

# 综采工作面轨迹测量与直线度控制方法<sup>\*</sup>

陈湘源

(国能榆林能源有限责任公司, 陕西 榆林市 719054)

**摘要:** 保证综采工作面的直线度是实现煤炭安全高效开采的基础, 基于采煤机、刮板输送机和液压支架之间的几何约束关系, 将刮板运输机的直线度和采煤机的运行轨迹作为综采工作面的直线度的反映。为了提高采煤机运行轨迹的计算精度, 将惯性导航传感器和液压支架位移传感器数据进行迭代式修正与融合。首先分别对单一液压支架的历史位移序列建立纵向误差模型, 对所有液压支架的一次位移序列建立横向误差模型, 再采用灰色系统理论对两个序列进行误差消除与数据修正。然后通过惯性导航传感器的数据得到采煤机轨迹, 将处理后的液压支架数据进行叠加形成支架轨迹, 再采用卡尔曼滤波方法对采煤机轨迹和支架轨迹进行迭代更新得到预测轨迹, 同时迭代修正采煤机轨迹和预测轨迹数据。仿真试验表明, 该方法可以有效对惯性导航传感器和液压支架误差进行补偿, 提高了控制精度。

**关键词:** 调直系统; 液压支架; 纵向误差模型; 横向误差模型; 灰色系统理论; 卡尔曼滤波方法

**中图分类号:** TD528<sup>+</sup>.3; TD355<sup>+</sup>.4; TD67 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-2763(2024)03-0185-07

## 0 引言

煤炭在我国能源结构中一直占据着重要位置, 我国国民经济和社会发展统计公报指出 2022 年我国煤炭消费总量占能源消费总量的 56.2%<sup>[1]</sup>, 并且绝对总量一直处于增长趋势。随着技术的不断发展, 煤炭的开采也从机械化、自动化向智能化发展, 安全、高效、绿色、少人化对煤炭开采技术提出了更高、更为迫切的要求。长壁综采工作面是主要的煤炭开采方式, 采煤机、刮板运输机和液压支架是综采工作面的主要开采设备, 三者的协调配合是自动化、智能化的基础<sup>[2-5]</sup>。

按照《煤矿安全规程》的规定, 煤壁、刮板运输机和液压支架必须保持直线<sup>[6]</sup>, 由于煤壁、采煤机、刮板运输机和液压支架之间存在几何约束关系, 综采工作面的直线度可以通过刮板运输机的直线度来反映<sup>[7-8]</sup>, 而采煤机在刮板运输机的滑行轨道上移动,

因此采煤机的运行轨迹可以反映综采工作面的直线度<sup>[9-19]</sup>。由于液压支架与刮板运输机之间存在刚性几何约束关系, 因此也可以通过控制液压支架的直线度来对综采工作面进行调直<sup>[20]</sup>。

基于上述分析, 综采工作面直线度的测量与控制途径可以分为三类。一是通过安装在刮板运输机的传感器直接计算刮板运输机的直线度<sup>[7-8]</sup>, 该方法基于光纤光栅曲率传感原理设计光纤光栅三维曲率传感器, 进行刮板输送机三维弯曲度测量; 二是通过安装在采煤机上的惯性导航传感器计算出采煤机的运动轨迹, 间接得到刮板运输机的直线度, 该方法使用最多<sup>[9-19]</sup>; 三是将传感器安装在液压支架上进行液压支架直线度的检测与控制<sup>[20-28]</sup>。

采用光纤光栅传感器检测刮板运输机的直线度具有成本低、精度高等优点, 但由于光纤光栅传感器需要安装在刮板运输机底部, 且煤矿工作环境复杂, 需要专门设计传感器的安装位置, 因此该方法仅在实验室进行了验证, 并未投入生产应用。

采用惯性导航传感器计算采煤机的运动轨迹是实际应用最广泛的一种方法, 该方法通过采煤机的轨迹反映出刮板运输机的移动轨迹, 采用液压支架的推溜控制刮板运输机的位置<sup>[9-19]</sup>。捷联式惯导系统被广泛用于采煤机的定位, 其基本原理是将加速度计与陀螺仪相结合, 测量采煤机在惯性参考系的旋转角度、速度及加速矢量, 通过一次积分和二次积分得出采煤机在导航坐标系中旋转角度、速度和加速矢量, 从而获取采煤机的位置坐标。惯性导航传感器具有独特的优势, 它不受外界干扰, 不需要外部设备, 可以实现连续定位, 并且可以全天候工作, 因此, 它被广泛用于采煤机定位。然而, 依据积分计算得出的惯性导航位置坐标, 长时间积累会造成误差越来越大。此外, 采煤机在工作时振动剧烈也会给传感器数据带来误差<sup>[19]</sup>。

液压支架的调直方法主要通过安装在液压支架

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2023-05-22

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2018YFC0604502); 河南省重大科技专项项目(221100220200)。

**作者简介:** 陈湘源(1972—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 硕士, 高级工程师, 主要从事机电信息智能与安全工程方面的工作, E-mail: 594210365@qq.com。

上的传感器判断液压支架间的相对位置,这些传感器有位移传感器<sup>[20]</sup>、激光阵列<sup>[21-23]</sup>、视觉传感器<sup>[24-25]</sup>、角度与位姿组合传感器等<sup>[26-28]</sup>,在移架过程中使液压支架两两对齐,从而控制液压支架群的直线度。再以液压支架为基准,通过高精度的推移油缸行程传感器控制刮板运输机的直线度,进而实现工作面调直。这种方法需要安装大量传感器,因数据来源于大量传感器,数据的可靠性受到影响;液压支架在对齐过程中存在对齐累计误差,同时缺少整体参考方向,极易偏离回采巷道的垂直方向。

综合以上分析,安装在采煤机上的惯性导航传感器存在累计误差,随着时间的推移会导致采煤机的轨迹预测误差越来越大;基于液压支架的调直方法也存在累计误差和缺少整体参考方向的问题。本文将综合利用采煤机上的惯性导航传感器和液压支架群上的位移传感器的优势,以期提高综采工作面轨迹预测与直线度控制精度。

1 问题描述

综采工作面直线度控制既是实现液压支架自动跟机的前提,也是自动跟机的目标。自动跟机的主要思路是以回采巷道为工作面推进方向,以回采巷道的垂直方向为综采工作面的参考直线方向,沿平行于参考直线方向设定理想轨迹,以理想轨迹和支架位置的差值为液压支架控制的主要目标,经过若干次调整可以将非直线工作面调整为直线工作面。上述过程可以用综采工作面液压支架推溜模型表示,如图1所示。在东北方坐标系下,设定回采巷道方向为工作面推进方向,沿着推进方向的垂直方向布置液压支架、刮板运输机和采煤机。图1中黑色原点表示液压支架移架点,共有 $k-1$ 、 $k$ 和 $k+1$ 三条移架轨迹。三条实际轨迹分别用 $L_{real}(k-1)$ 、 $L_{real}(k)$ 、 $L_{real}(k+1)$ 表示,三条理想轨迹分别用

$L_{ideal}(k-1)$ 、 $L_{ideal}(k)$ 、 $L_{ideal}(k+1)$ 表示。在 $k-1$ 时刻,假定实际轨迹为 $L_{real}(k-1)$ ,设定理想轨迹为 $L_{ideal}(k-1)$ ,电液控制主机计算出液压支架推溜点 $P_i(k-1)$ 的坐标与对应参考直线上对应点 $P'_i(k-1)$ 的坐标的差值,将其作为液压支架调控误差参量,控制第 $i$ 架液压支架向理想轨迹接近。经过若干次调控,实际轨迹会接近于理想轨迹。

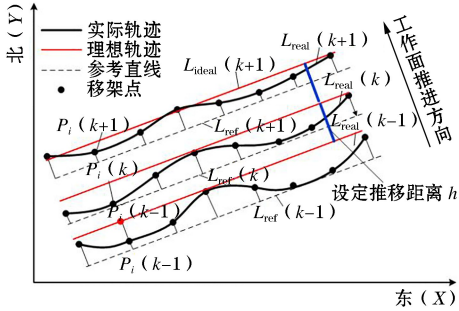


图1 综采工作面液压支架推溜模型示意

在液压支架调整过程中,理想直线度误差由支架的位置测量精度和移架控制精度共同决定。实际轨迹中的支架坐标的检测精度是理想直线度的基础,由于惯性导航传感器的累计误差越来越大,因此需要采用另外的传感器对累计误差进行校正。液压支架群中的位移传感器可以有效表达位移距离,给定液压支架的初始坐标点,再根据位移向量可以计算出液压支架轨迹,将惯导轨迹和液压支架轨迹相互融合、相互校正可以相互弥补各自误差,以提高综采工作面的轨迹预测与直线度控制精度。

2 轨迹测量与直线度控制方案

综采工作面轨迹测量与直线度控制面临惯导数据和液压支架数据相互融合、相互校正的问题,惯性导航传感器数据和液压支架群位移传感器数据相互融合、相互校正方案的具体过程如图2所示。

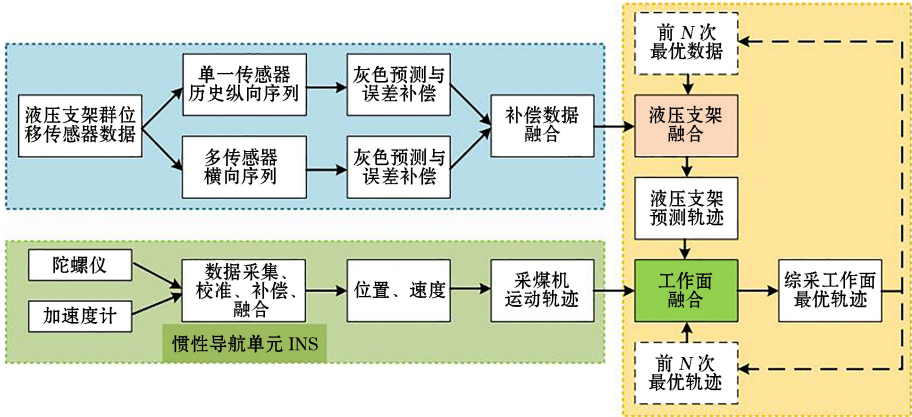


图2 综采工作面轨迹测量与直线度控制方案示意





可以得到误差序列 $(\hat{p}_{i,1}-p_{i,1},\hat{p}_{i,2}-p_{i,2},\cdots,\hat{p}_{i,k}-p_{i,k})$ ,在此基础上再计算误差的方差 $\sigma_{hi}^2$ 。输入纵向序列 $(p_{1,k},p_{2,k},\cdots,p_{i,k})$ ,根据上述过程对其进行预测,可以得到预测序列 $(\bar{p}_{1,k},\bar{p}_{2,k},\cdots,\bar{p}_{i,k})$ ,计算预测序列和原始序列的对应元素差值,可以得到误差序列 $(\bar{p}_{1,k}-p_{1,k},\bar{p}_{2,k}-p_{2,k},\cdots,\bar{p}_{i,k}-p_{i,k})$ ,在此基础上再计算误差的方差 $\sigma_{vk}^2$ 。计算支架的预测值 $\hat{p}_{i,k}=\frac{\sigma_{vk}^2}{\sigma_{hi}^2+\sigma_{vk}^2}\hat{p}_{i,k}+\frac{\sigma_{hi}^2}{\sigma_{hi}^2+\sigma_{vk}^2}\bar{p}_{i,k}$ ,方差较大的序列其误差较大,在进行加权融合时赋予较小的权重。

3.2 基于卡尔曼滤波方法的数据融合与更新

卡尔曼滤波的核心思想是使用前一时刻的最优结果预测当前时刻的预测值,同时使用当前时刻观测值修正当前时刻预测值,得到当前时刻的最优结果。卡尔曼滤波过程主要分为预测阶段和更新阶段,如图 4 所示。

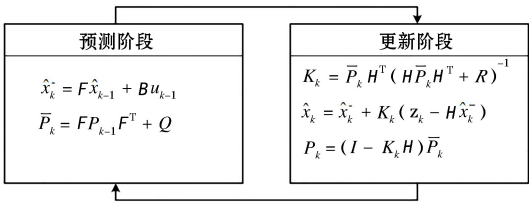


图 4 卡尔曼滤波原理示意

预测阶段,由前一时刻最优估计值 $\hat{x}_{k-1}$ 推测出当前时刻的预测值 $\hat{x}_k^-$ ,其中, $F$ 、 $B$ 分别为变换矩阵和控制矩阵, $u_{k-1}$ 为控制向量。由前一时刻的最优估计值协方差 $P_{k-1}$ 和超参数 $Q$ 推出当前时刻预测值协方差 $\bar{p}_k$ 。

更新阶段,当前时刻的卡尔曼增益 $K_k$ 由预测值协方差 $\bar{p}_k$ 和超参数 $R$ 推出,其中, $H$ 和 $I$ 分别为变换矩阵(将状态变化量转化为预测观测值)和单位矩阵。当前时刻最优估计值 $\hat{x}_k$ 由当前时刻的预测值 $\hat{x}_k^-$ 、观测值 $z_k$ 、当卡尔曼增益 $K_k$ 推出,当前时刻的最优估计值协方差 $P_k$ 由当前时刻的预测值协方差 $\bar{p}_k$ 和卡尔曼增益 $K_k$ 推出。

对于本文来说,采煤机前一时刻的位置最优估计值为 $\hat{x}_{k-1}$ ,前一时刻的速度为 $u_{k-1}$ ,由其可以推出当前时刻的预测位置为 $\hat{x}_k^-$ ;再由当前时刻的预测位置 $\hat{x}_k^-$ 、前一时刻的位置最优估计值 $\hat{x}_{k-1}$ 和当前时刻观测值 $z_k$ 推出当前时刻位置最优估计值 $\hat{x}_k$ ,

$z_k$ 是当前时刻的采煤机坐标和液压支架坐标。

3.3 直线度控制

在获取当前采煤机位置最优估计值 $\hat{x}_k$ 后,计算 $\hat{x}_k$ 和理想轨迹中对应位置 $x_{idea}$ 的差值 $\Delta_{xk}=\hat{x}_k-x_{idea}$ ,再结合前 $s$ 个差值 $\Delta_{xk-1},\Delta_{xk-2},\cdots,\Delta_{xk-s}$ 对其进行加权,计算得出当前液压支架推溜位移量:

$$\Delta_k^c=\omega_k\Delta_{xk}+\omega_{k-1}\Delta_{xk-1}+\omega_{k-2}\Delta_{xk-2}+\cdots+\omega_{k-s}\Delta_{xk-s}$$

(6)

式中, $\omega_k+\omega_{k-1}+\omega_{k-2}+\cdots+\omega_{k-s}=1;\omega_k=s\omega_{k-s},\omega_{k-1}=(s-1)\omega_{k-s},\omega_{k-2}=(s-2)\omega_{k-s},\cdots$ 。

这种策略实际上是对推溜位移量进行平滑滤波,原因是要满足液压支架推溜平滑性的要求。

4 试验与分析

本文采用 MATLAB 2017 软件进行仿真试验,数据来源于某煤矿采煤机惯性导航传感器和液压支架群位移传感器。受论文篇幅所限,论文仅给出了少部分数据。

4.1 灰色系统预测试验

在对液压支架横向序列进行灰色预测试验时,将序列长度设定为 6,替换预测的第 6 位数据,得到预测数据。表 1 给出了 20 个支架的横向序列的原始数据和预测结果。图 5(a)是对应数据的图示,横坐标表示支架序号,纵坐标表示位移传感器数据,蓝色圆圈表示原始数据,红色方块表示预测数据(颜色标识见电子版),可以看出经过预测后,变化幅度大的数据误差被有效控制。对液压支架纵向序列进行试验时,同样将序列长度设定为 6,采用同样的方法得到了表 2 数据,表中给出了某支架的 10 次进刀数据。对应的示意图如图 5(b)所示,横坐标表示进刀次数,同样,蓝色圆圈表示原始数据,红色方块表示预测数据(颜色标识见电子版),从结果可以看出,进刀数据变平滑,与液压支架推溜需要满足的平滑性一致。

表 1 支架横向序列灰色系统原始数据和预测结果 mm

| 支架序号 | 原始  | 预测  | 支架序号 | 原始  | 预测  |
|------|-----|-----|------|-----|-----|
| 1    | 902 | 902 | 11   | 910 | 931 |
| 2    | 946 | 921 | 12   | 944 | 959 |
| 3    | 895 | 922 | 13   | 727 | 850 |
| 4    | 928 | 930 | 14   | 886 | 920 |
| 5    | 897 | 923 | 15   | 883 | 950 |
| 6    | 948 | 924 | 16   | 949 | 962 |
| 7    | 949 | 921 | 17   | 616 | 789 |
| 8    | 865 | 949 | 18   | 620 | 802 |
| 9    | 946 | 902 | 19   | 949 | 940 |
| 10   | 949 | 923 | 20   | 940 | 860 |

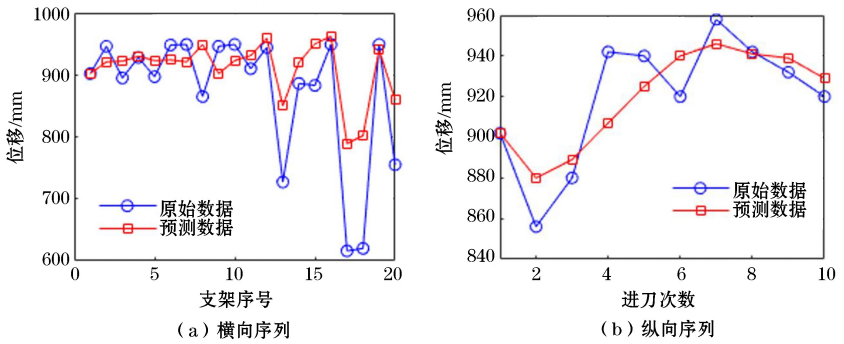


图 5 支架位移横向和纵向序列的灰度预测值与原始数据的对比

表 2 支架纵向序列的原始数据和预测结果 mm

| 进刀次数 | 原始  | 预测  | 进刀次数 | 原始  | 预测  |
|------|-----|-----|------|-----|-----|
| 1    | 902 | 902 | 6    | 920 | 940 |
| 2    | 856 | 880 | 7    | 958 | 946 |
| 3    | 880 | 889 | 8    | 942 | 941 |
| 4    | 942 | 907 | 9    | 932 | 939 |
| 5    | 940 | 925 | 10   | 920 | 929 |

表 4 惯性导航传感器位置坐标

| 序号 | X      | Y      | 序号 | X      | Y      |
|----|--------|--------|----|--------|--------|
| 1  | 177.16 | −83.07 | 26 | 166.22 | −78.36 |
| 2  | 176.76 | −82.60 | 27 | 165.74 | −77.74 |
| 3  | 176.28 | −82.63 | 28 | 165.08 | −78.00 |
| 4  | 176.03 | −82.49 | 29 | 164.96 | −77.70 |
| 5  | 175.84 | −81.69 | 30 | 164.00 | −78.02 |
| 6  | 175.62 | −82.14 | 31 | 163.77 | −77.62 |
| 7  | 175.23 | −81.68 | 32 | 163.25 | −77.36 |
| 8  | 175.04 | −81.31 | 33 | 162.59 | −77.71 |
| 9  | 174.42 | −81.22 | 34 | 161.86 | −77.07 |
| 10 | 174.49 | −80.73 | 35 | 161.60 | −77.02 |
| 11 | 173.92 | −80.56 | 36 | 160.95 | −77.01 |
| 12 | 173.57 | −80.49 | 37 | 160.64 | −76.55 |
| 13 | 172.87 | −80.54 | 38 | 160.03 | −76.82 |
| 14 | 172.57 | −79.94 | 39 | 159.50 | −76.63 |
| 15 | 171.67 | −80.25 | 40 | 159.50 | −76.11 |
| 16 | 171.72 | −79.62 | 41 | 158.68 | −75.78 |
| 17 | 171.26 | −79.29 | 42 | 158.23 | −75.54 |
| 18 | 170.61 | −79.29 | 43 | 157.50 | −75.38 |
| 19 | 170.36 | −78.95 | 44 | 157.48 | −74.53 |
| 20 | 169.72 | −78.49 | 45 | 156.64 | −74.70 |
| 21 | 169.24 | −78.65 | 46 | 156.63 | −73.91 |
| 22 | 168.60 | −78.68 | 47 | 156.40 | −73.39 |
| 23 | 168.12 | −78.45 | 48 | 155.69 | −73.20 |
| 24 | 167.39 | −78.38 | 49 | 155.19 | −72.87 |
| 25 | 166.77 | −78.72 | 50 | 154.55 | −72.64 |

表 3 惯性导航传感器速度 m/s

| 序号 | 原数据  | 序号 | 原数据  |
|----|------|----|------|
| 1  | 0.58 | 26 | 0.72 |
| 2  | 0.60 | 27 | 0.48 |
| 3  | 0.52 | 28 | 0.61 |
| 4  | 0.60 | 29 | 0.52 |
| 5  | 0.52 | 30 | 0.53 |
| 6  | 0.60 | 31 | 0.50 |
| 7  | 0.52 | 32 | 0.61 |
| 8  | 0.60 | 33 | 0.61 |
| 9  | 0.62 | 34 | 0.61 |
| 10 | 0.60 | 35 | 0.61 |
| 11 | 0.60 | 36 | 0.59 |
| 12 | 0.60 | 37 | 0.60 |
| 13 | 0.60 | 38 | 0.60 |
| 14 | 0.60 | 39 | 0.60 |
| 15 | 0.58 | 40 | 0.61 |
| 16 | 0.57 | 41 | 0.61 |
| 17 | 0.57 | 42 | 0.61 |
| 18 | 0.58 | 43 | 0.61 |
| 19 | 0.59 | 44 | 0.62 |
| 20 | 0.59 | 45 | 0.61 |
| 21 | 0.60 | 46 | 0.61 |
| 22 | 0.61 | 47 | 0.73 |
| 23 | 0.60 | 48 | 0.49 |
| 24 | 0.60 | 49 | 0.62 |
| 25 | 0.61 | 50 | 0.60 |

4.2 卡尔曼滤波融合试验

在得到液压支架的融合数据后,按照图 2 所示右半部分程序对工作面轨迹进行最优估计。根据方案所需数据,表 3 给出了 50 组速度传感器数据,表 4 给出了 50 组传感器位置坐标,数据均来自于采煤机的惯性导航传感器单元。

按照上述卡尔曼滤波方法方案,将惯性导航传感器的位置坐标作为状态,速度作为控制量,根据回采巷道方向,以人工事先计算出的理想轨迹坐标为已知参数。根据惯导位置坐标和理想轨迹坐标计算出误差及其方差;根据液压支架轨迹和理想轨迹计算出误差及其方差;由两者的方差计算出融合权重,再计算出最优估计轨迹。图 6 给出了采煤机原始轨迹和最优估计轨迹,蓝色圆圈表示原始轨迹,红色方块表示最优轨迹估计(颜色标识见电子版),可以看出原始轨迹在 X 坐标和 Y 坐标两个方向均存在误差,采用上述方法处理后,两个方向的误差均得到了

控制。图7给出了最优估计值和原始数据的误差,横坐标表示数据序号,纵坐标表示误差值,可以看出在单一方向上,误差最大约为0.6 m,卡尔曼滤波算法对两个方向的误差均进行了明显控制。

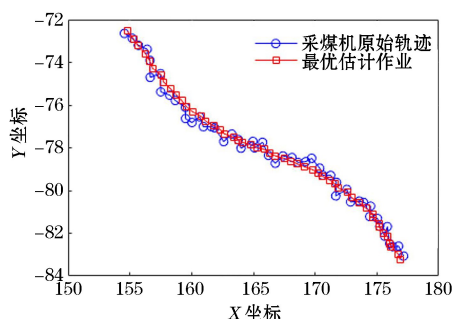


图6 采煤机原始轨迹与最优估计轨迹

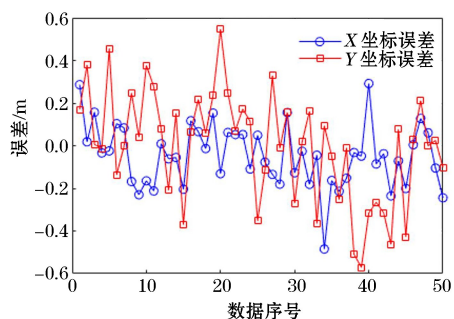


图7 最优估计轨迹与原始轨迹坐标误差

## 5 结论

由于综采工作面的环境非常复杂,工作面的直线度测量与控制精度受到各种因素的影响。本文有效利用采煤机惯性导航传感器和液压支架上的位移传感器,采用卡尔曼滤波方法将两者相互融合,以简洁的方式对两种数据迭代更新,达到了相互补偿的目的;为了消除位移传感器的偶然性误差,采用灰色系统理论对位移传感器进行了预测与补偿。根据采煤机的真实数据对算法进行了仿真,结果表明,卡尔曼滤波算法能够有效消除原始误差。本文方法所使用的两种传感器数据均来自于现有设备,无需额外增加传感器和重新设计传感器,具有安装升级方便、成本低等优点。

## 参考文献(References):

[1] 中华人民共和国国家统计局. 中华人民共和国 2001 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计, 2002(3): 7-10.  
[2] 方新秋, 梁敏富, 李爽, 等. 智能工作面多参量精准感知与安全决策关键技术[J]. 煤炭学报, 2020, 45(1): 16.  
[3] 高有进, 杨艺, 常亚军, 等. 综采工作面智能化关键技术现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(8): 1-22.

[4] 张帅, 任怀伟, 韩安, 等. 复杂条件工作面智能化开采关键技术及发展趋势[J]. 工矿自动化, 2022, 48(3): 16-25.  
[5] 王世博, 葛世荣, 王世佳, 等. 长壁综采工作面无人自主开采发展路径与挑战[J]. 煤炭科学技术, 2022(2): 231-243.  
[6] 李建业. 煤矿安全管理方法及问题研究[N]. 科学导报, 2017-04-07(C08).  
[7] 方新秋, 宁耀圣, 李爽, 等. 基于光纤光栅的刮板输送机直线度感知关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 152-158.  
[8] 宁耀圣. 智能工作面刮板输送机直线度感知机理研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.  
[9] 王世博, 何亚, 王世佳, 等. 刮板输送机调直方法与试验研究[J]. 煤炭学报, 2017, 42(11): 3044-3050.  
[10] 李森. 基于惯性导航的工作面直线度测控与定位技术[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 169-174.  
[11] 杨振. 刮板输送机自动调直过程分析[J]. 自动化应用, 2019(9): 110-111.  
[12] 刘旭, 王世博, 韩子晨, 等. 刮板输送机调直方法研究[J]. 煤矿机械, 2020, 41(6): 54-57.  
[13] 王学文, 李素华, 谢嘉成, 等. 机器人运动学与时序预测融合驱动的刮板输送机调直方法[J]. 煤炭学报, 2021, 46(2): 652-666.  
[14] 张帆, 李闯, 李昊. 智能综采工作面刮板输送机直线度监测方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(4): 246-255.  
[15] 葛世荣, 王世佳, 曹波, 等. 智能采运机组自主定位原理与技术[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 75-86.  
[16] 邱磊, 韩康, 贾振明. 基于惯导系统的采煤机定位及支架自动调直技术应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(9): 45-47.  
[17] 窦涛, 伏淇, 黄宇新, 等. 基于惯导系统的工作面调直研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(17): 18-20.  
[18] 李文俊, 周展. 基于惯导系统的综采工作面自动调直技术[J]. 陕西煤炭, 2022, 41(4): 130-133+146.  
[19] 王雪松, 王世博, 王世佳, 等. 刮板输送机直线度误差预测模型[J]. 中国矿业大学学报, 2023, 52(1): 168-177.  
[20] 胡波, 廉自生. 基于支持向量机和遗传算法的液压支架调直系统研究[J]. 煤矿机械, 2014, 35(10): 39-41.  
[21] 牛剑峰. 综采工作面直线度控制系统研究[J]. 工矿自动化, 2015, 41(5): 5-8.  
[22] 王宇卓, 常宗旭, 高飞, 等. 液压支架的调直方法研究[J]. 机电工程, 2021, 38(5): 645-649.  
[23] 王宇卓. 液压支架推移控制及工作面调直研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2021.  
[24] 张旭辉, 王冬曼, 杨文娟. 基于视觉测量的液压支架位姿检测方法[J]. 工矿自动化, 2019, 45(3): 56-60.  
[25] 牛剑峰. 基于视频巡检的综采工作面无人化关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 141-146.  
[26] 白晋铭, 王然风, 付翔. 基于架间行走机器人的液压支架直线度测量方法[J]. 工矿自动化, 2019, 45(1): 45-51.  
[27] 宋单阳, 卢春贵, 陶心雅, 等. 基于最大熵卡尔曼滤波算法的液压支架调直方法[J]. 工矿自动化, 2022, 48(11): 119-124.  
[28] 闫译文, 谢嘉成, 李素华, 等. 基于虚拟现实与数字孪生技术的综采工作面直线度求解[J]. 工矿自动化, 2023, 49(2): 31-37.

Trajectory Measurement and Straightness Control Method of Fully Mechanized Mining Face

CHEN Xiangyuan

(Guoneng Yulin Energy Co., Ltd., Yulin, Shaanxi 719054, China)

**Abstract:** Ensuring the straightness of the fully mechanized mining face is the foundation for achieving safe and efficient coal mining. Based on the geometric constraint relationship between shearer, scraper conveyor and hydraulic support, the straightness of scraper conveyor and the operating trajectory of shearer were taken as the reflection of the straightness of fully mechanized mining face. In order to improve the calculation accuracy of the operating trajectory of the shearer, the inertial navigation sensor and hydraulic support displacement sensor data were iteratively corrected and fused. Firstly, a longitudinal error model was established for the historical displacement sequence of a single hydraulic support, and a lateral error model was established for the primary displacement sequence of all hydraulic supports. Grey system theory was used to eliminate errors and correct data for the two sequences. Then, the data from the inertial navigation sensor was used to obtain the shearer trajectory. The processed hydraulic support data was overlaid to form the support trajectory, and the Kalman filtering method was used to iteratively update the shearer trajectory and the support trajectory to obtain the predicted trajectory. At the same time, the shearer trajectory and the predicted trajectory data were iteratively corrected. Simulation experiments show that this method can effectively compensate for the errors of the inertial navigation sensors and hydraulic supports, and improve control accuracy.

**Key words:** Straightening system, Hydraulic support, Longitudinal error model, Lateral error model, Grey system theory, Kalman filtering method