

文章编号:1671-251X(2014)11-0100-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.11.024

张令涛,张辉.基于卡尔曼滤波的掘进机航向角测量算法[J].工矿自动化,2014,40(11):100-103.

基于卡尔曼滤波的掘进机航向角测量算法

张令涛¹, 张辉²

(1.三一重型装备有限公司 新品研究院,辽宁 沈阳 110027;

2.沈阳建筑大学 信息学院,辽宁 沈阳 110027)

摘要:针对现有掘进机航向角测量方法存在测量误差较大的问题,提出了一种基于卡尔曼滤波的航向角测量算法。首先利用速度传感器建立掘进机的运动模型,作为掘进机航向角的预测模型;然后利用激光发射仪建立掘进机航向角的观测模型;最后采用卡尔曼滤波算法对预测值和观测值进行融合,有效减小了航向角的测量误差,实现了掘进机长时间的精确定位。测试结果验证了该算法的有效性。

关键词:掘进机;航向角;卡尔曼滤波;预测模型;观测模型;融合

中图分类号:TD421.5

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Measurement algorithm of heading angle of roadheader based on Kalman filter

ZHANG Lingtao¹, ZHANG Hui²

(1.New Product Research Institute, Sanyi Heavy Equipment Co., Ltd., Shenyang 110027, China;

2.Institute of Information, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110027, China)

Abstract: In view of problem of big measurement error existed in current measurement method of heading angle of roadheader, a measurement algorithm of heading angle of roadheader based on Kalman filter was proposed. Firstly, the speed sensor was used to establish movement model of roadheader, and the model was taken as prediction model of heading angle of the roadheader; Then, laser emission instrument was used to establish observation model of heading angle of the roadheader; Finally, the Kalman filter algorithm was used to fuse predicted and observed values. The algorithm effectively eliminates the measurement error of heading angle, and realizes precise localization of the roadheader. The effectiveness of the proposed algorithm is verified by test.

Key words: roadheader; heading angle; Kalman filter; prediction model; observation model; fusion

0 引言

掘进机在煤矿中的掘进方向主要由激光指向仪指示的中心轴线来确定,掘进机司机通过目视断面上的激光光斑从而控制掘进机截割头在断面上截割运行。但是由于掘进工作面环境恶劣、照明严重不足,而且在掘进过程中,工作面的粉尘煤灰较多,使得在巷道掘进过程中难以准确判断截割部位置,给掘进控制带来很大困难,造成生产效率低、巷道超截

和欠截现象严重。为此,在实际工作中专门安排矿工在巷道前方进行观察反馈,但是实施的效果并不佳,而且还威胁到矿工的生命安全。高效安全的煤炭生产要求自动化程度更高的采掘设备,而掘进机自动导向和定位技术是实现自动掘进和无人掘进工作面的基础。井下工作环境使得无法使用视觉定位,且巷道内无法使用全球定位系统,煤矿环境的特殊性使得掘进机的定位问题无法使用常规的定位方法来解决^[1-3]。

收稿日期:2014-03-26;修回日期:2014-04-30;责任编辑:张强。

作者简介:张令涛(1979—),男,山东聊城人,工程师,博士,现主要从事煤矿机械自动化、定位、煤矿自动化生产等方面的研究工作,E-mail: zhanglingao@163.com。

因为井下光线不足,而且粉尘较多,无法利用视觉传感器进行测量定位。目前研究的掘进机航向角测量算法主要分为 2 种,一种是利用激光全站仪进行定位测量^[4-5],另一种是利用激光发射器结合接收传感器进行定位^[6-7]。利用激光全站仪进行定位测量虽然理论上可行,但是全站仪并不适用于井下恶劣环境,调解难度大,对工作人员的技术要求较高,无法实现航向角的实时在线自动测量;利用激光发射器和接收传感器进行定位测量,在粉尘不多的情况下能够测量出掘进机的航向角,但是当粉尘过多时,粉尘会遮挡激光接收器,容易产生跳变误差,从而导致航向角测量误差较大。

鉴于以上方法的缺陷,为了能够稳定准确地测算出掘进机的航向角,本文提出了一种新的掘进机航向角测量算法。首先利用速度传感器建立掘进机的运动模型,作为掘进机航向角的预测模型;然后利用激光发射仪建立掘进机航向角的观测模型;最后采用卡尔曼滤波算法对预测值和观测值进行融合,预测值能够有效地消除激光传感器因为遮挡出现的突变误差,而观测值也能够有效地缩减速度计所带来的累计误差,从而能够实现掘进机长时间的精确定位。

1 掘进机航向角预测模型

为了利用卡尔曼滤波算法,首先建立掘进机的航向角预测模型。履带式掘进机在实际转向中,它的内、外侧履带的速度是不同的,外侧履带速度大于履带中心速度,而内侧的履带速度小于中心速度,所以,外侧的接地段相对于地面产生向后的滑动,而内侧的接地段相对于地面产生向前的滑动。在实际运动中,外侧的滑转和内测的滑移是不可避免的,不考虑它们对机器人转向性能的影响是有误差的。考虑掘进机的滑移,建立掘进机的运动模型,如图 1 所示。

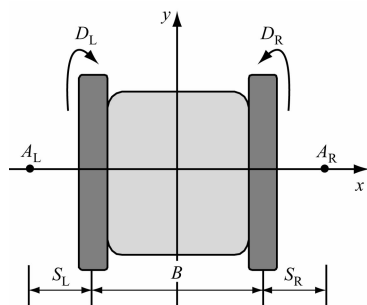


图 1 履带式掘进机的运动模型

A_L 和 A_R 为内外履带的转向中心,相应地分别外移了 S_L 和 S_R , S_L 和 S_R 分别为内、外侧履带转向

中心到相应的内、外侧履带纵向轴线间的垂直距离,称为内、外侧履带转向的横向偏移量。横向偏移量可以根据掘进机的机型和煤矿的条件标定出一个预估值。根据掘进机的运动模型,掘进机的航向角预测模型为

$$\theta' = \frac{D_L - D_R}{B + S_L + S_R} \quad (1)$$

式中: D_L 、 D_R 分别为掘进机左右履带的速度; B 为掘进机的宽度。

航向角分正负,正值表示掘进机右转,负值表示掘进机左转。

将式(1)进行离散化,建立离散运动方程:

$$\theta_k = \theta_{k-1} + u_k + w_k = \theta_{k-1} + \frac{D_L - D_R}{B + S_L + S_R} + w_k \quad (2)$$

式中: θ_{k-1} 为航向角上一时刻的估算值; u_k 为 k 时刻的输入值,也就是掘进机的航向角变化值; w_k 为均值为 0 和协方差为 Q 的掘进机预测模型误差。

2 掘进机航向角观测模型

在掘进机的掘进过程中,巷道基准轴线是由激光导向器给出的,在不改变其指向期间是恒定不变的,随着掘进的进一步深入,激光导向器随着工作面阶段性调整,调整的频率取决于巷道的具体情况。导向器是人工通过固定式测量设备进行校准的,如果不考虑人工操作因素,基准轴线本身的误差取决于测量设备的精度。

掘进机的观测模型是基于激光导向器的扇形激光发射器和线阵 CCD 建立的。通过激光导向器的激光束定位扇形激光发射器的位置,2 个传感器的位置满足使得扇形激光束发射的激光与激光导向器所发出的激光在地面的投影重合的条件。履带式掘进机观测模型侧视图如图 2 所示。

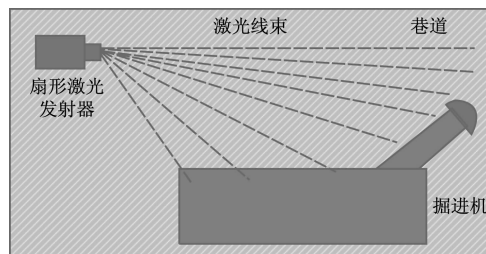


图 2 履带式掘进机观测模型侧视

线阵 CCD 是一种光敏电荷耦合器件,由于其结构简单,成本较低,其单排感光单元的数目较多,在同等测量精度的前提下,其测量范围较大;由于线阵 CCD 实时传输光电变换信号,自扫描速度快,频率

响应高,能够实现动态测量,并能在低照度下工作,所以线阵 CCD 广泛应用在定位检测、产品尺寸测量和分类、非接触尺寸测量、条形码等许多领域。本文将线阵 CCD 传感器应用于掘进机的观测测量中。

2 组线阵 CCD 传感器平行固定在掘进机的后半部,如图 3 所示,通过采集卡将线阵 CCD 接入主控器,通过主控器读出线阵 CCD 上激光照射的位置。线阵 CCD 左侧顶点标定为零点。为了能够尽量减小误差,对线阵 CCD 进行封装,而且操作指南中规定需要经常对传感器进行维护,以保持 CCD 的正常工作。

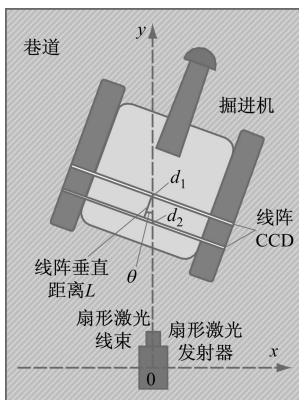


图 3 履带式掘进机观测模型俯视

通过固定好的扇形激光发射器发射激光,光线会在线阵 CCD 上形成投射点,根据投射点的坐标可以计算出掘进机航向角的观测值。设定激光导向器确定的坐标系为全局坐标系,y 轴为激光发射的方向,0 点为激光导向器(图 3)。掘进机为局部坐标系,坐标 0 点为尾部线阵 CCD 的左顶点,该 CCD 为 x 轴,方向由左指向右。因此,计算掘进机的航向角就等于计算全局坐标系与掘进机坐标系之间的夹角。根据线阵 CCD 读取的 2 个投射点的坐标,可以计算出 2 个坐标系的旋转角度。

掘进机的航向角与线阵 CCD 的测量值之间的关系如式(3)所示。

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{(d_1 - d_2)}{L} \quad (-\pi/2 < \alpha < \pi/2) \quad (3)$$

式中: d_1 为靠近掘进机尾部的 CCD 测量值; d_2 为另一条线阵 CCD 测量值; L 为线阵 CCD 的垂直距离。

将式(3)进行离散化,建立离散掘进机观测方程:

$$\alpha_k = \mathbf{H}_k \theta_k + v_k = \frac{D_L - D_R}{B + S_L + S_R} + v_k \quad (4)$$

式中: $\mathbf{H}_k$ 为线阵 CCD 表示的掘进机观测模型参数矩阵; v_k 为均值为 0 和协方差为 M 的掘进机观测模型误差。

3 航向角测量算法

根据推算出的预测模型式(2)和观测模型式(3),利用卡尔曼滤波公式,建立掘进机航向角迭代计算公式,如式(5)所示。

$$\begin{cases} \theta_k = \theta_{k-1} + u_k + w_k \\ \alpha_k = \mathbf{H}_k \theta_k + v_k \end{cases} \quad (k \geq 0) \quad (5)$$

根据掘进机的观测模型和预测模型,建立掘进机航向角推算的卡尔曼滤波器公式,协方差迭代计算公式如式(6)所示。

$$P_{k|k-1} = P_{k-1} + Q_{k-1} \quad (6)$$

卡尔曼增益计算公式如式(7)所示。

$$K_k = (P_{k|k-1} \mathbf{H}'_k) / (\mathbf{H} P_{k|k-1} \mathbf{H}' + M_k) \quad (7)$$

式中: $\mathbf{H}'_k$ 为观测模型参数矩阵的转置; M_k 为第 k 次迭代时的观测噪声协方差。

至此可以计算出掘进机的航向角最优估算值,计算公式如式(8)所示。

$$\hat{X}_k = \hat{X}_{k-1} + K_k (\alpha_k - \mathbf{H} \theta_{k-1}) \quad (8)$$

最后更新协方差,计算公式如式(9)所示。

$$P_{k|k} = (\mathbf{I} - K_k \mathbf{H}) P_{k|k-1} \quad (9)$$

式中: $\mathbf{I}$ 为单位矩阵。

$P_{k|k-1}$, K_k , 和 P_k 的计算与观测值无关,只要条件允许,可以事先计算好,而实时滤波只要递推 $\hat{X}_k$ 求状态估计即可。这样,掘进机航向角算法就可以自回归地运算下去。

4 算法验证

为了验证算法的有效性,在工厂内模拟煤矿应用环境,掘进机上安装速度传感器,利用激光发射仪指向掘进机的掘进方向,按照要求安装扇形激光发射器。在掘进机后半部安装平行的线阵 CCD,通过主控器采集 CCD 上激光照射的位置。掘进机航向角测试的范围为 $[-60^\circ, 60^\circ]$ 。利用本文算法对航向角进行测算,监控航向角的预测值、观测值和滤波后的值,测试结果如图 4 所示。从图 4 可看出,结合根据观测模型得到的观测值和根据运动模型计算出的预估值,能够得到更加准确的航向角。因此,本文的算法能够有效地减小航向角测量误差,较好地降低环境噪声和测量传感器误差对测量结果的影响,提高了掘进机航向角测试的准确度。

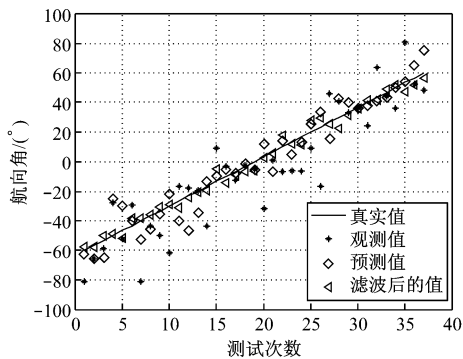


图 4 基于卡尔曼滤波的掘进机航向角测试结果

5 结语

提出了一种基于卡尔曼滤波的掘进机航向角测量算法:通过在左右链轮安装速度传感器,建立了掘进机的航向角预测模型;通过扇形激光发射器和线阵 CCD,建立了掘进机的观测模型;利用卡尔曼滤波算法融合预测值和观测值。利用该算法能够有效

减小航向角的测量误差,得到航向角的最优估计值。测试结果验证了该算法的有效性。

参考文献:

[1] 李睿. 悬臂掘进机机身位姿参数检测系统研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2012.

[2] 田原. 基于机器视觉的掘进机空间位姿检测技术研究[J]. 矿山机械,2013(2):27-30.

[3] 王晶晶,童敏明,刘彬. 组合导航定位系统研究[J]. 软件,2011(5):88-90.

[4] 田原. 悬臂掘进机自动导向和定位技术探索[J]. 工矿自动化,2010,36(8):26-29.

[5] 邓国华. 基于激光导向器的悬臂式掘进机位置姿态自动测定方法[J]. 工矿自动化,2009,35(9):20-23.

[6] 吴森,刘建功,魏景生,等. 掘进机机身位姿参数测量系统及其方法:中国,101629807A[P]. 2010-01-20.

[7] 田原,王德光,金江,等. 一种掘进机的空间位姿自动测量方法:中国,101819036A[P]. 2010-09-01.