卡尔曼滤波在某深控系统中的应用

熊金志 胡金莲

(电气工程系)

摘 要 本文将卡尔曼滤波技术应用在某深度控制系统上,通过滤波考察了量测数据的可靠性,进行了状态估计轨迹重构,为设计更好的深控系统提供了可能性.

关键词 卡尔曼滤波;深控系统;偏差

分类号 TP202.1

1 问题的提出

建立一个品质优良的控制系统,首先在于掌握系统的状态参数.因此系统状态信息的获取,具有十分重要的意义.然而,在控制系统中,由于种种客观原因和条件所限,有些状态参数在实际中是难以直接量测的.另一方面,在可以量测的状态参数中,由于传感器本身的随机误差,以及数据采集过程中不可避免地引入误差,也会影响到状态信息的准确度.因而,状态观测器的研究,成为深控系统中一个重要的问题.

根据某航行体试验中记录下的纵平面运动参量(深度 y,俯仰角 θ),发现实验数据与理论值不甚相符.本文通过卡尔曼滤波进行状态估计和轨迹重构,以考察量测数据的可信度和卡尔曼滤波器重构深控系统状态信息的可能性.

航行体纵平面运动主要有定角爬潜、定深航行两种形式,本文研究的是后一种形式.

2 滤波的数学模型

因研究的是深控信息,可以只考察 θ 和 y.θ 是航行体的俯仰角,y 是深度.取采样时间 $T_S = 0.01$s,则滤波的数学模型

$$\begin{cases} X(k+1) = AX(k) + W_k, \\ Z(k+1) = HX(k+1) + V_{k-1}. \end{cases}$$

而 $$X(k) = [\theta_k \quad y_k]^T,\ Z(k) = [\theta_k \quad y_k]^T,\ A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},\ H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

其中 W_k 为系统模型噪声,V_{k-1} 是量测噪声,W_k 为互不相关的零均值白噪声序列,θ_k、y_k 为量测值.

收稿日期:1996-03-29 熊金志,男,1964年生,讲师.

中国知网 https://www.cnki.net

滤波算法如下：

状态预报方程 $X(k+1/k)=AX(k/k)$,

状态估计方程 $X(k+1/k+1)=X(k+1/k)+K(k+1)[A(k+1)-HX(k+1/k)]$,

滤波增益方程 $K(k+1)=P(k+1/k)H^T[HP(k+1/k)H^T+R]^{-1}$,

预报方差方程 $P(k+1/k)=AP(k/k)A^T+Q_k$,

估计方差方程 $P(k+1/k+1)=[I-K(k+1)H]P(k+1/k)$,

其中 Q_k 为系统噪声方差阵

$$E\{W_k\}=0,\quad COV(W_k,W_j)=E\{W_k,W_j^T\}=Q_k\delta_{kj}.$$

R_k 为量测噪声方差阵

$$E\{V_k\}=0,\quad COV(V_k,V_j)=E\{V_k,V_j^T\}=R_k\delta_{kj}.$$

3 初始状态值 $X(0)$ 及系统噪声方差阵 Q_k 的选取

(1) 在定常水平直航小扰动运动条件下，可认为各状态变量为具有各态历经性的随机过程．因此，可用一次随机实现的样本值来考察随机变量的统计特性．对已有量测值的状态量 θ,y，可取其样本均值为初始值．如果不满足小扰动条件(在刚开始发射后的一段时间里即属于这种情况)，应取初始时刻的量测值；对未知状态量，在小扰动条件下取为 0. 容易验证，滤波模型是一致渐近稳定的，因而即使初如状态估计值 $X(0)$ 和初始估计误差阵 $P(0)$ 给得不准，随着滤波时间的增长，状态估计 $X(k/k)$ 也将趋于无偏．

$P(0)$ 阵的选择原则是使其非对角元素为零值，对角元素取一大值(参照噪声的物理意义)．

(2) 模型误差方阵 Q_k 的选取

滤波中一个重要的问题就是 Q_k 的选取，Q_k 选取是否恰当对滤波有直接影响，动态模型越是不精确，这种影响就越大，选取 Q_k 的基本原则是使其与动态模型的精度相匹配，因定深航行可取 Q_k 为常阵 Q.

(3) 量测噪声方差阵 R_k 的确定依赖于以下三方面的考虑：一是传感器随机误差，二是采样过程中的量化误差，三是环境噪声带来的误差．量测值的样本方差也提供了误差数量级选取的参照值．

4 结果及分析

滤波分为两段．第一段是发射过程，第二段是定深航行过程，滤波计算在微机上进行，通过仿真计算比较，选取

$$Q=\begin{bmatrix}0.01 & \\ & 0.01\end{bmatrix},\quad P(0)=\begin{bmatrix}0.01 & \\ & 0.01\end{bmatrix}.$$

为考察滤波效果，将理论值与量测值和估计值进行对比．

(1) 第一步的滤波曲线与量测曲线见图 1、2.

图 1 给出的是深度偏差曲线，图 2 给出的是俯仰角曲线，从图中可以看出，滤波值在发射

中国知网 https://www.cnki.net

后的一段时间里与量测值符合得不是很好，由于这段时间内系统状态参数变化剧烈，不完全符合 α 滤波模型，因此，可以认为是模型误差较大影响到滤波结果．

(2) 第二步的滤波曲线与量测值曲线见图 3、4.

图 3 给出的是深度偏差曲线，图 4 给出的是俯仰角曲线，从图中可以看出，滤波曲线与量测值符合得很好．

(3) 稳定的定深航行阶段其深度偏差理论值为 0，俯仰角 θ 理论值为一小负值．比较深度偏差的滤波值与量测值，可以看到，深度信号的量测误差(与样本均值相比) 不小于 0.3m，这与采样系统的误差范围相符，而滤波值的误差不超过 0.2m. 俯仰角的滤波值表明了定深航行时，它是一个很小的负数，这与理论值符合得很好，而在实际量测值中看不到这种趋势，同样，深度偏差的滤波值趋于一个负值，而量测值的这种趋势却被噪声"淹没"了．由此可知，滤波输出是更为准确的状态信息，这就为充分利用状态信息以改进控制系统提供了前提．

(4) 在航行体发射的第一阶段，滤波的误差较大，这是由于动态模型误差较大引起的．可试用 $\alpha-\beta$ 滤波模型，作者以后将继续做此工作．

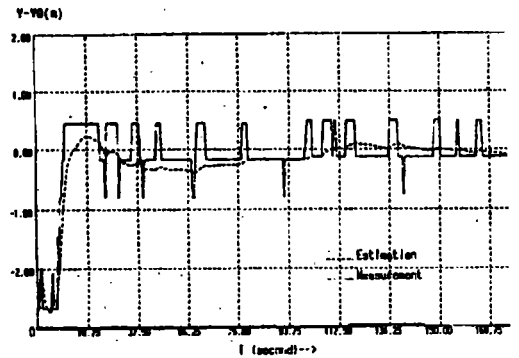

图 1　深度偏差曲线

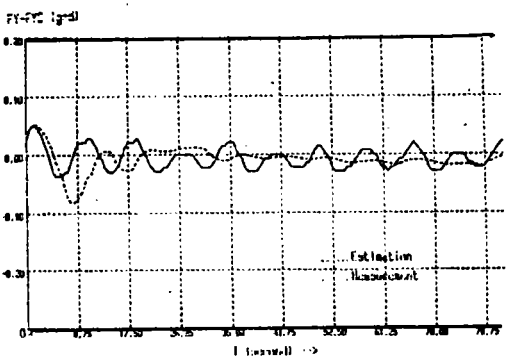

图 2　俯仰角偏差曲线

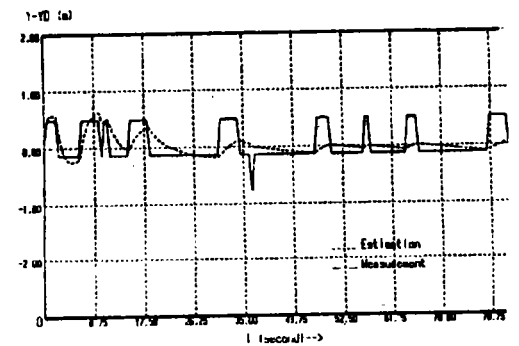

图 3　深度偏差曲线

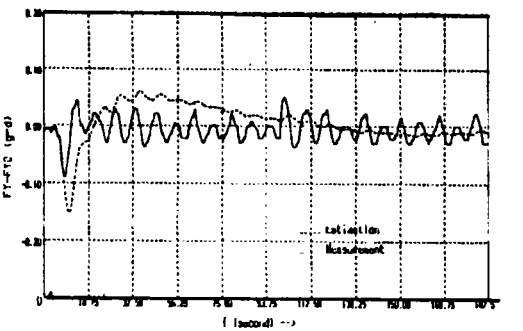

图 4　俯仰角偏差曲线

参 考 文 献

1　卢桂章．现代控制理论基础．北京：化学工业出版社，1982

2　胡寿松．自动控制原理．北京：国防工业出版社，1984

(下转第 63 页)

中国知网 https://www.cnki.net

践证明，测试台操作方便，工作可靠、稳定，结果可信，测试台投入运行以来，机务段对电子器件检测设备的管理与维护，检测人员的配备，都带来了很大的方便和简化，提高了电子器件检测的总体效率，降低了成本.

参 考 文 献

1　王长胤. 单片单板机原理与应用. 武汉：武汉大学出版社，1993
2　李华. 单片机实用接口技术. 北京：北京航天航空大学出版社，1993

The Application of Single Chip Microcomputer in Locomotive Electrical Equipment Test

Lin Zhiming

(Department of Electrical Engineering)

Abstract　In this paper, the practical principle of single chip microcomputer for testing locomotive electrical equipments has been expounded and the design course on the software and hardware has been introduced in detail. The main frame figures of software and hardware system are given accordingly. The test table is convenient for operation and good in reliability and stability.

Key words　single chip microcomputer; electrical equipments test; software & hardware

(上接第 59 页)

The Application of Kalman Filtering to a Certain Depth Control System

Xiong Jinzhi　　Hu Jinlian

(Department of Electrical Engineering)

Abstract　The application of Kalman filtering techniques to a certain depth control system is presented in this paper. To design a better depth control system the reliability of measurement data is studied, the state estimation is made and the trace rebuilding is performed.

Key words　Kalman filtering; depth control system; deviation

中国知网　https://www.cnki.net