

# 多源解耦滤波器在舰船组合导航 系统中的应用

曾连芬

(镇江船舶学院)

## 摘要

本文提出了多源卡尔曼滤波理论,并对其在舰船组合导航系统数据处理中的应用进行了探讨。试验分析表明:采用多源滤波方法,有助于提高滤波精度和稳定性,相对地降低了系统建模时对统计特性的要求。

**关键词**——多源滤波,最优估计,解耦控制,组合导航。

## 一、多源卡尔曼滤波理论

传统的卡尔曼滤波方法,是建立在动态系统状态方程  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu}$  和测量系统的测量方程  $\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k$  的基础上进行的。针对具体系统而言,系统的状态方程是确定的,而测量系统的测量方程则随采用什么样的测量设备而变化。

若有  $P$  个独立的测量系统,能否用这  $P$  个独立的测量系统获得的测量数据,同时对系统状态进行最优估计呢? 这可分三种情况。

第一种情况: 同时获得  $P$  个独立的测量数据,此时可以先将  $P$  个独立的测量数据进行加权处理,然后进行滤波,即

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_k &= l_1 \mathbf{y}_{1k} + l_2 \mathbf{y}_{2k} + \cdots + l_p \mathbf{y}_{pk}, \\ l_1 + l_2 + \cdots + l_p &= 1. \end{aligned} \quad (1)$$

假设各独立测量噪声为零均值白噪声分布,则有

$$E \mathbf{z}_k = l_1 E \mathbf{y}_{1k} + \cdots + l_p E \mathbf{y}_{pk} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$E \mathbf{z}_k^2 = E \left( \sum_{j=1}^p l_j \mathbf{y}_{jk} \right)^2 = l_1^2 \sigma_1^2 + l_2^2 \sigma_2^2 + \cdots + l_p^2 \sigma_p^2 = \sigma^2. \quad (3)$$

第二种情况: 尽管测量系统是单一的,但是测量周期  $T_m$  远小于滤波周期  $T_f$ , 此时

若系统状态变化较快,每次测量数据彼此独立,则在对状态滤波前,可以多次采样测量数据,进行(加权)平均处理,即

$$\bar{\mathbf{y}}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{y}_{ki}, \quad (n: \text{采样次数}). \quad (4)$$

第三种情况:无法同时获得各独立测量系统的测量数据,此时只好依采样获得的测量系统输出的数据顺序,分别对系统状态进行滤波,并且每组测量数据对系统状态的滤波值,均看作下一组测量数据对状态滤波的初值。

## 二、舰船组合导航系统多源解耦滤波器

在文献[1—3]中已探讨了卡尔曼滤波技术在组合导航中的应用问题。假设舰船运动的纬度、经度测量误差足够小,以致于围绕舰船坐标系的测量位置以平面动力学近似是正确的。此时,若选纬度误差、经度误差、航速误差、航向误差、海流速误差、海流向误差、风作用舰速误差、风作用舰向误差为状态变量,即

$$\mathbf{x} = (R_M \delta \varphi, R_N \cos \varphi \delta \lambda, \delta v_j, \delta h_g, \delta v_l, \delta h_l, \delta v_w, \delta h_w)^T,$$

则有系统的动态误差状态方程<sup>[2]</sup>为

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{w}. \quad (5)$$

$\mathbf{w}$  为动态系统噪声,且有  $E[\mathbf{w}_i \mathbf{w}_j^T] = Q_i \delta_{ij}$ 。方程(5)的离散化解,即误差动力学方程为

$$\mathbf{x}_k = \phi(k, k-1)\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1}. \quad (6)$$

以 MX1105/罗兰 C 组合导航系统为例,测量数据可以从罗兰 C 定位、奥米加定位和卫星定位系统中获得,即有测量方程为

$$\mathbf{y}_k^{(p)} = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + v_k^{(p)}, \quad (7)$$

$$E(v_i^{(p)} v_j^{(p)T}) = R_i^{(p)} \delta_{ij}. \quad (8)$$

其中  $P=1$  为罗兰 C 定位;  $P=2$  为奥米加定位;  $P=3$  为卫星定位。通常罗兰 C 和奥米加定位 5 分钟一次,而卫星定位则 1.5 小时左右一次。若同时引入脉冲函数控制作用  $\mathbf{u}$ ,则(6)式改写成

$$\mathbf{x}_k = \phi(k, k-1)[\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{u}_{k-1}] + \mathbf{w}_{k-1}. \quad (9)$$

此时若选择  $\mathbf{u}_{k-1} = -\hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1}$ ,则有滤波预测值  $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = 0$ ,从而得到多源解耦滤波方程为

$$\mathbf{x}_{k|k} = K_k \mathbf{y}_k^{(p)}, \quad (10)$$

$$K_k = P_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T [\mathbf{H}_k P_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + R_k^{(p)}]^{-1}, \quad (11)$$

$$P_{k|k-1} = \phi(k, k-1) P_{k-1} \phi^T(k, k-1) + Q_{k-1}, \quad (12)$$

$$P_K = [I - K_k \mathbf{H}_k] P_{k|k-1}. \quad (13)$$

其中  $\hat{\mathbf{x}}_0 = E\mathbf{x}_0$ ;  $P_0 = \text{Var}\mathbf{x}_0$ ;  $\text{Cov}(\mathbf{w}_i, \mathbf{w}_j^T) = Q_i \delta_{ij}$ ;  $\text{Cov}(v_i^{(p)}, v_j^{(p)T}) = R_i^{(p)} \delta_{ij}$ 。

采用多源解耦滤波器对舰船组合导航系统的纬度误差滤波曲线如图 1 所示。

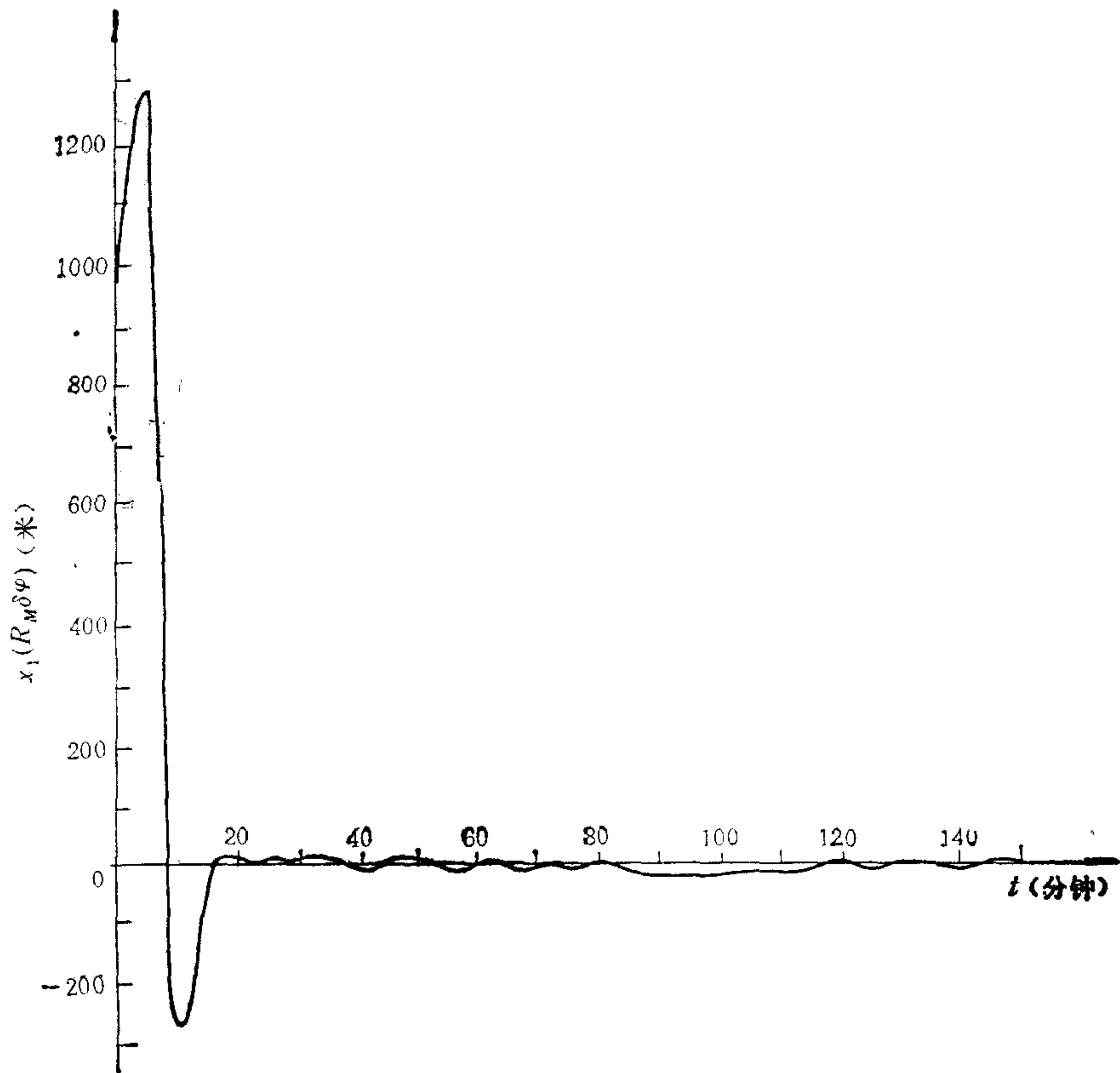


图1 纬度误差(东向距离误差)滤波曲线

### 三、结 论

舰船组合导航系统采用多源解耦滤波器进行数据处理有其固有的优点。它充分利用了舰船上具有多种测量信息源的特点,提高了滤波器在大范围海域的适用性,降低了对舰船航行海况统计特性的要求。采用多源解耦滤波器也同时提高了滤波精度和计算速度,减少了计算机内存。

### 参 考 文 献

- [1] 曾连荪,国内外舰船组合导航系统发展综述,江苏船舶,1(1986),30—36.
- [2] 曾连荪,卡尔曼滤波技术在组合导航系统中的应用初探,镇江船舶学院学报,2(1988),175—183.
- [3] Jeffrey, M. Nash, Covariance Analysis of the DD963 Navigation System, AD-A02114.

# THE APPLICATION OF THE MULTI-SOURCE DISCOUPLE FILTER TO THE WARSHIP INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM

ZENG LIANSUN

(Zhenjiang Shipbuilding Institute)

## ABSTRACT

In this paper, the multi-source Kalman filter theory is presented and its application to data processing of the warship integrated navigation system is studied. A lot of tests show that by adopting the multi-source filter steadiness and precision of the filter can be improved and can relatively be cut down the demand for the statistical character in system modelling.

**Key words** ——Multi-source filter; optimal estimation; decoupled control; integrated navigation.

---

## 《过程辨识》书评

由清华大学方崇智教授、萧德云副教授所著的《过程辨识》一书是一本结构完善、内容丰富、理论联系实际、颇有独特风格的教材,同时可供工程技术人员参考使用。

《过程辨识》是根据过程的输入、输出数据建立过程数学模型的理论和方法。它和状态估计、控制理论构成了自动控制学科中三个相互渗透的领域;其理论已日趋成熟,通过各种算法和计算机的应用,已成为一门实用的工程学科。

《过程辨识》一书始终突出理论联系实际的原则,选材均有明显的应用背景。书中给出的大量例题,不仅有助于理论的理解,并且可以达到巩固基本知识的要求。

全书分十七章。首先论述辨识的基本概念和所需的基本知识;然后讨论各种辨识方法——最小二乘类方法、梯度校正法和极大似然法;其次,在引入模型的统一结构后,导出辨识算法的一般形式,并以此为基础,进一步阐明各类辨识算法的共性及其收敛性。这是本书独特的贡献。

书中不但讨论了 SISO 和 MIMO 过程的辨识方法,而且对开环可辨识性、模型类的选择、准则的选择、模型检验、在线辨识技术以及辨识在自适应控制、预报和故障检测等领域中的应用,提供了许多有用的知识。

总之,本书具有较高的学术水平,是一本很好的教材和参考书。

张钟俊 (上海交通大学)