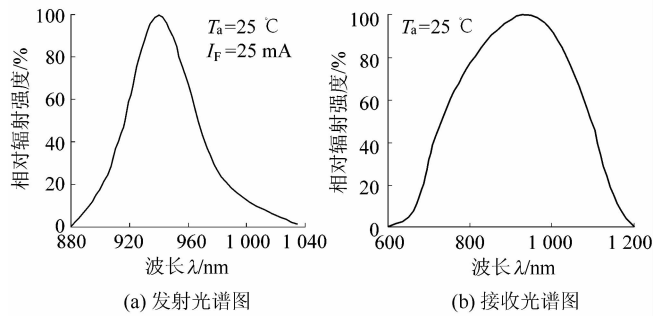


图3 检测系统中发射与接收光谱

Figure 3 Emission and receiving spectrum of detection system

通过理论分析与实际测试对比,采用组合方法来去除环境光的干扰,达到了比较好的效果。首先,将红外发射光进行了幅值调制,然后在接收端采用了差动传感器结构,最后又通过在单片机中运用基于 Hilbert-Huang 变换的去噪方法,最终将环境光的干扰降低,提高了缺陷识别的准确率。

### 3.1 红外调制发射技术

光电检测电路中光源一般采用恒流发射和光强调制发射<sup>[2]</sup>2种方式。由于光源波动、温度影响以及外界光干扰,光源恒流地实现比较困难,所以采用红外光强调制的方式。红外调制<sup>[3]</sup>是指通过调幅、调频、调相等方式改变红外光参量的过程。调制可使红外光携带信息,使其具有与背景不同的特征以便抑制背景光的干扰以及检测系统中的固有噪声。文章采用振幅调制的方式,一般来说红外光源的辐射强度与工作电流成线性关系。信号发生电路产生调制信号后,通过电流调制电路来驱动红外光源工作,图4所示为电流调制电路。由运算放大器的“虚短虚断”以及相应计算推导可得

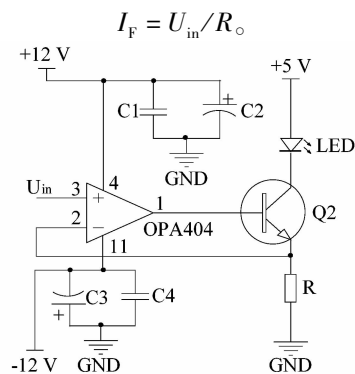


图4 红外光源电流调制电路

Figure 4 Current modulation circuit of infrared light source

式中:  $I_F$  为发射传感器的工作电流;  $U_{in}$  为电路输入调制电压;  $R$  为参考电阻。

调制后的红外检测信号抗干扰能力得到增强,但在实际检测时仍发现其会受外界环境光影响,调制后测得的接收信号如图 5 所示。由图可知,在有外界光时接收信号向上发生漂移,影响后期检测信号的处理判断。

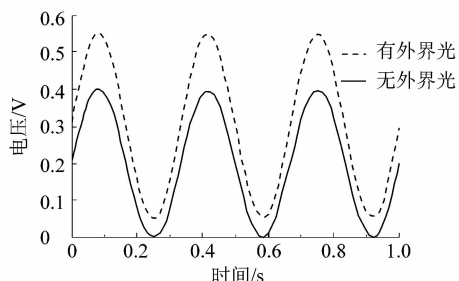


图 5 调制后的接收信号

Figure 5 Modulated received signal

### 3.2 差动传感器技术

考虑到单光源调制后,接收传感器仍受环境影响,因此设计采用双光源<sup>[4]</sup>调制,通过 2 路信号差分来消除环境光影响,其功能结构示意图如图 6 所示。2 路接收信号差分解调后由 A/D 采集信号送至单片机处理。图 7 所示为实际产品检测中差分解调后的信号,接收到的检测信号仍受外界干扰影响,噪声较大,尤其是小缺陷处几乎被噪声所淹没,仍然不利于贯流风叶缺陷的准确判别。

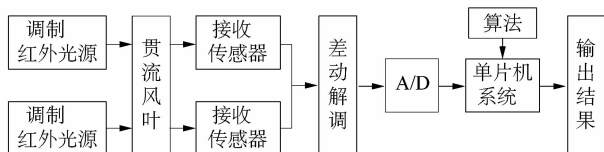


图 6 差分检测结构示意图

Figure 6 Structure diagram of differential detection

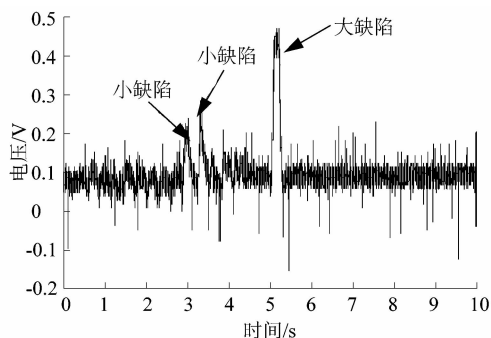


图 7 调制差分解调后的信号

Figure 7 Differential modulation signals after demodulation

### 3.3 Hilbert-Huang 变换去噪方法

近年来在信号处理领域中出现的一种特别适合非线性、非平稳信号分析的经验模态分解 (empirical mode decomposition, EMD) 方法<sup>[5-8]</sup>,采用该方法对贯流风叶差分解调后的缺陷红外检测信号进行去噪。EMD 基本原理:将原红外检测信号  $x(t)$  分解成若干个本征模态函数 (intrinsic mode function, IMF),此过程也称之为“筛”。而 IMF 分量需要满足以下 2 个条件:①对整个时间序列来说,极值的个数和穿过零点的个数必须相等或只相差 1;②在任何一点,最大值包络线和最小值包络线的平均值为 0。

EMD 的实现原理:设信号  $x(t)$  经过经验模态分解后,原始信号可以表示为

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t)$$

式中:  $r_n(t)$  为分解后的残余量;  $c_i(t)$  为第  $i$  个 IMF 分量。

EMD 概括如下<sup>[9-10]</sup>:

- 1) 计算  $x(t)$  的极大值和极小值,利用三次样条函数计算极大值包络线  $e_{max}(t)$  和极小值包络线  $e_{min}(t)$ ;
- 2) 计算 2 个包络线的均值  $m(t) = [e_{min}(t) + e_{max}(t)]/2$ ,求出信号与包络线均值  $m(t)$  的差值  $d(t) = x(t) - m(t)$ ;

- 3) 用  $d(t)$  代替  $x(t)$ ,重复上述步骤,  $k$  次后得

$$d_{1k} = d_{1(k-1)} - m_{1k}$$

式中:  $d_{1k}$  是第  $k$  次筛选出来的数据,  $d_{1(k-1)}$  是第  $k-1$  次筛选出来的数据,  $m_{1k}$  是  $d_{1(k-1)}$  的上、下包络线均值。

如此重复,直到所分解的数据的标准偏差  $S$  满足以下条件:

$$S = \sum_{t=0}^T \frac{|d_{1(k-1)}(t) - d_{1k}(t)|}{d_{1(k-1)}^2(t)} \leq 0.3$$

式中:  $T$  是采样点的总个数。则分解得到第 1 个 IMF 分量  $r_1(t)$ ;

- 4) 用  $r_1(t) = x(t) - d_1(t)$  代替  $x(t)$ ,重复 1) ~ 3),得到下一个 IMF 分量。

当  $r_n(t)$  成为一个单调函数不能再从中抽取满足 IMF 条件的分量时,经验模态分解结束。

对红外检测信号进行经验模态分解得到的 IMF 分量的频率是按照由高到低的顺序排列的,各个 IMF 分量表达了不同频段的信息。本文选择若干个 IMF 分量重构原信号。由于红外检测信号的能量主要分布在几个 IMF 分量上,可以根据能量的集中情况判别保留哪些 IMF 分量。其能量的计算公式为

$$E(i) = \sum_{t=1}^T c_i^2(t)$$

式中： $c_i(t)$ 是第*i*个IMF分量，*T*是采样点总个数。

通过EMD技术对检测信号进行去噪处理，采用三次样条插值形成波形包络，并利用信号的特征时间尺度将非线性、非平稳信号自适应地分解成多个IMF之和，按照IMF能量准则得到重构信号。图8所示为经过Hilbert-Huang变换去噪处理后重构的信号，可以看出，去噪后信号的信噪比得到提高，可以有效发现缺陷信号，尤其是被噪声淹没的小缺陷信号，并能较好地保留信号的有效成分，滤波结果与原信号吻合。去噪处理可以提高检测系统的检测精度，同时具有硬件可实现性<sup>[11-12]</sup>。

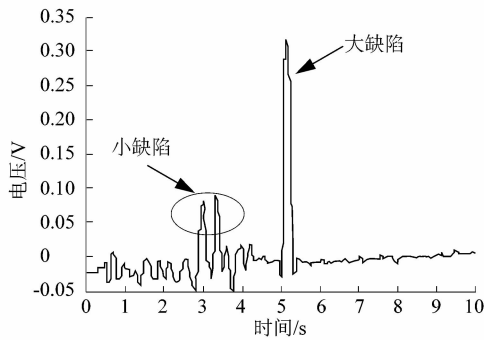


图8 重构信号

Figure 8 Reconstructed signals

#### 4 检测结果与分析

为了验证这套缺陷在线检测系统抗环境光干扰能力和稳定性，文中将这些抑制噪声的方法组合在一起，自制了改进的检测装置。针对不同时间自然光、日光条件进行了实际的缺陷检测测试。测试实验中，环境光为白天不同时间自然光和晚上灯光。在环境光条件下分别对5组产品进行100次检测实验，对比分析了采用去噪方法和没有采用这些方法的实际测试结果，缺陷识别结果如表1所示。表中批次1,2为较大尺寸缺料缺陷，批次3为合格风叶，批次4,5为小尺寸缺料缺陷。从表中可以看出采用去噪方法后，检测精度受环境光影响很小，缺陷识别准确率明显提高。

#### 5 结语

为解决贯流风叶缺陷红外自动检测中环境光干扰检测准确率的问题，文中提出了基于幅值调制红外光、差动传感器与Hilbert-Huang变换去噪相结合的检测

表1 贯流风叶检测结果

Table 1 Test results of cross-flow fan %

批次	未进行噪声抑制		噪声抑制	
	自然光	日光灯	自然光	日光灯
1	100	100	100	100
2	100	100	100	100
3	100	100	100	100
4	91	93	99	100
5	92	95	100	99

方法。通过对贯流风叶产品的多次实验测试，验证了采用该方法能够有效地抑制自动检测中环境光的干扰，提高缺陷识别的准确率。但在实验中同时也发现具有更小尺寸缺料缺陷的识别率仍有待提高，还需要进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] 徐文,叶世栋. 贯流风叶缺陷自动检测系统的设计[J]. 机电工程技术, 2012, 41(5): 34-38.
- [2] 周小丽,刘木清. 近红外光源的稳定性控制[J]. 光源与照明, 2004(4): 4-5.
- [3] 浦昭邦. 光电测试技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2004: 176-190.
- [4] 马冲,程永进,陈阳,等. 差分式红外高精度位移传感器的设计[J]. 红外技术, 2010, 32(9): 553-556.
- [5] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society of London Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 454: 903-995.
- [6] 张琦,阙沛文,陈天璐. 基于经验模态分解的管道超声回波信号噪声消除[J]. 测试技术学报, 2006, 20(6): 508-511.
- [7] 汤井田,化希瑞,曹哲民,等. Hilbert-Huang变换与大地电磁噪声压制[J]. 地球物理学报, 2008, 51(2): 603-610.
- [8] 周振宇,杨宏宇,龚辉,等. 基于希尔伯特-黄变换的近红外脑功能成像信号分析[J]. 光学学报, 2007, 27(2): 307-312.
- [9] FLANDRIN P, RILLING G, GONCALVES P. Empirical mode decomposition as a filter bank [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2004, 11(2): 112-114.
- [10] RILLING G, FLANDRIN P, GONCALVES P. On empirical mode decomposition and its algorithms [C]//Proceedings of IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. Grado:IEEE, 2003: 8-11.
- [11] 贾玮. 基于DSP的EMD算法实现[D]. 太原:中北大学, 2009: 13-29.
- [12] 叶红武. 机械零件图像表面瑕疵的检测算法[J]. 轻工机械, 2015, 33(2): 44-46.