

引用格式:

梁友斌, 许建康, 周俊, 张颖华, 何瑞银. 基于小波阈值-卡尔曼的水田旋耕平地机倾角信号的去噪方法[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(2): 248–252.

LIANG Y B, XU J K, ZHOU J, ZHANG Y H, HE R Y. Denoising of paddy field grader inclination signal based on wavelet Kalman fusion[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(2): 248–252.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



# 基于小波阈值-卡尔曼的水田旋耕平地机倾角信号的去噪方法

梁友斌<sup>1</sup>, 许建康<sup>1</sup>, 周俊<sup>1\*</sup>, 张颖华<sup>2</sup>, 何瑞银<sup>1</sup>

(1.南京农业大学工学院, 江苏 南京 210031; 2.连云港双亚机械有限公司, 江苏 连云港 222000)

**摘 要:** 基于全球卫星导航系统(GNSS)的水田旋耕平地机田间试验, 采集平地机在调平过程中的倾角信号, 采用小波硬阈值法, 获取低频信号, 并实时估计倾角信号的噪声方差, 作为卡尔曼滤波的修正信息, 再将低频信号作为系统输入, 运用卡尔曼滤波对信号进行二次修正。试验结果表明: 小波硬阈值-卡尔曼融合算法的滤波效果优于单一的小波阈值法和卡尔曼滤波, 倾角信号经融合算法处理后, 信号的信噪比由 21.704 提高到 39.116, 均方根误差从 0.035 1 减小至 0.012 6。倾角信号中的噪声成分明显减少, 信号的精确度更高。

**关 键 词:** 水田旋耕平地机; 倾角信号; 小波阈值法; 卡尔曼滤波; 融合去噪算法

中图分类号: S222.3 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2020)02-0248-05

## Denoising of paddy field grader inclination signal based on wavelet Kalman fusion

LIANG Youbin<sup>1</sup>, XU Jiankang<sup>1</sup>, ZHOU Jun<sup>1\*</sup>, ZHANG Yinghua<sup>2</sup>, HE Ruiyin<sup>1</sup>

(1.College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210031, China; 2.Lianyungang Shuangya Machinery Ltd, Lianyungang, Jiangsu 222000, China)

**Abstract:** Based on the global satellite navigation system(GNSS), the angle signal of the grader during the leveling process was detected by using paddy field rotary tiller field test. The wavelet hard threshold method was used to obtain the low frequency signal, and real-timely estimate the noise variance of the angle signal as the corrective information of Kalman filter. And then the second correction on the signal was performed using Kalman filtering with the system input of the low-frequency signal. The experimental results show that the wavelet hard threshold-Kalman fusion algorithm has better filtering effect than the single wavelet threshold method and Kalman filtering, respectively. When the inclination signal is processed by the fusion algorithm, the signal-to-noise ratio of the signal is increased from 21.704 to 39.116, and the root mean square error reduced from 0.035 1 to 0.012 6.

**Keywords:** paddy field rotary-leveling machine; inclination signal; wavelet threshold method; Kalman filter; de-noising fusion algorithm

基于全球卫星导航系统(GNSS)的智能水田旋耕平地机, 能有效提高土地平整度, 提高肥料利用率和排灌效率, 具有不受光线、风力、地势起伏等外界因素影响的优点, 可以全天候工作<sup>[1-2]</sup>。

机具工作过程中, GNSS 系统输出的定位数据中含有噪声, 导致根据定位数据计算出的倾角信号存在误差, 这种倾角信号会影响控制系统的控制效果, 进而降低水田旋耕平地机的平地质量; 因此, 需要

收稿日期: 2019-09-24

修回日期: 2020-01-15

基金项目: 江苏省科学技术厅苏北科技专项(SZ-LYG2017009)

作者简介: 梁友斌(1995—), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 主要从事智能农业装备研究和开发, 1604639963@qq.com; \*通信作者, 周俊, 博士, 教授, 主要从事农业装备智能化技术和农业机器人研究, zhoujun@njau.edu.cn

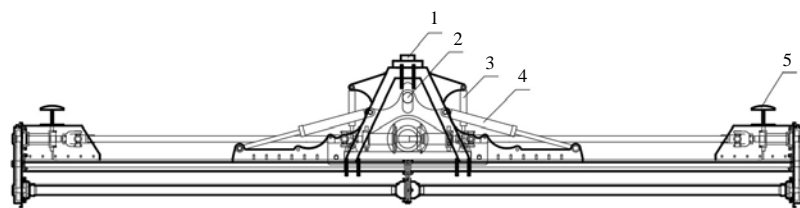
对倾角信号进行滤波处理,以保证平地机良好的工作性能。王梦樱等<sup>[3]</sup>采用小波阈值降噪法对 GPS 伪距观测值进行降噪处理,有效提高了 GPS 的定位精度;夏友祥等<sup>[4]</sup>将卡尔曼滤波应用于 GNSS 多路径效应的误差处理,使农田定位精度得到改善;刘兆惠等<sup>[5]</sup>提出了一种基于小波分析和卡尔曼滤波相融合的交通数据去噪算法,该融合算法能有效去除交通数据中的噪声干扰,提高数据质量。

笔者在水田旋耕平地机田间作业过程中,采集平地机在自动调平过程中的倾角信号,运用小波阈

值法和卡尔曼滤波,对倾角信号进行去噪处理,分析它们的去噪效果,建立基于小波硬阈值法的卡尔曼最优估计融合算法。

## 1 水田旋耕平地机的结构及平地系统的工作原理

水田旋耕平地机通过三点悬挂机构与拖拉机挂接,通过调节折叠液压缸和调平液压缸分别实现平地机的折叠和调平,其总体结构如图 1 所示。



1 液压阀块; 2 中央轴; 3 调平液压缸; 4 折叠液压缸; 5 GNSS 移动站天线。

图 1 水田旋耕平地机总体结构

Fig.1 Structure of the paddy field rotary tiller

由于硬地层不平整,拖拉机在行走过程中会发生倾斜,水田旋耕平地机也随之倾斜,平地机当前位置与水平位置所形成的角度即为平地机的倾斜角度。基于 GNSS 的水田旋耕平地系统,依据倾角信号判断平地机当前倾斜状态,当系统检测到平地机的倾斜角度超出允许范围时,对平地机进行相应调节,使其保持水平状态;因此,精确测量倾角信号是控制系统实现准确控制、获得良好作业效果的必要前提。

## 2 倾角信号的采集及去噪

### 2.1 倾角信号的采集

采用 GNSS 技术,测量水田旋耕平地机工作过程中的倾角信号。试验前,将 GNSS 基准站置于试验田附近空旷处,移动站的 2 根天线对称磁吸于平地机两侧,天线之间的基线距离为 4 m。

机具作业过程中,GNSS 天线实时监测平地机的位置信息,根据 2 根天线之间的基线距离和相对高程差,GNSS 接收机自动计算出平地机的倾斜角度,并将倾角信号发送给控制系统,控制系统根据倾角信号角度值的大小发出相应控制指令,调节调平液压缸,使平地机绕中央轴转动,从而保证机具处于水平状态。控制系统接收并保存倾角信号,从

而实现倾角信号的采集。

### 2.2 去噪方法的确定

#### 2.2.1 小波阈值法

运用小波阈值法<sup>[6-11]</sup>中小波软阈值法和小波硬阈值法,对倾角信号进行去噪处理。

#### 2.2.2 卡尔曼滤波

运用卡尔曼滤波法<sup>[12-13]</sup>对倾角信号进行去噪处理。

#### 2.2.3 小波-卡尔曼融合算法去噪

基于对小波阈值法和卡尔曼滤波的分析,建立基于小波硬阈值法的卡尔曼最优估计融合算法。

倾角信号  $\chi(t)$  经小波硬阈值法处理后得到信号  $g(t)$ ,将信号  $g(t)$  实时输入到卡尔曼滤波系统中,利用小波硬阈值法获取干扰噪声的统计特性,作为卡尔曼滤波的修正信息,再通过卡尔曼滤波对信号  $g(t)$  进行滤波,得到修正后的信号  $s(t)$ 。

## 3 融合去噪方法的应用

### 3.1 不同滤波方法的去噪效果

对原始倾角信号分别运用小波阈值法、卡尔曼滤波法、融合法进行滤波处理,滤波效果如图 2 所示。

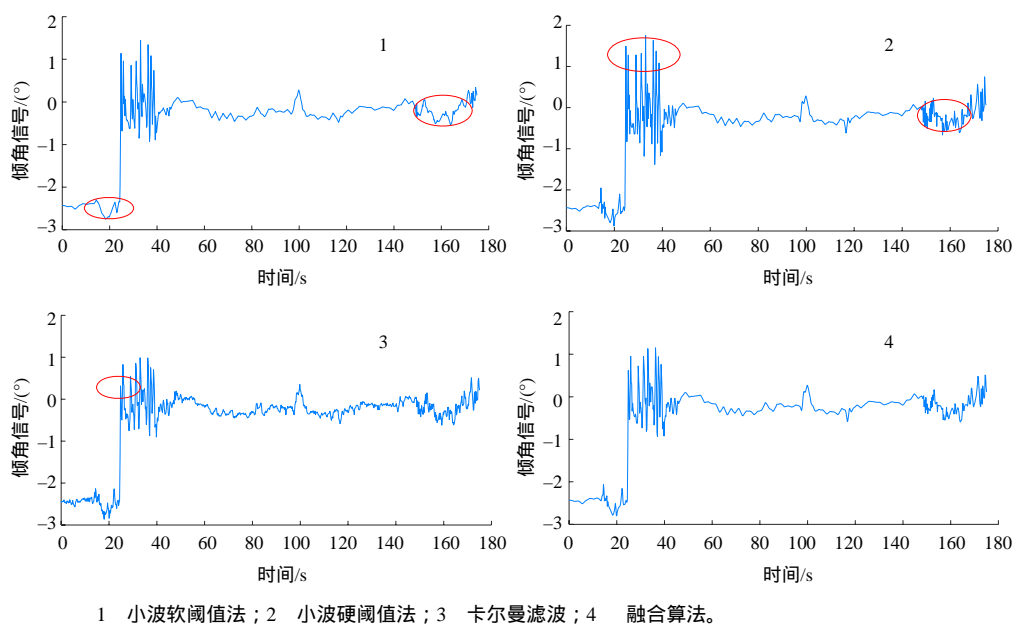


图 2 不同滤波方法对倾角信号的滤波效果

Fig.2 Filtering effect by using different filtering methods on inclination signal

小波软阈值法得到的信号连续性较好,但由于对小波系数的收缩处理,使得重构信号与真实信号之间产生了一定程度的偏差,导致部分有效信号被压缩(图 2-1);小波硬阈值法得到的信号在阈值点处产生了振荡,使去噪后的倾角信号产生局部抖动,且当小波系数的绝对值大于阈值时,不能实现对信号的有效去噪(图 2-2);卡尔曼滤波根据上一时刻的状态估计和当前状态的观测来计算当前状态的估计,所以前一时刻的估计误差也同样会累加到下一时刻,且倾角信号的系统模型难以精确建立,从而使卡尔曼滤波的整体去噪效果变差,还会出现信号的局部失真现象(图 2-3);小波-卡尔曼融合算法对小波阈值法和卡尔曼滤波的缺点进行了折中处理,保留了大波动信号的有效信息,又去除了小波动信号中的噪声干扰,使信号曲线较为平滑,在高频、

瞬态信号的处理上也明显优于小波阈值法和卡尔曼滤波,去噪效果较好(图 2-4)。

小波-卡尔曼融合算法在小波硬阈值法去噪的基础上,利用卡尔曼滤波对信号进行二次修正,将小波硬阈值法的阈值量化处理和卡尔曼滤波的最优估计特性相结合,实现倾角信号的有效去噪。选择将小波-卡尔曼融合的滤波方法实际应用对平地机倾角信号的处理当中。

### 3.2 小波-卡尔曼融合算法滤波的应用

在水田旋耕平地机田间试验中,采集平地机作业过程中的倾角信号,如图 3 所示。运用小波-卡尔曼融合的方法对倾角信号进行滤波处理,观察分析其去噪效果。

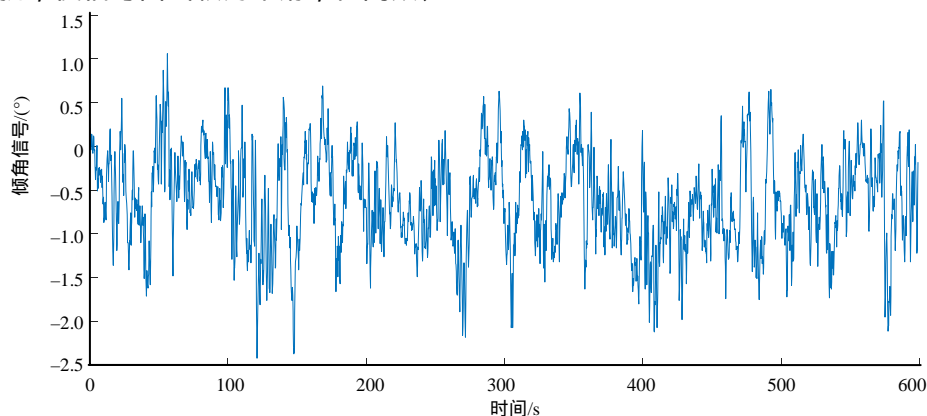


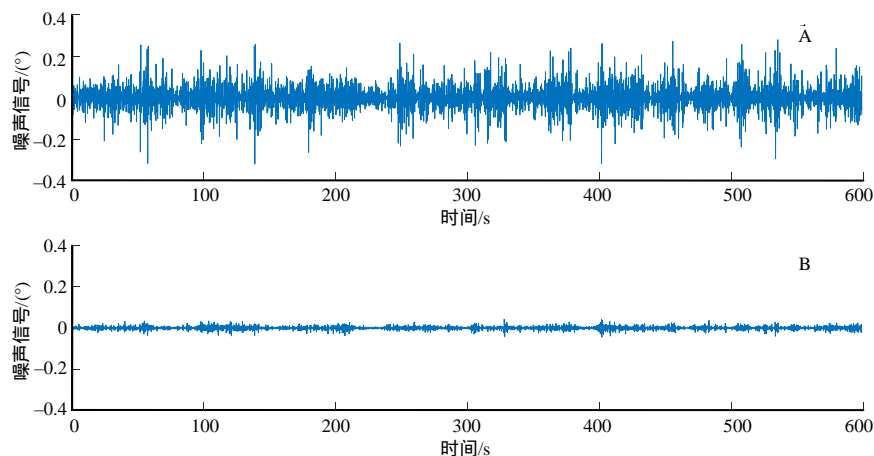
图 3 田间试验采集的倾角信号

Fig.3 Inclination signal collected in the field test

采用信噪比和均方根误差<sup>[14-15]</sup>评定融合算法的去噪效果：信号的信噪比越高，真实信号和去噪信号的均方根误差越小，说明去噪结果越接近真实值，去噪效果越好。选择在小波分解基础上，对倾角信号进行 1 层分解与重构；根据重构信号与原始

信号对信噪比进行保守性估计。

分别对融合算法滤波前后的倾角信号进行处理，如图 4 所示，倾角信号经融合算法去噪后信号中的噪声成分明显减少。



A 去噪前倾角信号中的噪声信号估计；B 去噪后倾角信号中的噪声信号估计。

图 4 基于小波理论的噪声信号估计

Fig.4 Noise signal estimation based on the wavelet theory

倾角信号经融合算法处理后，信号的信噪比由 21.704 提高到 39.116，均方根误差从 0.035 1 降低至 0.012 6，这意味着倾角信号经融合算法处理后，信号中的噪声成分明显减少，信号的精确度得到改善，数据波动范围和标准差均有所降低，倾角信号更加稳定。

#### 参考文献：

- [1] 刘刚, 康熙, 夏友祥, 等. 基于 GNSS 农田平整全局路径规划方法与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 27-33.  
LIU G, KANG X, XIA Y X, et al. Global path planning method and experiment of farmland leveling based on GNSS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 27-33.
- [2] 康熙, 李笑, 夏友祥, 等. 基于 GNSS 的农田快速平整系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(S1): 13-20.  
KANG X, LI X, XIA Y X, et al. Design of fast land leveling system based on GNSS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(S1): 13-20.
- [3] 王梦樱, 冯茗杨, 于杰. 小波阈值降噪在 GPS 伪距单点定位中的应用[J]. 全球定位系统, 2019, 44(2): 121-126.  
WANG M Y, FENG M Y, YU J. Application of wavelet threshold de-noising in GPS pseudo-distance single point positioning [J]. GNSS World of China, 2019, 44 (2): 121-126.
- [4] 夏友祥, 刘刚, 康熙, 等. 基于 GNSS 的农田平整定位精度优化与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(S1): 40-44.  
XIA Y X, LIU G, KANG X, et al. Optimization and analysis of location accuracy based on GNSS-controlled precise land leveling system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(S1): 40-44.
- [5] 刘兆惠, 李倩, 王超, 等. 基于小波卡尔曼滤波的高速公路交通数据融合去噪算法研究[J]. 公路工程, 2018, 43(6): 91-96.  
LIU Z H, LI Q, WANG C, et al. Research on highway traffic data fusion denoising algorithm based on wavelet kalman filter[J]. Highway Engineering, 2018, 43(6): 91-96.
- [6] 张雪, 王海燕, 李保军. 临床心电信号工频干扰小波去噪方法对比分析[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(4): 902-905.  
ZHANG X, WANG H Y, LI B J. Powerline interference denoising algorithm analysis of ECG signals based on wavelet transform[J]. Computer Measurement & Control, 2010, 18(4): 902-905.
- [7] 郑武, 田中凯. 基于小波变换和时域融合的图像去噪方法[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(7): 84-87.  
ZHENG W, TIAN Z K. Image denoising method based on wavelet transform and time domain fusion[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2004, 26(7): 84-87.

- [8] 肖茂华, 张存义, 傅秀清, 等. 基于 ICEEMDAN 和小波阈值的滚动轴承故障特征提取方法[J]. 南京农业大学学报, 2018, 41(4): 767-774.  
XIAO M H, ZHANG C Y, FU X Q, et al. Feature extraction method for rolling bearing faults based on ICEEMDAN and wavelet threshold[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2018, 41(4): 767-774.
- [9] CAI J H, XIAO Y L. Impulse interference processing for MT data based on a new adaptive wavelet threshold de-noising method[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2017, 10(18): 407.
- [10] HUANG Q B, LIU B N, ZHANG W M, et al. Application of a novel constrained wavelet threshold denoising method in ensemble-based background-error variance[J]. Science China Technological Sciences, 2018, 61(6): 809-818.
- [11] 卢锦涛, 罗杨川云. 基于 db3 小波阈值法的语音信号降噪研究[J]. 电子世界, 2016(20): 163-164.  
LU J T, LUOYANG C Y. Research on denoising of speech signal based on db3 wavelet threshold[J]. Electronic World, 2016(20): 163-164.
- [12] 丁鹏文, 徐泮林, 谷彦斐. 卡尔曼滤波在变形监测数据处理中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2019, 42(3): 189-191, 195.  
DING P W, XU P L, GU Y F. Application of Kalman filter in deformation monitoring data processing[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2019, 42(3): 189-191, 195.
- [13] SIMON D. Kalman filtering with state constraints: a survey of linear and nonlinear algorithms[J]. IET Control Theory & Applications, 2010, 4(8): 1303-1318.
- [14] 刘青, 王直. 基于改进小波阈值函数的光电检测去噪研究[J]. 信息技术, 2018, 42(12): 111-114.  
LIU Q, WANG Z. Photoelectric detection denoising based on improved wavelet threshold function[J]. Information Technology, 2018, 42(12): 111-114.
- [15] 吴金卓, 孔琳琳, 李颖, 等. 近红外光谱法测定土壤全氮和碱解氮含量[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2016, 42(1): 91-96.  
WU J Z, KONG L L, LI Y, et al. Prediction mode of total and available soil nitrogen based on near-infrared spectroscopy[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2016, 42(1): 91-96.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立

(上接第 205 页)

- [26] 王洋, 闫颖, 刘宁, 等. 土壤碳水化合物、氨基酸、木质素特性及其颗粒稳定性研究进展[J]. 土壤通报, 2014, 45(2): 493-499.  
WANG Y, YAN Y, LIU N, et al. Characteristics of different component of soil organic matter and their stability in soil particles[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(2): 493-499.
- [27] 徐洁. 外源酚酸对巨尾桉 2 代萌芽纯林及其与降香黄檀混交林土壤的化感作用[D]. 南宁: 广西大学, 2014.  
XU J. Allelopathic effects of exogenous phenolic acids on soils of *Eucalyptus grandis* G2 sprout pure forest and mingled forest of it and *Dalbergia odorifera*[D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [28] 李淑芬, 俞元春, 何晟. 南方森林土壤溶解有机碳与土壤因子的关系[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 119-123.  
LI S F, YU Y C, HE S. Correlation between dissolved organic carbon and soil factors of the forest soil in southern of China[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2003, 20(2): 119-123.
- [29] MOODY P W, YO S A, AITKEN R L. Soil organic carbon, permanganate fractions, and the chemical properties of acidic soils[J]. Soil Research, 1997, 35(6): 1301-1308.
- [30] 陶澍, 王永华, 刘文新, 等. 引滦水中不同形态天然有机物的卤代活性[J]. 环境科学学报, 1994, 14(1): 19-23.  
TAO S, WANG Y H, LI W X, et al. Halogenated organics from various fractions of natural organic materials in water from Yinluan Channel[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1994, 14(1): 19-23.
- [31] 张芸, 李惠通, 魏志超, 等. 不同发育阶段杉木人工林土壤有机质特征及团聚体稳定性[J]. 生态学杂志, 2016, 35(8): 2029-2037.  
ZHANG Y, LI H T, WEI Z C, et al. Soil organic matter characteristics and aggregate stability in different development stages of Chinese fir plantation[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(8): 2029-2037.
- [32] 李秋言, 赵秀兰. 紫色水稻土颗粒有机质对重金属的富集特征[J]. 环境科学, 2017, 38(5): 2146-2153.  
LI Q Y, ZHAO X L. Enrichment characteristics of heavy metals in particulate organic matter of purple paddy soil[J]. Environmental Science, 2017, 38(5): 2146-2153.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳 正