



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113236363 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 27

(21) 申请号 202110442827.8

E21F 17/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.04.23

E21F 13/06 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

E21D 15/50 (2006.01)

申请公布号 CN 113236363 A

E21D 15/44 (2006.01)

E21C 35/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.08.10

G01C 21/16 (2006.01)

(73) 专利权人 陕西陕煤黄陵矿业有限公司

G01C 22/00 (2006.01)

地址 727307 陕西省延安市黄陵县店头镇

G01S 17/06 (2006.01)

专利权人 西安合智宇信息科技有限公司

G01S 17/86 (2020.01)

(72) 发明人 宋焘 李旭 符少华 董博

(56) 对比文件

党恩辉

CN 111927518 A, 2020.11.13

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

毛明仓等. 基于透明地质大数据智能精准开采技术研究. 煤炭科学技术. 2021, 第49卷(第1期), 286-293.

公司 61200

专利代理师 房鑫

审查员 苏东洋

(51) Int. Cl.

E21F 17/18 (2006.01)

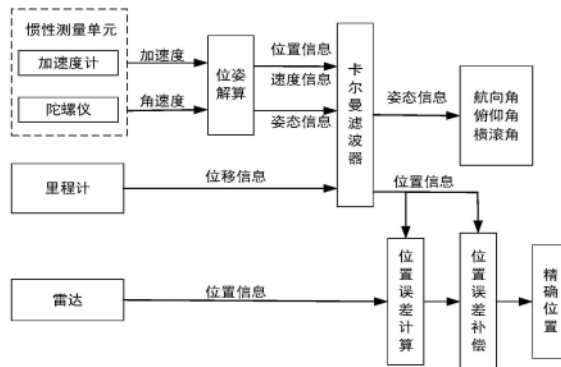
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

开采设备导航定位方法、系统、设备及可读存储介质

(57) 摘要

本发明公开了一种开采设备导航定位方法、系统、设备及可读存储介质,包括获取刮板输送机两端分别与综采工作面运输巷标识板及综采工作面回风巷标识板的位置关系,对惯导系统进行初始位置校准;对惯导信息及里程计信息进行融合,获取采煤机实时位姿信息;对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板运输机的直线度,即得到开采设备导航定位结果;本发明利用刮板输送机两端分别与综采工作面预设标识板的位置关系对惯导系统进行初始位置校准,实现了对惯导系统与里程计组合定位运行后位姿检测累计误差的补偿;通过对惯导信息及里程计信息的融合,获取采煤机实时位姿信息,对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板运输机的直线度;定位精度高,时间校准耗时较短。



1. 一种开采设备导航定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

获取刮板输送机两端分别与综采工作面运输巷标识板及综采工作面回风巷标识板的位置关系,对惯导系统进行初始位置校准;

对惯导信息及里程计信息进行融合,获取采煤机实时位姿信息;

对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板输送机的直线度,即得到开采设备导航定位结果;

采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合,得到采煤机实时位姿信息;其中,采煤机实时位姿信息包括采煤机的航向角、俯仰角及横滚角;

采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合过程,具体如下:

选取惯导系统速度误差、姿态误差、位置误差、陀螺零偏、加速度计零偏及里程计可读因子误差,作为惯导系统-里程计组合系统的状态量;

选取里程计和惯导系统位置信息的差值,作为惯导系统-里程计组合系统的量测值;其中,惯导系统-里程计组合系统的量测值为:

$$Z(t) = H(t)X(t) + V(t)$$

其中, $Z(t)$ 为时刻 t 的量测值; $H(t)$ 为量测矩阵; $X(t)$ 为惯导系统-里程计组合系统的状态量; $V(t)$ 为量测信号的测量白噪声;

将卡尔曼滤波器和激光雷达系统输出的局部最优估计和局部最优误差协方差阵送入主滤波器进行信息融合,得到系统状态量测值的全局最优估计值和全局最优误差协方差阵;

利用获得的捷联惯导误差状态的全局最优估计值,实时对捷联惯导系统进行误差校正,得到采煤机实时位姿信息;

采用激光雷达系统,获取刮板输送机两端分别与综采工作面运输巷标识物及综采工作面回风巷标识物的位置关系;

其中,激光雷达系统设置在刮板输送机两端,综采工作面运输巷标识物及综采工作面回风巷标识物均为激光雷达标识物;激光雷达标识物设置在综采工作面运输巷及综采工作面回风巷的帮部;

对采煤机位置信息进行拟合过程,具体为:

采用激光雷达信息矫正惯导信息及里程计信息的累计误差,获取采煤机在液压支架推进方向的绝对位置;

在每刀截割开始,运用激光雷达系统测量激光雷达标识物位置,根据激光雷达标识物的绝对位置推算出刮板输送机两端的绝对位置,并通过刮板输送机两端的绝对位置信息修正惯导信息与里程计在该刀截割产生的位置误差;每刀截割开始都通过激光雷达信息修正惯导系统与里程计产生的累积误差,从而实现刮板输送机每刀直线度的精确检测。

2. 根据权利要求1所述的一种开采设备导航定位方法,其特征在于,惯导系统设置在采煤机中,惯导信息包括角速度和线性加速度。

3. 根据权利要求1所述的一种开采设备导航定位方法,其特征在于,对惯导系统进行初始位置校准过程,采用四元数模型,对惯导信息进行更新解算,得到惯导系统的姿态信息、速度信息及位置信息。

4. 一种开采设备导航定位系统,其特征在於,包括初始校准模块、信息融合模块及输出模块;

初始校准模块,用于获取刮板运输机两端分别与综采工作面运输巷标识板及综采工作面回风巷标识板的位置关系,对惯导系统进行初始位置校准;

信息融合模块,用于对惯导信息及里程计信息进行融合,获取采煤机实时位姿信息;

输出模块,用于对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板运输机的直线度,即得到开采设备导航定位结果;

采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合,得到采煤机实时位姿信息;其中,采煤机实时位姿信息包括采煤机的航向角、俯仰角及横滚角;

采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合过程,具体如下:

选取惯导系统速度误差、姿态误差、位置误差、陀螺零偏、加速度计零偏及里程计可读因子误差,作为惯导系统-里程计组合系统的状态量;

选取里程计和惯导系统位置信息的差值,作为惯导系统-里程计组合系统的量测值;其中,惯导系统-里程计组合系统的量测值为:

$$Z(t) = H(t)X(t) + V(t)$$

其中, $Z(t)$ 为时刻 t 的量测值; $H(t)$ 为量测矩阵; $X(t)$ 为惯导系统-里程计组合系统的状态量; $V(t)$ 为量测信号的测量白噪声;

将卡尔曼滤波器和激光雷达系统输出的局部最优估计和局部最优误差协方差阵送入主滤波器进行信息融合,得到系统状态量测值的全局最优估计值和全局最优误差协方差阵;

利用获得的捷联惯导误差状态的全局最优估计值,实时对捷联惯导系统进行误差校正,得到采煤机实时位姿信息;

采用激光雷达系统,获取刮板运输机两端分别与综采工作面运输巷标识物及综采工作面回风巷标识物的位置关系;

其中,激光雷达系统设置在刮板运输机两端,综采工作面运输巷标识物及综采工作面回风巷标识物均为激光雷达标识物;激光雷达标识物设置在综采工作面运输巷及综采工作面回风巷的帮部;

对采煤机位置信息进行拟合过程,具体为:

采用激光雷达信息矫正惯导信息及里程计信息的累计误差,获取采煤机在液压支架推进方向的绝对位置;

在每刀截割开始,运用激光雷达系统测量激光雷达标识物位置,根据激光雷达标识物的绝对位置推算出刮板运输机两端的绝对位置,并通过刮板运输机两端的绝对位置信息修正惯导信息与里程计在该刀截割产生的位置误差;每刀截割开始都通过激光雷达信息修正惯导系统与里程计产生的累积误差,从而实现刮板输送机每刀直线度的精确检测。

5. 一种开采设备导航定位设备,其特征在於,包括存储器、处理器及存储在所述存储器中并可在所述处理器中运行的可执行指令;所述处理器执行所述可执行指令时实现如权利要求1-3任一项所述的方法。

6. 一种计算机可读存储介质,其特征在於,其上存储有计算机可执行指令,所述可执行指令被处理器执行时实现如权利要求1-3任一项所述的方法。

开采设备导航定位方法、系统、设备及可读存储介质

技术领域

[0001] 本发明属于采煤自动化技术领域,特别涉及一种开采设备导航定位方法、系统、设备及可读存储介质。

背景技术

[0002] 目前,采煤工作面设备的导航定位大多采用惯性导航系统;惯性导航系统主要采用陀螺仪和加速度等惯性测量设备为敏感器件进行导航,惯性导航系统能够在角速度和线加速度等初始测量数据的基础上,通过搭建模型坐标系和算法解出被测物体的速度、位移及航向角等信息。

[0003] 惯性导航系统一般采用积分算法解算被测物体的位置信息,随着工作时间的增长,累计误差较大,其定位精度将越来越差;同时,惯性导航系统需要进行时间校准,时间校准耗时较长。

发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的技术问题,本发明提供了一种开采设备导航定位方法、系统、设备及可读存储介质,以解决采用惯性导航系统对采煤工作面设备进行导航时,定位精度差,时间校准耗时较长,无法实时更新的技术问题。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0006] 本发明提供了一种开采设备导航定位方法,包括以下步骤:

[0007] 获取刮板输送机两端分别与综采工作面运输巷标识板及综采工作面回风巷标识板的位置关系,对惯导系统进行初始位置校准;

[0008] 对惯导信息及里程计信息进行融合,获取采煤机实时位姿信息;

[0009] 对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板输送机的直线度,即得到开采设备导航定位结果。

[0010] 进一步的,采用激光雷达系统,获取刮板输送机两端分别与综采工作面运输巷标识物及综采工作面回风巷标识物的位置关系;

[0011] 其中,激光雷达系统设置在刮板输送机两端,综采工作面运输巷标识物及综采工作面回风巷标识物均为激光雷达标识物;激光雷达标识物设置在综采工作面运输巷及综采工作面回风巷的帮部。

[0012] 进一步的,采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合,得到采煤机实时位姿信息;其中,采煤机实时位姿信息包括采煤机的航向角、俯仰角及横滚角。

[0013] 进一步的,采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合过程,具体如下:

[0014] 选取惯导系统速度误差、姿态误差、位置误差、陀螺零偏、加速度计零偏及里程计可读因子误差,作为惯导系统-里程计组合系统的状态量;

[0015] 选取里程计和惯导系统位置信息的差值,作为惯导系统-里程计组合系统的量测

值;

[0016] 将卡尔曼滤波器和激光雷达系统输出的局部最优估计和局部最优误差协方差阵送入主滤波器进行信息融合,得到系统状态量测值的全局最优估计值和全局最优误差协方差阵;

[0017] 利用获得的捷联惯导误差状态的全局最优估计值,实时对捷联惯导系统进行误差校正,得到采煤机实时位姿信息。

[0018] 进一步的,对采煤机位置信息进行拟合过程,具体为:

[0019] 采用激光雷达信息矫正惯导信息及里程计信息的累计误差,获取采煤机在液压支架推进方向的绝对位置。

[0020] 进一步的,惯导系统设置在采煤机中,惯导信息包括角速度和线性加速度。

[0021] 进一步的,对惯导系统进行初始位置校准过程,采用四元数模型,对惯导信息进行更新解算,得到惯导系统的姿态信息、速度信息及位置信息。

[0022] 本发明还提供了一种开采设备导航定位系统,包括初始校准模块、信息融合模块及输出模块;

[0023] 初始校准模块,用于获取刮板运输机两端分别与综采工作面运输巷标识板及综采工作面回风巷标识板的位置关系,对惯导系统进行初始位置校准;

[0024] 信息融合模块,用于对惯导信息及里程计信息进行融合,获取采煤机实时位姿信息;

[0025] 输出模块,用于对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板运输机的直线度,即得到开采设备导航定位结果。

[0026] 本发明还提供了一种开采设备导航定位设备,包括存储器、处理器及存储在所述存储器中并可在所述处理器中运行的可执行指令;所述处理器执行所述可执行指令时实现所述的开采设备导航定位方法。

[0027] 本发明还提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机可执行指令,所述可执行指令被处理器执行时实现所述的开采设备导航定位方法。

[0028] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0029] 本发明提供了一种开采设备导航定位方法及系统,利用刮板运输机两端分别与综采工作面预设标识板的位置关系对惯导系统进行初始位置校准,实现了对惯导系统与里程计组合定位过程中长时间运行后位姿检测累计误差的补偿;通过对惯导信息及里程计信息的融合,获取采煤机实时位姿信息,并对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板运输机的直线度;定位精度高,时间校准耗时较短,为综采工作面液压支架自动调直奠定了良好基础,对煤矿智能开采具有重要意义。

附图说明

[0030] 图1为本发明中组合惯导系统的布置结构图;

[0031] 图2为本发明中的惯导信息融合过程流程图;

[0032] 图3为实施例中采煤机在150m工作面往返的y方向位移曲线图;

[0033] 图4为实施例中刮板运输机直线度检测误差曲线图。

具体实施方式

[0034] 为了使本发明所解决的技术问题,技术方案及有益效果更加清楚明白,以下具体实施例,对本发明进行进一步的详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0035] 本发明提供了一种开采设备导航定位方法,利用组合惯导系统对综采工作面刮板运输机直线度的检测;其中,组合惯导系统包括惯导系统、里程计及激光雷达系统;通过对惯导系统、里程计及激光雷达系统信息的融合,有效降低了刮板运输机的直线度误差,为综采工作面液压支架自动调直奠定了良好基础;具体包括以下步骤:

[0036] 步骤1、采用激光雷达系统,获取刮板运输机两端分别与综采工作面运输巷标识板及综采工作面回风巷标识板的位置关系,对惯导系统进行初始位置校准;其中,激光雷达系统设置在刮板运输机两端,综采工作面运输巷标识物及综采工作面回风巷标识物均为激光雷达标识物;激光雷达标识物设置在综采工作面运输巷及综采工作面回风巷的帮部;惯导系统设置在采煤机中,惯导信息包括角速度和线性加速度;采用四元数模型对惯导信息进行更新解算,得到惯导系统的姿态信息、速度信息及位置信息。

[0037] 步骤2、采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合,得到采煤机实时位姿信息;其中,采煤机实时位姿信息包括采煤机的航向角、俯仰角及横滚角;采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合过程,具体如下:

[0038] 选取惯导系统速度误差、姿态误差、位置误差、陀螺零偏、加速度计零偏及里程计可读因子误差,作为惯导系统-里程计组合系统的状态量;

[0039] 选取里程计和惯导系统位置信息的差值,作为惯导系统-里程计组合系统的量测值;

[0040] 将卡尔曼滤波器和激光雷达系统输出的局部最优估计和局部最优误差协方差阵送入主滤波器进行信息融合,得到系统状态量测值的全局最优估计值和全局最优误差协方差阵;

[0041] 利用获得的捷联惯导误差状态的全局最优估计值,实时对捷联惯导系统进行误差校正,得到采煤机实时位姿信息。

[0042] 步骤3、对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板运输机的直线度,即得到开采设备导航定位结果;本发明中,采用激光雷达信息矫正惯导信息及里程计信息的累计误差,获取采煤机在液压支架推进方向的绝对位置。

[0043] 本发明提供了一种开采设备导航定位方法及系统,利用刮板运输机两端分别与综采工作面预设标识板的位置关系对惯导系统进行初始位置校准,实现了对惯导系统与里程计组合定位过程中长时间运行后位姿检测累计误差的补偿;通过对惯导信息及里程计信息的融合,获取采煤机实时位姿信息,并对采煤机位置信息进行拟合,得到刮板运输机的直线度;定位精度高,时间校准耗时较短,为综采工作面液压支架自动调直奠定了良好基础,对煤矿智能开采具有重要意义。

[0044] 实施例

[0045] 本实施例以某矿某工作面为例;如附图1所示,本实施例中,利用组合惯导系统对刮板运输机直线度进行检测;其中,组合惯导系统包括惯导系统、里程计及激光雷达系统;惯导系统及里程计均安装在采煤机上,激光雷达安装在刮板运输机两端,激光雷达标识物

设置在综采工作面运输巷及综采工作面回风巷的帮部,且每个激光雷达标识物在综采工作面的绝对位置均为已知。

[0046] 如附图2所示,本实施例提供了一种开采设备导航定位方法,利用卡尔曼滤波算法,对惯导信息及里程计信息进行信息融合,获取采煤机位姿信息;现有技术中,随着时间推移,惯导系统本身产生累积误差,里程计打滑也存在累积误差,导致惯导系统-里程计组合产生位姿检测累积误差;本实施例中,在每刀截割开始,运用激光雷达系统测量激光雷达标识物位置,根据激光雷达标识物的绝对位置推算出刮板运输机两端的绝对位置,并通过刮板运输机两端的绝对位置信息修正惯导信息与里程计在该刀截割产生的位置误差;每刀截割开始都通过激光雷达信息修正惯导系统与里程计产生的累积误差,从而实现刮板输送机每刀直线度的精确检测。

[0047] 具体包括以下步骤:

[0048] 步骤1、采用激光雷达系统,获取刮板运输机两端分别与综采工作面运输巷标识板及综采工作面回风巷标识板的位置关系,对惯导系统进行初始位置校准;其中,惯导系统采用捷联惯导系统。

[0049] 本实施例中,对惯导系统进行初始位置校准过程,采用四元数模型对捷联惯导系统位置进行更新解算;惯导系统姿态信息、速度信息及位置信息的更新解算是惯导系统的核心部分,是影响整个系统精度的主要因素。

[0050] 更新解算过程如下:

[0051] 将惯导系统固定在采煤机上,设采煤机坐标系为载体坐标系**b**,采煤机的前进方向为 x_b 轴,机身平面上与垂直的方向为 y_b 轴,与机身平面垂直的方向为 z_b 轴;选取地理坐标系**g**为导航坐标系**n**系,以采煤机重心为中心;规定 x_n 为指向东方向, y_n 为指向北方向, z_n 为指向天方向;采煤机的航向角记为 ϕ ,俯仰角记为 θ ,横滚角记为 γ 。

[0052] 采煤机姿态更新的姿态四元数微分方程为:

$$[0053] \quad \dot{Q}(t) = \frac{1}{2}Q(t) \otimes (\omega_{nb}^b)_q \quad (1)$$

$$[0054] \quad \omega_{nb}^b = \omega_{ib}^b - C_n^b \omega_{in}^n = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} - C_n^b \begin{bmatrix} -\frac{v_y}{R_M+h} \\ \omega_{ie} \cos L + \frac{v_x}{R_N+h} \\ \omega_{ie} \sin L - \frac{v_x}{R_N+h} \tan L \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0055] 其中, $Q(t)$ 为描述采煤机姿态的姿态四元数; $\omega_{ib}^b = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ 为陀螺仪测量的采煤机角速度; ω_{ie} 为地球自转角速度; h 为综采工作面采煤机所在的海拔高度; v_x, v_y 和 v_z 分别为采煤机在导航坐标系下的速度分量; L 为采煤机所处地球上的纬度; $(\omega_{nb}^b)_q$ 为向量 ω_{nb}^b 表示四元数的形式; R_M, R_N 分别为采煤机所在地点地球子午圈和卯酉圈曲率半径。

[0056] 根据采煤机的姿态矩阵,可以提取出来采煤机的实时姿态角:

$$[0057] \quad C_n^b = \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \phi + \sin \gamma \sin \phi \sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \sin \gamma \cos \phi - \cos \gamma \sin \phi \sin \theta \\ -\cos \gamma \sin \phi + \sin \gamma \cos \phi \sin \theta & \cos \phi \cos \theta & -\sin \gamma \sin \phi - \cos \gamma \cos \phi \sin \theta \\ -\sin \gamma \cos \theta & \sin \theta & \cos \gamma \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0058] 则姿态角为:

$$[0059] \quad \begin{cases} \theta = \sin^{-1}(T_{32}) \\ \gamma = -\tan\left(\frac{T_{31}}{T_{33}}\right) \\ \phi = \tan^{-1}\left(\frac{T_{12}}{T_{22}}\right) \end{cases} \quad (4)$$

[0060] 采煤机速度更新的微分方程为:

$$[0061] \quad \begin{cases} \dot{v}_x = f_x + (2\omega_{ie} \sin L + \frac{v_x}{R_{N+h}} \tan L)v_y - (2\omega_{ie} \cos L + \frac{v_x}{R_{N+h}})v_z \\ \dot{v}_y = f_y - (2\omega_{ie} \sin L + \frac{v_x}{R_{N+h}} \tan L)v_x - \frac{v_x}{R_{N+h}}v_z \\ \dot{v}_z = f_z + (2\omega_{ie} \cos L + \frac{v_x}{R_{N+h}})v_x + \frac{v_y^2}{R_{M+h}} - g \end{cases} \quad (5)$$

[0062] 其中, $f = [f_x \ f_y \ f_z]^T$ 为加速度计测量的比力; g 为采煤机的所在位置重力加速度的大小。

[0063] 采煤机位置更新微分方程为:

$$[0064] \quad \begin{cases} \dot{\lambda} = \frac{v_y}{R_{M+h}} \\ \dot{\lambda} = \frac{v_x}{(R_{N+h}) \cos L} \\ \dot{h} = v_z \end{cases} \quad (6)$$

[0065] 通过对(6)式积分即可得到采煤机所在位置的经度、纬度和高度;将惯导系统安装在采煤机内部,角速度和线性加速度由三轴陀螺仪与三轴加速度计采集,并进行解算得到惯导系统的姿态信息、速度信息与位置信息。

[0066] 激光雷达系统设置在刮板运输机两端,激光雷达标志物设置在综采工作面运输巷的帮部及综采工作面回风巷的帮部。

[0067] 步骤2、采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程计信息进行融合,获取采煤机实时位姿信息;其中,采煤机实时位姿信息包括采煤机的航向角、俯仰角及横滚角;本实施例中,采用卡尔曼滤波算法对惯导信息及里程及信息进行融合过程,具体如下:

[0068] 里程计与齿轨由轴连接器连接,采集采煤机的移动距离,通过卡尔曼滤波融合修正惯导累积误差;其中,选取惯导系统的速度误差 δV^n 、姿态误差 ϕ^n 、位置误差 δP^n 、陀螺零偏 ε 、加速度计零偏 ∇ 及里程计刻度因子误差 δK , 作为惯导系统-里程计组合系统的状态量:

$$[0069] \quad X(t) = [(\delta V^n)^T, (\phi^n)^T, \delta P^n, (\varepsilon)^T, (\nabla)^T, \delta K]^T \quad (7)$$

[0070] 则系统状态方程为:

$$[0071] \quad \dot{X}(t) = F(t)X(t) + G(t)W(t) \quad (8)$$

[0072] 其中, $F(t)$ 为状态转移矩阵, $G(t)$ 为系统噪声系数阵, $W(t)$ 表示噪声矩阵。

[0073] 选取里程计与捷联惯导位置信息的差值作为量测值:

$$[0074] \quad Z(t) = H(t)X(t) + V(t) \quad (9)$$

[0075] 其中, $H(t)$ 为量测矩阵; $V(t)$ 为量测信号的测量白噪声。

[0076] 将惯导系统-里程计组合系统的状态量与量测量离散化处理,获得离散型状态方程和量测方程:

$$[0077] \quad \begin{cases} x_k = Fx_{k-1} + Bu_{k-1} + w_k \\ z_k = Hx_k + v_k \end{cases} \quad (10)$$

[0078] 其中, F 为状态转移矩阵, x_{k-1} 为 $k-1$ 时刻的状态量, x_k 为 k 时刻的状态量, u_{k-1} 为 $k-1$

时刻系统的输入量; w_k 为过程状态噪声,服从均值为0,方差为Q的正态分布; B 为输入增益矩阵, z_k 为k时刻观测量, H 为测量矩阵; v_k 为量测噪声,服从均值为0,方差为R的正态分布。

[0079] 根据系统上一时刻的状态量预测下一时刻的状态量:

$$[0080] \quad \begin{cases} \hat{x}_k^- = F\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \\ P_k^- = FP_{k-1}F^T + Q \end{cases} \quad (11)$$

[0081] 其中, \hat{x}_k^- 为第k时刻的状态预测量, u_{k-1} 为k-1时刻系统的输入量, \hat{x}_{k-1} 为第k-1时刻的状态估计值; P_{k-1} 为k-1时刻估计误差协方差矩阵, P_k^- 为预测误差协方差阵。

[0082] 利用里程计和惯导系统的位置差值作为观测量,来校正融合定位定向系统的位置误差:

$$[0083] \quad \begin{cases} K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \\ \hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k z_k \end{cases} \quad (12)$$

[0084] 其中, K_k 为卡尔曼增益; R 为方差,与传感器的精度相关。

[0085] 对协方差进行更新:

$$[0086] \quad P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad (13)$$

[0087] 本实施例中,将卡尔曼滤波器和激光雷达输出的局部最优估计 $\hat{x}_{k,i}$ ($i = 1,2$)和局部最优误差协方差阵 $\Sigma_{\hat{x},i}$ ($i = 1,2$)送入主滤波器进行信息融合,得到系统状态的全局最优估计值 \hat{X} 和全局最优误差协方差阵 $\Sigma_{\hat{X}}$;最后利用获得的捷联惯导误差状态的全局最优估计值定实时对捷联惯导系统进行误差校正,得到采煤机实时位姿信息。

[0088] 最优估计融合算法为:

$$[0089] \quad \begin{cases} \Sigma_{\hat{X}} = (\Sigma_{\hat{x},1}^{-1} + \Sigma_{\hat{x},2}^{-1})^{-1} \\ \hat{x}_k = \Sigma_{\hat{X}} (\Sigma_{\hat{x},1}^{-1} \hat{X}_1 + \Sigma_{\hat{x},2}^{-1} \hat{X}_2) \end{cases} \quad (14)$$

[0090] 步骤3、对检测的采煤机位置信息进行拟合,即可获得刮板输送机的直线度,即得到开采设备的导航定位结果。

[0091] 本实施例中,为了验证刮板输送机直线度检测方法在煤矿井下复杂环境下的可行性,构建了基于组合惯导系统,对综采工作面刮板输送机直线度进行检测;在某矿某综采工作面进行试验;其中,液压支架宽度为1.5m,采煤机为MG650/1630-WD。

[0092] 建立采煤机坐标系,x轴指向采煤机牵引方向,y轴指向工作面推进方向,z轴指向高度方向,惯导系统对准后,陀螺仪精度为 $0.01^\circ/h$,加速度计精度为 $5 \times 10^{-5}g$ 。

[0093] 试验过程中,液压支架基本调直后不动,采煤机在约150m的工作面往复运行,得到往返的y方向位移曲线和y方向误差曲线分别如图3和图4所示;其中,y方向的最大误差小于7cm;本实施例实现了该综采工作面的刮板输送机直线度检测误差小于7cm。

[0094] 本发明所述的开采设备导航定位方法,针对综采工作面刮板输送机直线度检测,采用捷联惯导、里程计和雷达信息融合的直线度检测方法;本发明运用卡尔曼滤波方法对惯导、里程计和雷达信息进行融合,可以校正惯导与里程计组合定位累积误差和为惯导提供基准坐标,为综采工作面自动调直奠定了良好基础。

[0095] 本发明中,组合惯导系统由捷联惯导、里程计与激光雷达构成;在每刀煤割开始前,利用激光雷达系统测量刮板输送机两端分别与综采工作面运输巷、回风巷标识板的位

置关系来对捷联惯导进行初始位置校准,解决了捷联惯导与里程计组合定位方法在长时间运行后位姿检测累积误差补偿难题;对准完成后,运用卡尔曼滤波算法对捷联惯导、里程计和激光雷达信息进行融合,获得采煤机实时位姿信息;通过对检测的采煤机位置信息进行拟合,即可获得刮板输送机的直线度,即得到开采设备的导航定位结果;为综采工作面液压支架自动调直奠定了良好基础,对煤矿智能开采具有重要意义。

[0096] 上述实施例仅仅是能够实现本发明技术方案的实施方式之一,本发明所要求保护的范围并不仅仅受本实施例的限制,还包括在本发明所公开的技术范围内,任何熟悉本技术领域的技术人员所容易想到的变化、替换及其他实施方式。

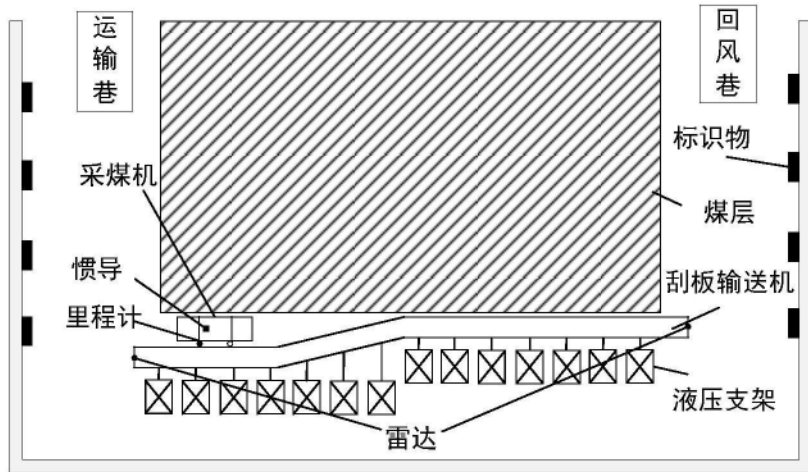


图1

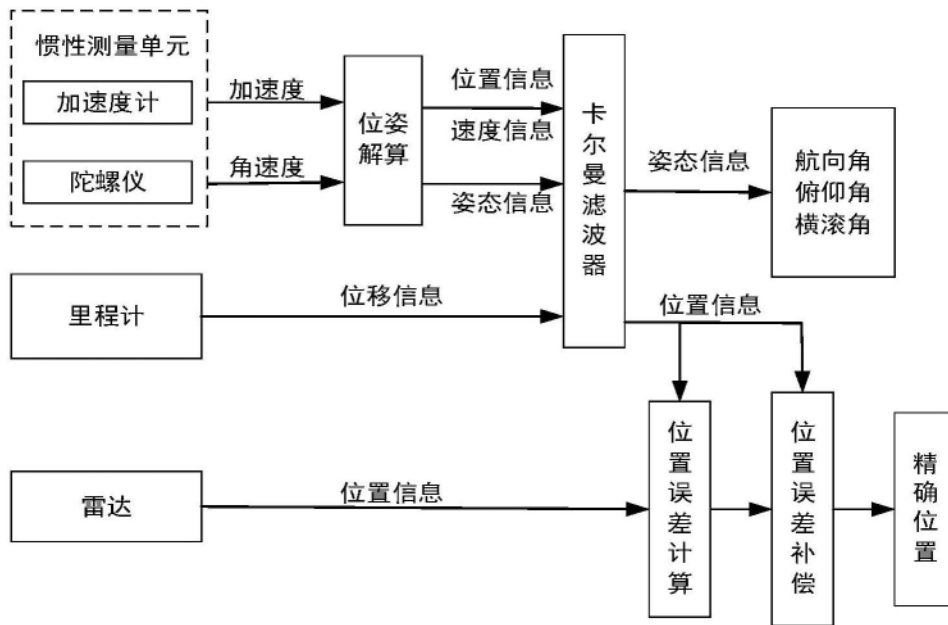


图2

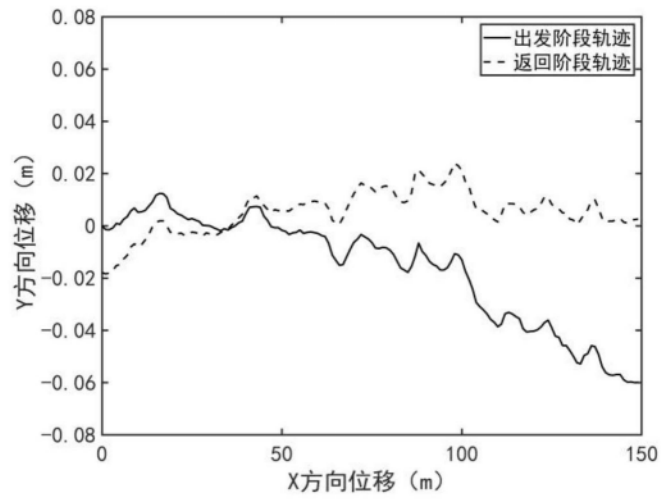


图3

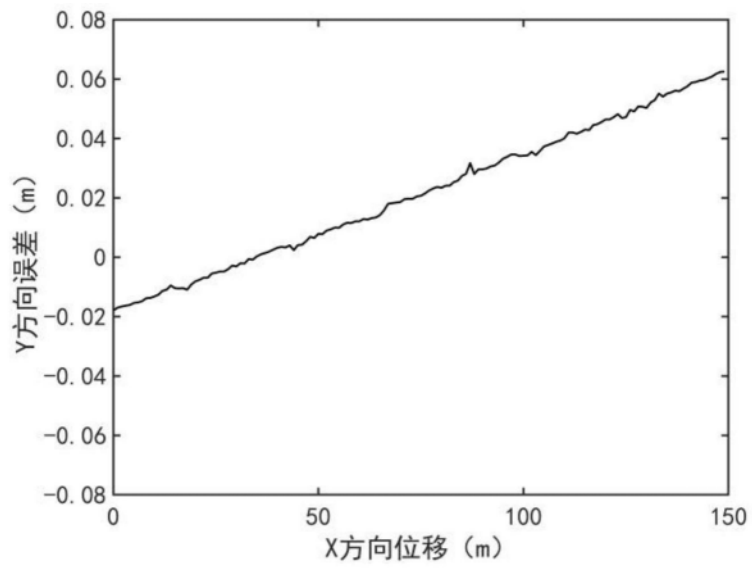


图4