Hans Journal of Civil Engineering 土木工程, 2019, 8(3), 784-789
Published Online May 2019 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/hjce
https://doi.org/10.12677/hjce.2019.83091

A Weak Signal Process Method of Cable Nondestructive Inspection

Jie Sun, Wen Sun, Xin Ding

Jiangsu Fasten Material Analysis & Inspecting Co., Ltd., Jiangyin Jiangsu
Email: jason8246@163.com

Received: May 6th, 2019; accepted: May 21st, 2019; published: May 28th, 2019

Abstract

A method is designed to deal with the problem that the signal-to-noise ratio of the weak signal is small when processing the weak signal of nondestructive inspection of cables, which can't clearly reflect the tiny defects inside the cables. This method collects the weak signal several times under the accurate timing control and accumulates the collected signal sequence strictly according to the time line. Because the distribution of signal noise in time domain belongs to normal distribution, *i.e.* uniform and symmetrical distribution on both sides of the real value will cancel each other after accumulating, while the real signal does not belong to normal distribution. After multiple accumulations, the signal value will be amplified. By this method, the real signal can be amplified effectively besides the noise, so that the weak signal generated by the weak internal defects can be clearly distinguished, and the accuracy of nondestructive inspection is greatly improved. This method is simple, easy to operate and has a wide range of applications, and has high popularization value.

Keywords

Nondestructive Inspection of Cable, Weak Signal, Timing Control, Signal Accumulation

一种对缆索无损探伤微弱信号的处理方法

孙　杰，孙　文，丁　鑫

江苏法尔胜材料分析测试有限公司，江苏　江阴
Email: jason8246@163.com

收稿日期：2019年5月6日；录用日期：2019年5月21日；发布日期：2019年5月28日

摘　要

针对在处理缆索无损探伤微弱信号时，微弱信号信噪比小，无法清晰反映缆索内部微小缺陷的问题。设计

文章引用: 孙杰, 孙文, 丁鑫. 一种对缆索无损探伤微弱信号的处理方法[J]. 土木工程, 2019, 8(3): 784-789.
DOI: 10.12677/hjce.2019.83091

了一种通过在准确的时序控制下对微弱信号进行多次采集，并将采集到的信号序列严格按照时间线累加的处理方法。由于信号噪声在时域的分布属于正态分布，即均匀且对称的分布在真实值两侧，经过累加后会互相抵消；而真实信号不属于正态分布，经过多次累加，信号值会被放大，所以通过此种方法在不放大噪声的情况下，能有效地放大真实信号，使得由微弱的内部缺陷而产生的微弱信号能够被清晰地分辨出来，大大提高了无损探伤的准确性。该方法简单，可操作性强，适应范围广，具有较高的推广价值。

关键词

缆索无损探伤，微弱信号，时序控制，信号累加

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

缆索无损探伤的方法和仪器种类繁多，其中在实际的探伤过程中，脉冲反射式超声波探伤仪应用最为广泛[1]。

在超声波信号的传输路径上，材料的曲线或不连续会造成声阻抗的不一致，超声波在两种不同声阻抗的交界面上将会发生反射[2]，根据反射信号可判断缆索是否有损伤。

鉴于实际检测过程中，回波信号的强弱和缆索内部的缺陷大小成正比，对于较大的缺陷，回波信号非常明显，可以很方便地辨识，而对于比较小的缺陷，回波信号非常微弱，甚至淹没在噪声中，无法清晰辨识。

传统的处理方法是使用放大器对采集的信号进行放大处理，但是该方法在放大信号的同时也放大了噪声，信噪比依然不大[3]。较为先进的是基于混沌理论的微弱信号处理方法，能够较好地提取出回波信号，但是该方法处理繁琐，检测成本较高[4]。为了在降低检测成本的同时能够有效地采集出微弱的回波信号，本文基于信号噪声在时域的分布属于正态分布的特性，通过放大、滤波和时间线叠加抵消等方式，设计了一种对缆索无损探伤微弱信号的处理方法。在放大回波信号的同时将噪音消减，有效地提高了缆索探伤信号中微弱信号的信噪比，大大提高了无损探伤的准确性。

2. 缆索无损探伤系统

缆索无损探伤系统通过在准确的时序控制下，对微弱信号进行多次采集，并将采集到的信号序列严格按照时间线累加。由于信号噪声在时域的分布属于正态分布，即均匀且对称的分布在真实值两侧，经过累加后会互相抵消；而真实信号不属于正态分布，经过多次累加，信号值会被放大；所以通过此种方法在放大噪声的情况下，有效地放大了信号，使得微弱的内部缺陷产生的微弱信号能够被清晰的分辨出来[5] [6]。

缆索无损探伤系统主要由主 MCU、时间线发生端口、信号输入/输出端口和数据输出端口组成。如图 1 所示。

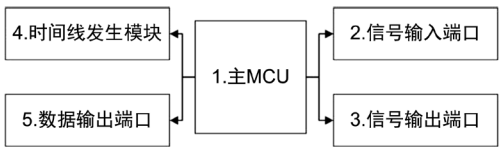

Figure 1. Hardware diagram of cable NDT system
图 1. 缆索无损探伤系统硬件框图

3. 信号处理

本文缆索无损探伤微弱信号的处理方法主要是通过产生精确时间线；多次在严格的时序控制下产生信号；多次严格时序控制下的信号序列采集；时序对应信号累加；归一化等步骤，实现了不放大噪声的情况下对微弱信号进行有效的放大[6] [7]。

根据正态分布的概率密度函数

$$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \tag{1}$$

其分布函数为：

$$F(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^{x}\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}\mathrm{d}x \tag{2}$$

式(1)和式(2)中，参数 μ 为均值；σ 为均方根差。由于噪音处于正态分布，则经过 M 次叠加后(M 值尽可能大)其值趋于 $ME(x)$。其中

$$E(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^{+\infty}x\exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}\mathrm{d}x \tag{3}$$

根据正态分布的原理可知 $E(x)=\mu$，即

$$S_{T_n}=F_{(1)T_n}+F_{(2)T_n}+\cdots+F_{(M)T_n}\approx M\mu \tag{4}$$

将 M 组数据在 N 个时间线采集的数值用 $M\times N$ 矩阵 S 表示：

$$S_{[T_1\ T_2\ \cdots T_n]}=\begin{bmatrix} F_{(1)T_1} & \cdots & F_{(1)T_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{(M)T_1} & \cdots & F_{(M)T_n} \end{bmatrix} \tag{5}$$

将矩阵在相同的时间线采集的数数值进行叠加[8]，得到

$$S_{[T_1\ T_2\ \cdots T_n]}=[M\mu_1 M\mu_2\cdots M\mu_n] \tag{6}$$

然后对矩阵值进行归一化处理。取其中最小值作为权重值 $M\mu_{\min}$，将 N 个时间线的值分别与权重值相减。当检测次数 M 趋向无穷大时，根据噪音在时域的分布属于正态分布的特性，若 T_h 处检测的信号是噪音时，其 $M(\mu_i-\mu_{\min})$ 会趋近于 0。若其中 T_h 不为噪音，其值不遵循正态分布，随着 M 的增大，$M(\mu_i-\mu_{\min})$ 的值也会增大[9] [10]。

实验其具体实现步骤如图 2 所示。

1) 由图 1 中的 4 产生时间线，作为整个流程的时序基准。

2) 在 T_1 时刻，由图 1 中的 2 产生发射脉冲信号，并等待 50 ms。

3) 等时间间隔，从图 1 中的 3 采集回波信号序列，保存为 $(F_1,F_2,\cdots F_n)$。

4) 重复 2~3 步骤 M 次，得到 $(F_1,F_2,\cdots F_n)_1\sim(F_1,F_2,\cdots F_n)_M$，$M$ 组信号序列。

5) 将 M 组信号序列按照进行矩阵相加运算，得到结果序列。对结果序列进行归一化，得到最终结果序列数据。

6) 将结果序列通过图 1 中的 5 进行数据输出，显示成回波曲线，方便测试人员判断结果。

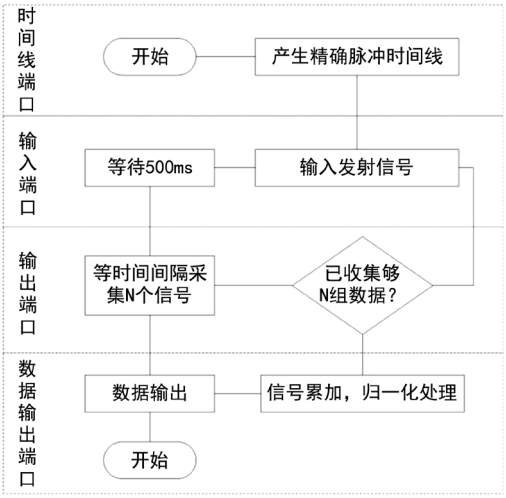

Figure 2. Signal process flow chart
图 2. 信号处理流程图

4. 实验结果分析

本文使用超声导波缆索检测仪分别采集了 M 系数为 10、50、100 和 1000 的实验信号，通过接收回波信号并对实验信号进行归一化处理后，对信号的数据结果进行对比分析。实验数据如表 1 所示，仿真信号图如图 3~7 所示。由实验数据可知，通过此种方法在不放大噪声的情况下，能够有效地放大真实信号，清晰分辨出微弱的内部缺陷引起的微弱信号，有效的提高了无损探伤的准确性。

Table 1. Signal processing results of coefficients
表 1. 典型累加系数的信号处理结果

	系数	信号幅值	噪声幅值	信噪比
1	/	25	20	1.25
2	10	100	50	2.00
3	50	350	60	5.80
4	100	650	70	9.20
5	1000	5400	200	27.00

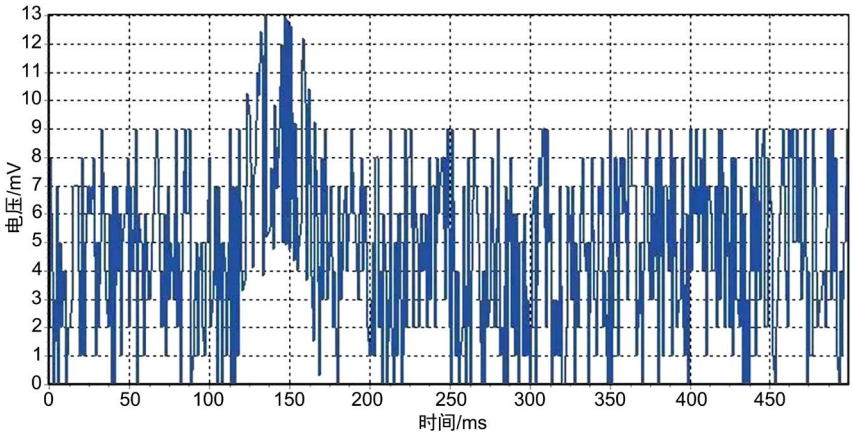

Figure 3. Original signal
图 3. 原始信号

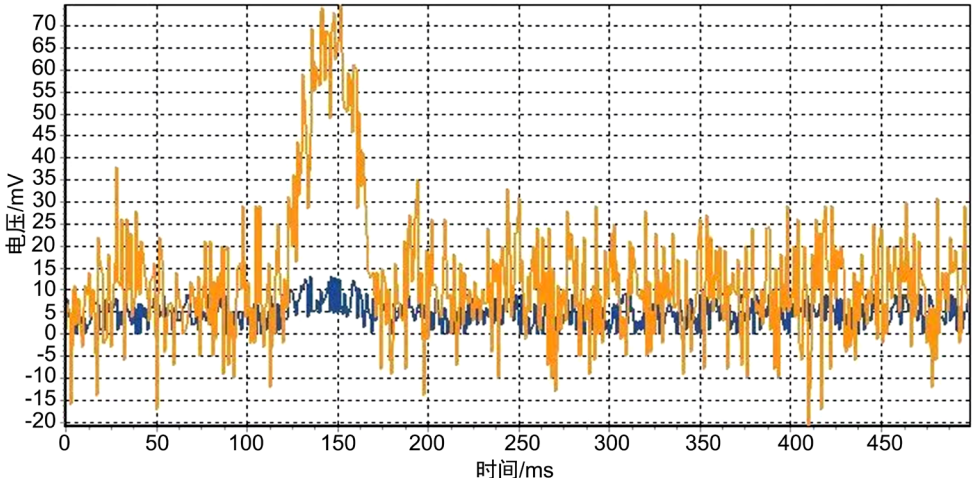

Figure 4. Processed signal with coefficient 10
图 4. 累加系数为 10 的处理后信号

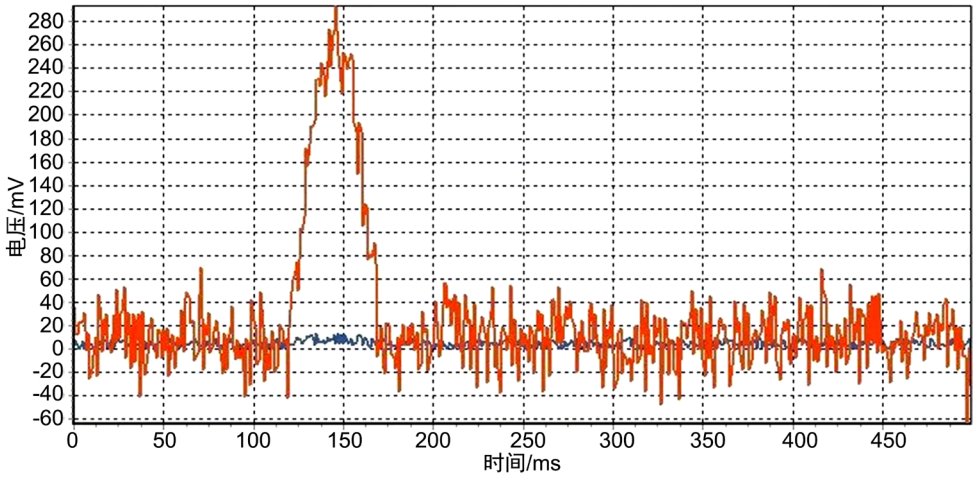

Figure 5. Processed signal with coefficient 50
图 5. 累计系数为 50 的处理后信号

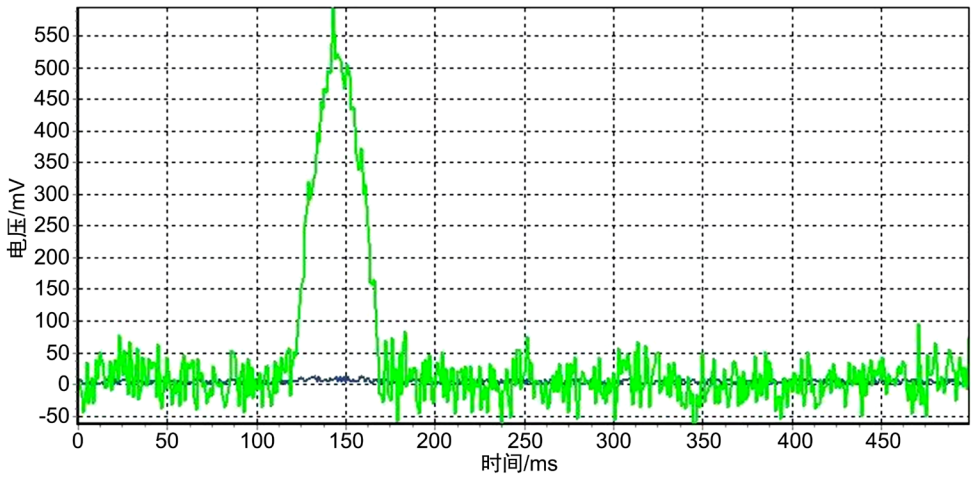

Figure 6. Processed signal with coefficient 100
图 6. 累计系数为 100 的处理后信号

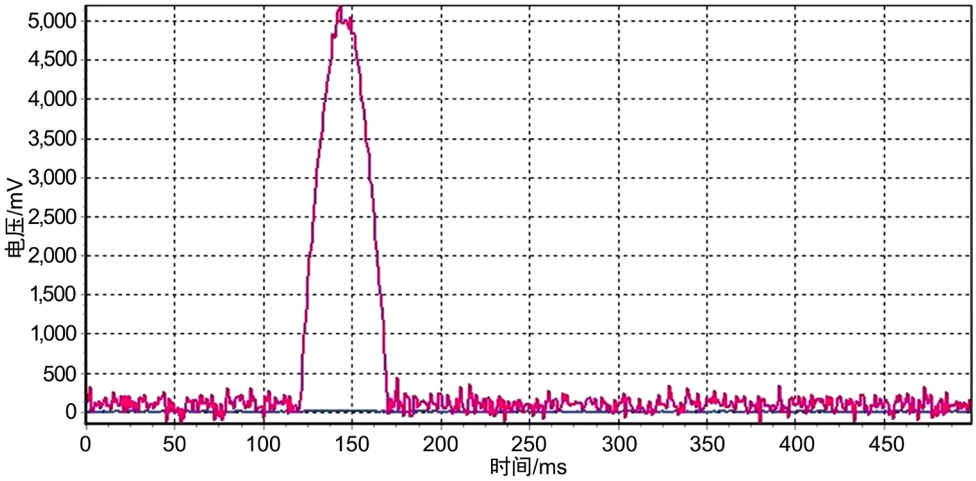

Figure 7. Processed signal with coefficient 1000
图 7. 累计系数为 1000 的处理后信号

5. 结束语

本文提出的一种对缆索无损探伤微弱信号的处理方法，通过在准确的时序控制下，对微弱信号进行多次采集，并严格按照时间线累加，在不放大噪声的情况下，有效地放大了真实信号，提高了缆索无损探伤过程中由内部缺陷引起的微弱信号的分辨能力。该方法应用简单，容易实现；增加的额外硬件很少，对主 MCU 的性能要求不高；适用范围较广，针对不同检测方法的微弱信号处理亦可以被采用。

参考文献

[1] 邱宇, 朱承建. 钢丝绳无损探伤仪研究[J]. 电子世界, 2013(13): 128-130.
[2] 宋静. 手持式超声波探伤仪应用软件设计[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
[3] 董谦, 谢剑英. 超声波无损检测系统的噪声干扰分析与抑制[J]. 测控技术, 2001, 20(11): 50-52.
[4] 赵文礼, 夏炜, 刘鹏, 等. 基于混沌理论的微弱信号放大原理与方法研究[J]. 物理学报, 2010, 59(5): 2962-2970.
[5] 朱勇辉, 朱其猛. 超声波应力测试降噪技术[J]. 电焊机, 2018, 48(2): 105-107.
[6] 彭瑾, 王黎, 高晓蓉, 等. 基于相位分析的超声波噪声信号抑制算法[J]. 铁道技术监督, 2009, 37(1): 34-37.
[7] 徐灵活, 殷明, 章建程, 等. 正态分布法在噪声听觉损伤易感性评价中的应用探讨[J]. 海军医学杂志, 2007, 28(1): 5-7.
[8] 王培容, 杨艺. 统计平均拟合正态分布曲线的迭代算法及其应用[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2001, 18(1): 37-40.
[9] 金秋, 刘少岗. 线性不对称损失时非正态分布过程均值优化[J]. 运筹与管理, 2014(6): 23-28.
[10] 辛士波. 基于双侧等截尾正态分布的均值-极差控制图[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(8): 180-183.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD
   下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 http://cnki.net/
   左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：hjce@hanspub.org