

引用格式:肖碧琴.纯方位小幅机动目标定位跟踪技术研究[J].电光与控制,2017,24(9):27-30. XIAO B Q. Locating and tracking of target with bearing-only small maneuvering[J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(9):27-30.

纯方位小幅机动目标定位跟踪技术研究

肖碧琴

(江苏自动化研究所,江苏 连云港 222061)

摘要:对纯方位小幅机动目标 UKF(Unscented Kalman Filter)定位跟踪算法进行了研究。在目标机动可检测性分析的基础上,建立了纯方位小幅机动目标定位跟踪的 UKF 滤波算法模型,基于最小二乘和 UKF 算法联合调度思想,实现了对纯方位小幅机动目标的定位跟踪,通过仿真计算对其定位精度进行了分析,验证了算法模型的有效性。

关键词:目标定位;目标跟踪;纯方位;小幅机动;可检测性;UKF

中图分类号: TN959 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2017.09.006

Locating and Tracking of Target with Bearing-Only Small Maneuvering

XIAO Bi-qin

(Jiangsu Automation Research Institute, Lianyungang 222061, China)

Abstract: Based on the analysis to detectability of target maneuvering, an Unscented Kalman Filter (UKF) model is established for locating and tracking the target with bearing-only small maneuvering. By using the least squared method together with UKF, the locating and tracking of acoustic target with small maneuvering is realized. Simulation result verifies the validity of the method.

Key words: target location; target tracking; bearing-only; small maneuvering; detectability; UKF

0 引言

在实际海上作战中,水面舰艇不可能长时间做定向定速运动,为防备可能的跟踪与攻击,一般都采用分时变速变向的方式航行,尤其是在接敌或进入非安全海域时,目标多采用机动方式来干扰和摆脱敌方的跟踪和探测。水下系统常用的机动目标跟踪方法采用的是机动检测+检测后调整解算的思路,如美国的 MK113 和 MK117、英国的 KAFS 和 COMKAFS 等潜艇指控、火控系统,都采用了这种办法,此方法的关键问题是机动检测。现有的机动检测技术大多将机动检测表示为二元假设检验问题,这方面的研究已经成熟,并在多个领域进行了成果应用,但在水下机动目标跟踪领域却极少提及^[1]。针对水下探测纯方位机动目标定位与跟踪问题,文献[2-3]提出了用于纯方位量测的累积和目标定位与跟踪方法,对转向机动目标取得了较好的机动检测效果。当目标进行小幅度机动时,通常的纯方位目标机动检测方法的适用性受到了挑战,存在机动检测时延长、

漏检率高的问题。

基于此,本文在目标机动可检测性分析的基础上,建立了纯方位小幅机动目标定位跟踪的 UKF 滤波算法模型,利用观测平台一次机动前后有效的方位量测信息,解算出大致的目标运动参数,进行 UKF 滤波算法的初始化,实现了对纯方位小幅机动目标的定位跟踪。

1 目标机动的可检测性问题

机动检测是机动目标跟踪的首要条件,通常的方法是先利用新息算法进行目标机动探测,再进行机动后的跟踪。纯方位机动检测是在分析方位预测误差序列的基础上,建立基于该序列均值变化的累积和检测方法,根据均值偏离零误差线的程度,判断目标是否机动,然而并不是所有的机动都可以检测出来。在目标机动幅度较小时,均值偏离零误差的程度在很长一段时间内达不到设定的检测门限,无法检测出目标机动,表现为不可检测状态。

一般而言,目标的机动幅度足够大,才有可能被检测出来,因而,幅度越大,越容易被检测出来^[4]。从文献[1]目标转向机动统计结果可看出:态势距离 40~60 km,方位量测误差一定的情况下,目标机动转向幅

收稿日期:2016-09-12

修回日期:2017-07-06

作者简介:肖碧琴(1980—),女,陕西合阳人,硕士,高工,研究方向为水下目标定位跟踪及效果评估。

度为 90° 时,检测反应时间 187 s,机动转向幅度为 60° 时,检测反应时间 252 s。同时,文献[1]也给出了“对于小幅变向或只变速机动目标,由于在这些态势下用于检测的特征量皆无稳定的表征,导致检测效果大大降低”的结论,从而说明了常用的纯方位目标机动检测方法难以满足小幅机动目标的定位跟踪要求。

目标机动是否可被检测,还与敌我态势有关。在有些态势下,即使目标进行大幅度的机动,也很难被检测出来。如图1所示态势,目标变向幅度很大,但若仅利用目标方位-时间特性来判断,是很难被检测出来的^[5]。

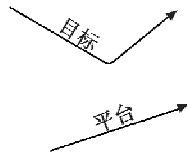


图1 目标机动的一种情形

Fig.1 One case of maneuvering target

2 小幅机动目标定位跟踪的 UKF 算法

对于小幅机动目标,检测算法难以检测出目标机动,依照机动检测+检测后调整解算的跟踪思路,在检测不出目标机动的情况下,继续使用原有匀直模型算法。在目标每6 min进行一次变向 20° 的小幅机动典型航路中,无量测误差情况下,原算法的应用情况见图2。

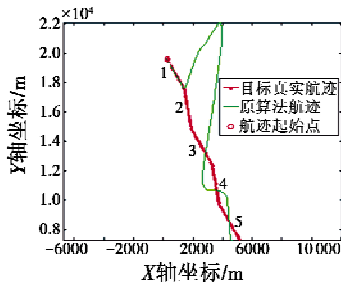


图2 原算法在小幅机动目标定位跟踪的应用

Fig.2 Tracking result of existing method

由图2可以看出:在目标第2、第3直航段上,大约6~17 min这个跟踪时间段内,原匀直模型算法无法有效跟踪,最大距离误差百分比达到57%;第4、第5直航段最大距离误差百分比达到12%。

UKF算法以有限的采样点逼近非线性函数的概率分布,通过采样点的传播实现捕获随机变量通过非线性变换后的均值和方差,进而预测下一时刻的状态,不需计算复杂的Jacobian矩阵。鉴于UKF算法比EKF算法具有更高精度的优点,这里拟将UKF滤波算法应用于纯方位小幅机动目标定位跟踪。

2.1 应用于纯方位小幅机动目标定位跟踪的 UKF 滤波算法

假设平台和目标在同一水平面内运动,对于任意离

散时刻 k ,其中 $k \in \{1, \dots, \infty\}$,用 $X(k) = [x(k) \ y(k) \ v_x(k) \ v_y(k)]^T$ 代表目标的位置和速度,一般的离散非线性系统可以描述为

$$\begin{cases} X(k+1) = f(X(k), w(k), k) \\ z(k) = h(X(k), v(k), k) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $X(k)$ 表示系统状态向量; $z(k)$ 为测量向量; $w(k)$ 为零均值、方差为矩阵 $Q(k)$ 的过程模型噪声; $v(k)$ 为零均值、方差为向量 $R(k)$ 的高斯测量噪声。

将系统状态和过程噪声、测量噪声组成增广状态向量 $X^a(k) = [X^T(k) \ w^T \ v^T]^T$,维数为 L ,方差为

$$P^a(k) = \begin{bmatrix} P(k) & 0 & 0 \\ 0 & Q(k) & 0 \\ 0 & 0 & R(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $P(k)$ 为状态向量 $X(k)$ 对应的协方差矩阵。

UKF滤波算法和计算步骤如下所述。

1) 初始化。

$$\hat{X}^a(0) = [\hat{X}^T(0) \ 0 \ 0]^T \quad (3)$$

$$P^a(0) = \begin{bmatrix} P(0) & 0 & 0 \\ 0 & Q(0) & 0 \\ 0 & 0 & R(0) \end{bmatrix} \quad (4)$$

2) 选取维数 L (在纯方位定位跟踪系统中取值为9),计算采样点及权值^[5]。

3) 时间更新。

$$\begin{cases} X_i(k+1|k) = f(X_i(k), w_i(k), k) \\ \hat{X}(k+1|k) = \sum_{i=0}^{2L} W_m^{(i)} X_i(k+1|k) \end{cases} \quad (5)$$

$$P(k+1|k) = \sum_{i=0}^{2L} W_c^{(i)} (X_i(k+1|k) - \hat{X}(k+1|k)) \cdot (X_i(k+1|k) - \hat{X}(k+1|k))^T \gamma_i(k+1|k) = h(X_i(k), v_i(k), k) \quad (6)$$

$$\hat{z}(k+1|k) = \sum_{i=0}^{2L} W_m^{(i)} \gamma_i(k+1|k) \quad (7)$$

4) 测量更新。

$$\begin{cases} P_{zz}(k+1) = \sum_{i=0}^{2L} W_c^{(i)} (\gamma_i(k+1|k) - \hat{z}(k+1|k)) (\gamma_i(k+1|k) - \hat{z}(k+1|k))^T \cdot \\ P_{zz}(k+1) = \sum_{i=0}^{2L} W_c^{(i)} (X_i(k+1|k) - \hat{X}(k+1|k)) (\gamma_i(k+1|k) - \hat{z}(k+1|k))^T \\ G = P_{zz}(k+1) P_{zz}^{-1}(k+1) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \hat{X}(k+1) = \hat{X}(k+1|k) + G(z(k+1) - \hat{z}(k+1|k)) \\ P(k+1) = P(k+1|k) - G P_{zz}(k+1) G^T \end{cases} \quad (9)$$

式中; G 为增益向量; $P_{zz}(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻状态向量 X 的误差和量测向量 z 的误差所构成的误差协方差矩阵; $P_{zz}(k+1)$ 为 $k+1$ 时刻量测向量 z 的误差和其转置所构

成的误差协方差矩阵。

5) $k = k + 1$, 转至2)重复计算。

UKF 滤波算法直接应用于纯方位小幅机动(转向角度不大于 30°)目标定位跟踪时,跟踪效果如图3所示。

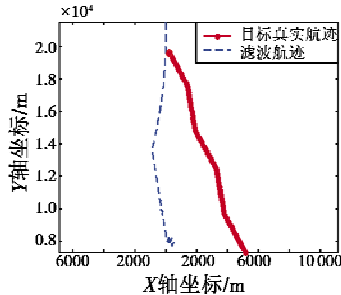


图3 UKF 在小幅机动目标定位跟踪的应用

Fig. 3 Tracking result of UKF

从图3可看出,直接使用UKF算法,由于目标变向机动和初值误差的影响,滤波结果是发散的。目标机动都是具有目的性的,且有规律可循,对于多变向小幅机动目标而言,目标是沿着明确的前进方向进行有规律的小幅机动,为此,以目标前进方向为约束条件,可对滤波输出结果进行有效性约束,实现对目标的有效跟踪。

2.2 目标前进方向确定

在潜艇跟踪初期,其主要任务是快速明晰战场态势,供指挥员决策,确定作战对象,根据作战目的,采取必要机动以获取目标精确参数。在本艇未机动前,无法获取目标完全解,但可进行相对运动分析,获得相对航向、统计平滑方位、方位变化率、方位变化率的改变量、相对速度与初距比值,以及目标的最小速度等相对运动参数,根据获得的方位变化率改变量可明确给出目标是接近还是远离。在初始跟踪直航段,潜艇低速前进,将此直航段上获得的相对航向作为小幅机动目标的前进方位。

方位-时间关系的泰勒展开式的近似式为

$$B = a + b(t - t_0) + c(t - t_0)^2 \quad (10)$$

式中: a, b, c 为泰勒展开系数; t_0 为初始时刻; t 为任一时刻。

对时间微分得

$$\dot{B} = b + 2c(t - t_0) \quad (11)$$

再微分得

$$\ddot{B} = 2c \quad (12)$$

式中, \ddot{B} 指示目标是离开或是接近。

相对舷角是由初值的关系式

$$Q_0 = \arctan(b^2/c) \quad (13)$$

和任一以后时刻 t 的关系式

$$Q_i(t) = Q_0 + B(i) - a \quad (14)$$

得到的。

相对航向则从

$$C_i = \pi - Q_0 + a \quad (15)$$

求出。其中, π 为 180° 。

一旦滤波输出航向较大偏离目标前进方向,则引入目标前进方向更新滤波状态,将滤波输出结果约束在目标前进方向上。

图4所示为在两种滤波初值情况下,约束滤波算法性能的考察结果。

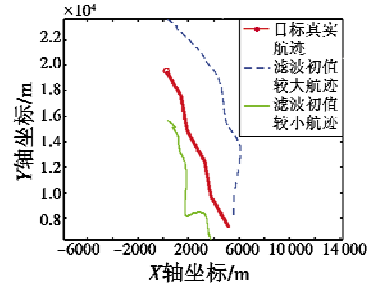


图4 不同初值约束滤波算法定位跟踪效果

Fig. 4 Simulation results for two initial values

由图4可以看出,以目标前进方向对滤波输出结果进行约束后,在滤波初值较大和较小情况下,跟踪航迹都比较稳定,且较好地维持了目标航迹特性,若能够给出较为可靠的滤波初值,则可得到较为精确的滤波结果。

涉及滤波算法的初始化问题,为保证滤波算法的稳定性和收敛性,在解算初期,利用观测平台一次机动前后的方位量测信息,基于最小二乘思想解算出大致的目标参数信息,将其作为此时刻启动的UKF滤波算法的初始值,并进行小幅机动目标定位跟踪。

3 仿真实验

为验证UKF滤波算法跟踪小幅机动目标的定位性能,将仿真场景设计如下:目标初始距离20 km,观测平台速度为6 kn,初始航向 90° ,航行3 min后,将航向调整为 0° ,沿 0° 航向航行5 min后,改变航向为 90° 继续直航;目标以15 kn的速度沿 180° 主航向进行幅度为 20° 的变向机动,变向周期6 min;仿真总时间1800 s,采样间隔1 s,方位均方根误差 0.5° 。

分别采用两种方法进行目标运动要素解算:1) 机动检测+匀直假定模型;2) 不进行目标机动检测,应用最小二乘和UKF联合调度算法。将两种方法得到的目标距离、速度、航向结果与目标真实参数进行比较,跟踪效果如图5所示,目标距离、速度和航向解算误差比较结果如图6所示。

从图5~图6仿真结果可看出,机动检测+匀直假定模型模式的机动目标定位跟踪算法在检测不出目标机动的情况下,无法对小幅机动目标进行稳定跟踪,

解算误差大,结果不稳定。相比之下,最小二乘和 UKF 联合调度算法能够实现对小幅机动目标的较好跟踪,在最小二乘算法解算结果稳定的情况下,UKF 滤波算法能够较快收敛。

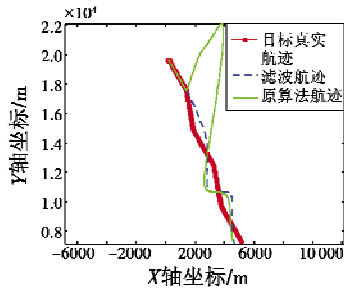


图5 原算法与滤波算法跟踪效果比较
Fig.5 Maneuvering target simulation results

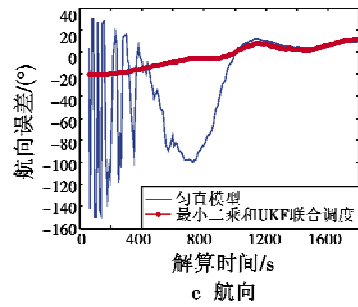
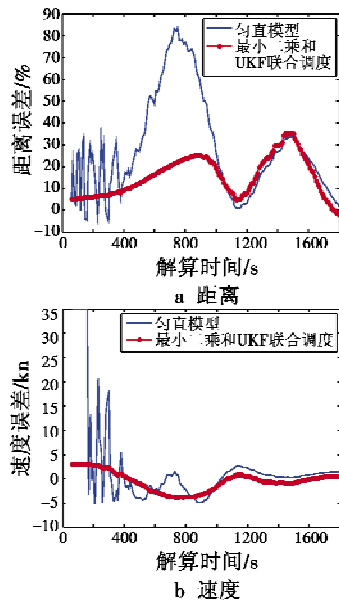


图6 目标距离、速度和航向解算误差比较

Fig.6 Comparison of target distance, speed and course error

4 结论

本文将最小二乘和 UKF 联合调度算法应用于小幅机动水声目标的定位跟踪问题。仿真结果表明,这种方法取得了较好跟踪小幅机动目标的效果,解决了常用的机动目标跟踪方法检测不出目标机动情况下的小幅机动目标定位跟踪问题。

参考文献

- [1] 潘新祥,刘凯. 基于方位线性预测的远距离目标机动检测方法[J]. 指挥控制与仿真,2013,35(2):113-117.
- [2] 刘凯,苗艳,袁富宇. 用于纯方位机动目标跟踪的机动探测法[J]. 指挥控制与仿真,2006,28(2):30-34.
- [3] 孙世岩,王炳,张国栋. 一种基于满意滤波的纯方位目标跟踪算法[J]. 指挥控制与仿真,2012,34(6):51-54.
- [4] 李明月,陈红林. 基于 UKF 算法的被动目标跟踪[J]. 电光与控制,2010,17(11):34-38.
- [5] 夏佩伦. 潜艇对机动目标跟踪和攻击若干问题的探讨[J]. 火力与指挥控制,2010,35(2):6-10.

(上接第26页)

- [2] 刘斌,穆荣军,张新,等. 两种快速传递对准方法在航空制导武器中的应用[J]. 中国惯性技术学报,2016,24(2):141-147.
- [3] KAIN J E, CLOUTIER J R. Rapid transfer alignment for tactical weapon application [C]//Proceeding of AIAA Guidance, Navigation and Conference, 1989:1290-1300.
- [4] 陈来. 捷联惯性导航系统动基座传递对准研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [5] LI W L, TANG K H, LU L Q, et al. Optimization-based INS in-motion alignment approach for under-water vehicles[J].

- Optik International Journal for Light and Electron Optics, 2013, 124(20):4581-4585.
- [6] WU Y X, ZHANG H L, WU M P, et al. Observability of strapdown INS alignment: a global perspective[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 2012, 48(1):78-102.
- [7] 付梦印,邓志红,闫莉萍. Kalman 滤波理论及其在导航系统中的应用[M]. 2版. 北京:科学出版社,2010:12-33.
- [8] 孔星炜,郭美凤,董景新,等. 大陀螺零偏条件下的快速传递对准算法[J]. 中国惯性技术学报,2008,16(5):509-517.

欢迎关注新浪微博 @电光与控制