

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0276-03

# 基于小波变换的提升机激光位置跟踪系统的信号处理

周孟然<sup>1,2</sup>, 刘文清<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031; <sup>2</sup>安徽理工大学电气工程系, 安徽 淮南 232001)

**摘要** 提升机位置跟踪系统可用工作在红外波段的激光,测量“调制光波”往返于被测距离上相位差的方法来测定距离。由于信号中含有噪声,因此通过小波变换来实现提升机测距信号的信号处理,利用信号和噪声在不同尺度的小波变换下呈现特性相反,采用阈值方法消除噪声,重构真实信号。该系统能极其准确地显示提升机的实际位置,提高了距离测量的精度。通过 MATLAB 软件进行仿真,实现了激光位置跟踪信号的数据处理,以及对提升机位置和速度的数字化控制。

**关键词** 信息光学; 红外激光; 提升机; 位置跟踪; 小波变换; 噪声消除

中图分类号 P225.2

文献标识码 A

## Signal Process of Laser Location-Tracking System for Hoist Based on Wavelet Transform

ZHOU Meng-ran<sup>1,2</sup>, LIU Wen-qing<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Anhui Institute of Optic and Fine Mechanics, Chinese Academy of Science, Hefei, Anhui 230031, China

<sup>2</sup>Department of Electric Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China

**Abstract** The Tracking system can measure the traveling distance with the laser working in infra-red wave band by measuring the phase difference with modulated light wave shuttling the measured distance. Since noise contained, signal process of the hoist's distance measuring is realized by wavelet transform. Based on different properties of noise and the signal working in different scale, noise can be eliminated by consulting the threshold value, after that real signal will be reconfigured. This system can improve the precision of distance measure by showing the hoist's real location exactly. Date process of laser location-tracking signal can be realized by the simulating of MATLAB software. All in all, this system can realize digital control of the riser's location and speed.

**Key words** information optics; infra-red laser; hoist; location-tracking; wavelet transform; elimination of noise

采用红外激光技术的提升机位置跟踪系统,是通过激光测量“调制光波”往返于被测距离的相位差的方法来测定距离。然而在测距系统中由于光路和电路受环境和元器件本身的影响,使得被测信号与噪声共存,影响了测量的准确性。而本文通过小波变换<sup>[1]</sup>实现激光位置跟踪信号的处理,利用信号和噪声在不同尺度的小波变换下,呈现特性相反,采用阈值方法消除噪声,重构真实信号,提高了距离测量的精度。通过 MATLAB 软件进行仿真<sup>[2]</sup>,实现了激光位置跟踪信号的数据处理。实现对提升机位置和速度的数字化控制。

难的。为此,以光波作为载波,再用较低的调制频率对光波进行幅度调制,直接测量幅度调制光波在发送端和接受端的相位差。为进一步提高相位检测的精度,根据外差接收原理,把与调制信号相差一低频的同一本机振荡信号分别与发送和接收信号进行混频放大,取出两个差频信号,再通过信号处理检测出

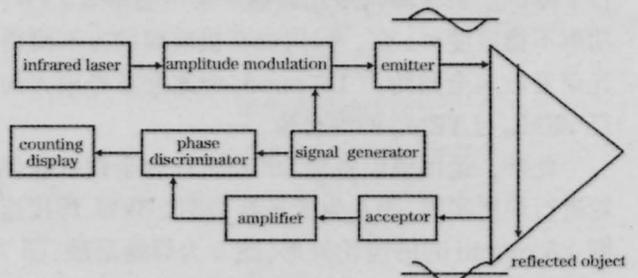


图1 红外激光位置跟踪系统原理框图

Fig.1 Schematic drawing of position tracing system using infrared laser

### 1 激光位置跟踪原理

图1是系统的工作原理简图。由于红外光频率很高,要精确测量这样高频率的相位,目前是比较困

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金(2002kj273)资助课题。

作者简介: 周孟然(1965-),男,安徽理工大学副教授,硕士生导师。中国科学院安徽光学精密机械研究所博士研究生,主要从事计算机控制及激光应用方面的研究。E-mail: mrzhou@aust.edu.cn

两个差频信号的相位差,利用相位差确定被测两个点之间的距离<sup>[3]</sup>。

## 2 离散二进制小波变换及算法

### 2.1 离散二进制小波

函数  $\Psi$  经伸缩和平移得到

$$\Psi_{ab}(x) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right), \quad a \neq 0 \quad (1)$$

其中  $a$  为伸缩因子,  $b$  为平移因子。

任意函数  $f \in L^2(R)$  可表示为

$$Wf(a,b) = \langle \Psi_{ab}, f \rangle = |a|^{-1/2} \int \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (2)$$

如果  $\Psi$  函数满足允许条件

$$\int \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|}{\omega} d\omega < \infty \quad (3)$$

其中  $\hat{\Psi}$  表示傅里叶变换, 则  $W$  称为连续小波变换,  $\Psi$  称为允许小波。

令  $\Psi_S(x) = \frac{1}{S} \Psi\left(\frac{x}{S}\right)$ ,  $\Psi_S(x)$  为展伸小波,  $S$  为尺度因子, 则

$$Wf(S,x) = W_S f(x) = f \times \Psi_S(x) = \frac{1}{S} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi\left(\frac{x-t}{S}\right) dt \quad (4)$$

称  $W_S f(x)$  为二进制小波变换, 其中  $W$  为二进制变换算子。此式实质将  $f(x)$  分解为不同信号。为实现小波变换数字化, 选取尺度  $S=2^j$  ( $j \in Z$ ) 得离散二进制小波变换。在工程实现时, 尺度函数  $\varphi(x)$  和小波函数  $\Psi(x)$  进行变换, 使之与滤波器对应, 其中  $\varphi(x)$  对应低通滤波器  $H(x)$ ;  $\Psi(x)$  对应高通滤波器  $G(\omega)$ 。  $h(n), g(n)$  为冲击响应, 它们的傅里叶变换满足:

$$\hat{\varphi}(2\omega) = H(\omega) \hat{\varphi}(\omega), \quad \hat{\Psi}(2\omega) = G(\omega) \hat{\varphi}(\omega) \quad (5)$$

设  $D = S_1^j f(n)$  ( $n \in z$ ) 为原始信号  $D$  的离散采样序列。  $W_2^j f(n)$  ( $n \in z$ ) 为  $D$  在每一尺度  $j$  上的小波变换值。  $S_2^j f(n)$  ( $n \in z$ ) 为  $D$  在尺度  $j$  上的近似, 则离散信号序列  $\{S_2^j f, (W_2^j) \mid 1 \leq j \leq J\}$  称为信号  $D$  的离散二进制小波变换<sup>[4,5]</sup>。

### 2.2 离散小波变换算法

算法的思想是在每一尺度上, 把信号  $S_2^j f$  分解为下一尺度的  $W_2^j f$  高频信号和低频信号  $S_2^j f$ 。算法如下

$$W_2^j f = \frac{1}{\lambda_{j+1}} S_2^j f \times G_j, \quad j=0 \text{ while } (j < J) \quad (6)$$

$$S_2^j f = S_2^j f \times H_j, \quad j=j+1 \text{ end of while} \quad (7)$$

其中  $J$  为最佳尺度。  $H_j, G_j$  表示  $H, G$  滤波器在系数之间插入  $2^{j-1}$  个零点得到的离散滤波器。因此重构

算法为:

$$S_2^j f = W_2^j f \times G_{j-1} + S_2^j f \times \hat{H}_{j-1}, \quad j=J \text{ while } (j > 0) \quad (8)$$

$$j=j-1 \text{ end of while}$$

## 3 小波变换系数与尺度的关系

函数  $f(x)$  的局部奇异性与其小波变换的渐进衰减性间存在着关系。

定义一个函数  $f(x)$  在  $x_0$  点处是一致 Lipschitz  $\alpha$ , 且仅存在一个常数  $K$ , 使得在  $x_0$  的某一领域内的任一点  $x$  均有

$$|f(x) - f(x_0)| \leq K |x - x_0|^\alpha \quad (9)$$

如(3)式对所有的  $x, x_0 \in (a, b)$  都成立, 则称  $f(x)$  在区间上一致 Lipschitz  $\alpha$ 。说明函数在某一点的 Lipschitz 指数越大, 则在该点函数越光滑, 有间断点或某阶导数不连续, 则称此函数在此处有奇异性, 该点为奇异点。奇异性与小波变换的渐进衰减性间的关系如下:

设  $f(x) \in L^2(R)$ ,  $[a, b]$  为  $R$  上的闭区间  $0 \leq a < 1$ ,  $\forall \varepsilon < 0$ , 则  $f(x)$  在  $(a+\varepsilon, b+\varepsilon)$  上一致 Lipschitz  $\alpha$  的充要条件是存在常数  $A$  和  $x \in (a+\varepsilon, b+\varepsilon)$ , 对  $\forall s < 0$  有

$$|W_s f(x)| \leq A \cdot S^\alpha \quad (10)$$

设  $S=2^j$ , (10)式变为  $|W_2^j f(x)| \leq A \cdot 2^{j\alpha}$  两边取对数

$$\log_2 |W_2^j f(x)| \leq \log_2 A + j\alpha \quad (11)$$

由(11)式可知, 如果函数  $f(x)$  的 Lipschitz 指数  $\alpha > 0$ , 则该函数的小波变换系数将随着尺度的增大而增大, 反之, 若  $\alpha < 0$ , 则函数  $f(x)$  的小波系数将随着尺度的增大而减小<sup>[6]</sup>。

通常信号的 Lipschitz 指数是大于零的, 即使不连续的奇异信号, 只要在某一邻域内有界, 如阶跃函数也有  $\alpha=0$ , 然而噪声所对应的 Lipschitz 指数  $\alpha$  往往小于零, 比如高斯白噪声几乎处处奇异。它的 Lipschitz 指数  $\alpha = -1/2 - \varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$ )。因此得出信号和噪声在不同尺度的小波变换下呈现特性截然相反。随着尺度的增大, 信号所对应的小波变换之后, 由噪声所对应的小波幅值则是减小, 也即连续做若干次小波变换之后, 由噪声对应的小波变换系数已基本去除或幅值很小, 而剩下系数主要是信号控制, 可根据这一原理对加噪信号进行处理<sup>[7,8]</sup>。

## 4 小波变换的阈值去噪法

从红外激光测距系统的前置放大器输出信号中叠加了大量的白噪声, 一个含噪声的一维信号模型可表示如下

$$S(i) = f(i) + \sigma e(i), \quad i=0, 1, \dots, n-1 \quad (12)$$

式中  $S(i)$  为含噪声信号,  $f(i)$  为真实信号,  $e(i)$  为标准方差是  $\sigma$  的信号。

可知信号小波变换的幅度随着尺度的增大而增大, 而白噪声由于具有负奇异性, 其小波变换幅度和稠密度及方差均随尺度的增大而减小。

通常的消噪方法<sup>[9]</sup>是选取一阈值  $T$  把低于  $T$  的小波系数  $w_{jk}$  [主要由噪声  $e(i)$  引起] 设为零, 而高于  $T$  的  $w_{jk}$  有两种处理方法, 即硬阈值消噪法和软阈值消噪法。硬阈值消噪法是保存高于  $T$  的  $w_{jk}$ , 而软阈值消噪法是大于阈值的点变为该点值与阈值差值。由于硬阈值处理后的信号较粗糙, 因此常采用软阈值, 方法如下:

1) 对含噪声信号做多尺度小波分解, 一般分解为 4 到 5 个尺度。

2) 小波分解高频系数的阈值量化, 对第 1 到 5 层的每一层高频系数, 选一个阈值进行软阈值量化处理。

3) 一维小波的重构, 根据小波分解的第 5 层的低频系数和经过量化处理后的第 1 到 5 层的高频系数利用离散二进制重构算法进行一维小波的重构。

## 5 仿真研究

在红外激光测距系统中, 由光电转换器获取被调制的光信号, 经前置放大器放大后, 输出一个含噪声的电压信号。在输入信号参数与实际相一致的情况下计算机仿真结果与实际系统运行结果具有一致性。为此利用计算机仿真软件 MATLAB 来进行仿真。噪声与信号是用 MATLAB 软件中 Simulink 的信号发生器编程产生的。图 2 为模拟含噪声的信号, 其 5 个尺度的小波分解如图 3 所示, 其中  $Wf1 \sim Wf5$  为  $sf$  在尺度 1~5 上的小波变化高频系数, 尺度 5 以下所包含的低频信息。可见对函数的小波变换相当于让信号通过一系列带通滤波器, 其结果主要反映信号变化的过程, 而信号的缓变成分则保留在  $Sf5$  中, 这与尺度分析思想一致。选取一个阈值对图 3 的第 1 至 5 层的每一层高频系数进行软阈值量化处理, 设阈值  $T_j = \sigma(2\ln N)^{1/2} \ln(j+B)$ , 其中  $B$  是常数, 选取  $B = 0.8$ ,  $j$  为

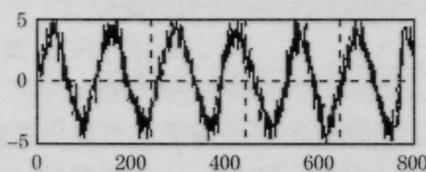


图 2 模拟含噪信号

Fig.2 Analogue signal together with noise signal

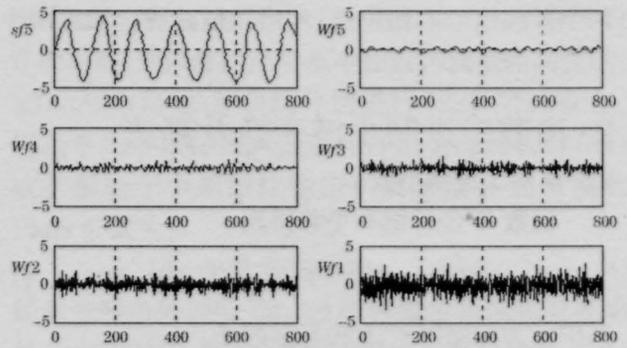


图 3 白噪声 5 个尺度的小波分解

Fig.3 Five-scale wavelet decomposition of noise signal

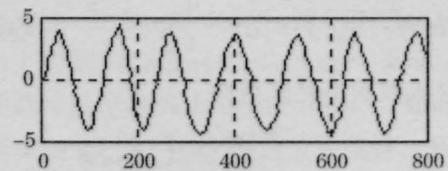


图 4 重构信号

Fig.4 Reconstructed signal

所取的尺度, 利用(8)式根据小波分解的第 5 层的低频系数和经过量化处理后的第 1 到 5 层的高频系数, 进行信号的重构, 重构信号见图 4。可见利用此消噪方法对含白噪声的实际信号消噪效果较好。

## 参考文献

- Xu Peixia, Sun Gongxian. The Examples of Wavelet Analyzing and application[M]. University of science & Technology of China Publishing company 2001  
徐佩霞, 孙功宪. 小波分析与应用实例[M]. 北京: 中国科学技术大学出版社, 2001
- Liang Hong, Liang Jie, Chen Yuebin. Using MATLAB for Digital Signal and Imaging Processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000. Chapter5  
梁虹, 梁洁, 陈跃斌. 信号与系统分析及 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000
- Zhou Mengran. Study of coal mine lift tracking system based on infra-red ray orientation technique [J]. *J. China Coal Society*, 2002, 27(6), 658-660  
周孟然. 基于红外激光定位技术的矿井提升机位置跟踪系统的研究[J]. *煤炭学报*, 2002, 27(6): 658-660
- D. L. Donoho. De-noising by soft-thresholding [J]. *IEEE Trans. on IT*, 1995, 41(3): 613-627
- R. D. Nowak, R. G. Baraniuk. Wavelet-domain filtering for photo imaging systems[J]. *IEEE Trans. on IT*, 1999, 45(5): 666-678
- L. Senhadji et al. New applications of wavelet transformation[J]. *Proc. IEEE/EMBS Annual Conf.*, 1992. 2592-2593
- O. Rioul et al. Fast algorithm for discrete and continuous wavelet transform[J]. *IEEE Trans. on IT*, 1993, 39(2): 569-586
- S. Mallat et al. Singularity detection and processing with wavelets[J]. *IEEE Trans. on IT*, 1992, 38(2): 617-643
- Zhao Ruizhen, Song Guoxiang. An improved method for white noise reduction based on wavelet transform [J]. *Xidan University Xi'an Chinese*, 2002, 27(5), 619-622  
赵瑞珍, 宋国乡. 一种基于小波变换的白噪声消噪方法的改进[J]. *西安电子科技大学学报*, 2002, 27(5): 619-622