

文章编号: 1672-2892(2011)02-0152-06

基于伪线性和输入估计的无源自适应跟踪算法

修建娟^a, 孔 博^b, 修建华^a

(海军航空工程学院 a.电子信息工程系; b.研究生二队, 山东 烟台 264001)

摘 要: 基于伪线性滤波算法和输入估计算法提出了一种对空中机动目标进行三维测向无源自适应跟踪的新算法。该算法把目标机动加速度看成是未知的输入向量附加到状态方程中, 再利用状态向量扩维情况下的伪线性滤波算法对目标进行三维无源跟踪, 跟踪过程中在对原来目标状态向量进行估计的同时估计目标加速度。仿真结果表明: 该算法不需要对目标进行机动检测, 即能够适应目标机动和非机动 2 种工作模式, 实现对空中机动目标的自适应无源跟踪。

关键词: 修正的输入估计; 伪线性滤波; 无源定位; 自适应跟踪

中图分类号: TN953⁺.5

文献标识码: A

An adaptive tracking algorithm based on pseudo-linear and input estimation in passive location system

XIU Jian-juan^a, KONG Bo^b, XIU Jian-hua^a

(a.Department of Electronic and Information Engineering; b.Brigade 2 of Postgraduate, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai Shandong 264001, China)

Abstract: A simple yet more effective filtering algorithm for 3-D passive location systems is developed by combination of pseudo-linear filter with modified input estimation approach. In this method, the acceleration is treated as an additive input term in the corresponding state equation, and higher dimension pseudo-linear filter is used to solve the passive tracking problem of air target. The original state and acceleration vectors are estimated simultaneously with the higher dimension pseudo-linear filter. Simulation results show that the proposed tracking algorithm can operate in both the non-maneuvering and the maneuvering modes, and the maneuver detection procedure is unnecessary; passive sensor can track the maneuvering air target by using the proposed method.

Key words: modified input estimation; pseudo-linear filter; passive location; adaptive tracking

无源定位具有抗干扰、抗低空突防、反隐身和防反辐射导弹等优点, 近年来无源定位技术受到了人们的普遍重视, 国内外学者对其进行了大量研究^[1-2], 给出了许多无源定位方法, 而测向无源定位技术是其中发展较早、研究较多和使用较广泛的一种^[3-4]。但现有的无源定位算法大多以固定或匀速运动的目标为研究对象, 随着电子战的日趋激烈, 目标为了避免被跟踪、被攻击等随时都可能出现机动, 对机动目标进行自适应无源跟踪有着十分重要的理论价值和军事意义^[5]。机动目标跟踪方法概括来讲可分为以下两类^[6]: 一类是具有机动检测的跟踪算法, 在利用该类算法对机动目标进行跟踪时, 一个难点是确定目标什么时间开始机动, 它需要尽可能快地检测到目标机动; 另一类是无需机动检测的自适应跟踪算法, 但该类算法通常需要对目标的机动特性做出合理的假设, 当假设与外界不符时, 算法性能将大打折扣, 而且该类算法在目标不发生机动时的跟踪准确度会有所下降^[6]。针对上述情况, 本文对机动目标的三维无源自适应跟踪问题进行了研究, 并受文献[7]的启发, 提出了一种在只有测向信息的情况下利用伪线性滤波算法和修正输入估计对空中机动目标进行无源跟踪的新算法。

1 扩维状态方程

设离散时间系统的状态方程为:

收稿日期: 2010-09-07; 修回日期: 2010-11-08

基金项目: “泰山学者”建设工程专项经费资助项目; 新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-05-0912)

$$\mathbf{X}(k+1) = \mathbf{F}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{u}(k) + \mathbf{\Gamma}(k)\mathbf{v}(k) \quad (1)$$

式中:

$$\mathbf{F}(k) = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

为状态转移矩阵, T 为采样间隔;

$$\mathbf{X}(k) = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y} \ z \ \dot{z}]' \quad (3)$$

为状态向量;

$$\mathbf{G}(k) = \begin{bmatrix} T^2/2 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T^2/2 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & T^2/2 & T \end{bmatrix} \quad (4)$$

为输入控制项矩阵;

$$\mathbf{u}(k) = [a_x \ a_y \ a_z]' \quad (5)$$

为目标机动模型的未知输入;

$$\mathbf{\Gamma}(k) = \begin{bmatrix} T^2/2 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T^2/2 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & T^2/2 & T \end{bmatrix} \quad (6)$$

为过程噪声分布矩阵; $\mathbf{v}(k)$ 为零均值、白色高斯过程噪声序列。

若将未知的输入向量 $\mathbf{u}(k)$ 附加到状态向量 $\mathbf{X}(k)$ 上, 可将式(1)给出的机动目标状态方程改写为如下的非机动状态方程^[7]:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}(k+1) \\ \mathbf{u}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F} & \mathbf{G} \\ \mathbf{0}_{3 \times 6} & \mathbf{I}_{3 \times 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X}(k) \\ \mathbf{u}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{\Gamma} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} \end{bmatrix} \mathbf{v}(k) \quad (7)$$

式中: $\mathbf{I}_{3 \times 3}$ 为 3×3 的单位阵; $\mathbf{0}_{3 \times 6}$ 为 3×6 的全零阵; $\mathbf{0}_{3 \times 3}$ 为 3×3 的全零阵。为了简单起见, 将 $\mathbf{F}(k), \mathbf{G}(k), \mathbf{\Gamma}(k)$ 简写为 $\mathbf{F}, \mathbf{G}, \mathbf{\Gamma}$ 。

定义:

$$\mathbf{X}_{\text{Aug}}(k+1) = \begin{bmatrix} \mathbf{X}(k+1) \\ \mathbf{u}(k+1) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{F}_{\text{Aug}}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{F} & \mathbf{G} \\ \mathbf{0}_{3 \times 6} & \mathbf{I}_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{\Gamma}_{\text{Aug}}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{\Gamma} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

则扩维后的状态方程为:

$$\mathbf{X}_{\text{Aug}}(k+1) = \mathbf{F}_{\text{Aug}}(k)\mathbf{X}_{\text{Aug}}(k) + \mathbf{\Gamma}_{\text{Aug}}(k)\mathbf{v}(k) \quad (11)$$

2 扩维的伪线性观测方程

三维测向无源跟踪中的测量方程为:

$$\mathbf{Z}(k+1) = \mathbf{h}[\mathbf{X}(k+1)] + \mathbf{w}(k+1) \quad (12)$$

式中:

$$\mathbf{Z}(k+1) = \begin{bmatrix} \beta(k+1) \\ \gamma(k+1) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{h}[X(k+1)] = \begin{bmatrix} \arctan\left(\frac{x(k+1)}{y(k+1)}\right) \\ \arctan\left(\frac{z(k+1)}{\sqrt{x^2(k+1) + y^2(k+1)}}\right) \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\mathbf{w}(k+1) = \begin{bmatrix} w_\beta(k+1) \\ w_\gamma(k+1) \end{bmatrix} \quad (15)$$

式(13)~(14)中: $x(k+1)$ 、 $y(k+1)$ 和 $z(k+1)$ 分别表示 $k+1$ 时刻目标相对于传感器的 x 轴、 y 轴和 z 轴位置分量; $\beta(k+1)$ 和 $\gamma(k+1)$ 分别表示目标的方位角和俯仰角测量数据; $w_\beta(k+1)$ 和 $w_\gamma(k+1)$ 分别表示目标方位角和俯仰角测量误差, 并假设是均值为零、方差为 σ_β^2 和 σ_γ^2 的白色高斯噪声。这样量测噪声 $\mathbf{w}(k+1)$ 的协方差矩阵可表示为:

$$\mathbf{R}(k) = \begin{bmatrix} \sigma_\beta^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\gamma^2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

并假设对所有时刻的过程噪声、量测噪声都是相互统计独立的, 即:

$$\mathbf{E}[\mathbf{v}(k)\mathbf{v}'(j)] = \mathbf{Q}(k)\delta_{kj} \quad (17)$$

式中 δ_{kj} 为 Kronecker delta 函数。

$$\mathbf{E}[\mathbf{w}(k)\mathbf{w}'(j)] = \mathbf{R}(k)\delta_{kj} \quad (18)$$

$$\mathbf{E}[\mathbf{v}(k)\mathbf{w}'(j)] = 0 \quad (\text{对所有的 } k \text{ 和 } j) \quad (19)$$

由式(12)可得:

$$\frac{\sin[\beta(k+1)-w_\beta(k+1)]}{\cos[\beta(k+1)-w_\beta(k+1)]} = \frac{x(k+1)}{y(k+1)} \quad (20)$$

$$\frac{\sin[\gamma(k+1)-w_\gamma(k+1)]}{\cos[\gamma(k+1)-w_\gamma(k+1)]} = \frac{z(k+1)}{r_{xy}(k+1)} \quad (21)$$

式中:

$$r_{xy}(k+1) = \sqrt{x^2(k+1) + y^2(k+1)} \quad (22)$$

由于 $w_\beta(k+1)$ 和 $w_\gamma(k+1)$ 分别表示方位角和俯仰角测量误差, 其值很小, 所以近似有:

$$\sin[w_\beta(k+1)] \approx w_\beta(k+1) \quad (23)$$

$$\sin[w_\gamma(k+1)] \approx w_\gamma(k+1) \quad (24)$$

$$\cos[w_\beta(k+1)] \approx 1 \quad (25)$$

$$\cos[w_\gamma(k+1)] \approx 1 \quad (26)$$

利用三角函数和差化积公式将式(20)和式(21)展开, 并利用式(23)~(26)进行简化整理可得:

$$\frac{\sin \beta(k+1) - \cos \beta(k+1)w_\beta(k+1)}{\cos \beta(k+1) + \sin \beta(k+1)w_\beta(k+1)} = \frac{x(k+1)}{y(k+1)} \quad (27)$$

$$\frac{\sin \gamma(k+1) - \cos \gamma(k+1)w_\gamma(k+1)}{\cos \gamma(k+1) + \sin \gamma(k+1)w_\gamma(k+1)} = \frac{z(k+1)}{r_{xy}(k+1)} \quad (28)$$

进而可得:

$$x(k+1) \cos \beta(k+1) - y(k+1) \sin \beta(k+1) + w_\beta(k+1)[x(k+1) \sin \beta(k+1) + y(k+1) \cos \beta(k+1)] = 0 \quad (29)$$

$$z(k+1) \cos \gamma(k+1) - r_{xy}(k+1) \sin \gamma(k+1) + w_\gamma(k+1)[z(k+1) \sin \gamma(k+1) + r_{xy}(k+1) \cos \gamma(k+1)] = 0 \quad (30)$$

因为

$$x(k+1) \sin \beta(k+1) + y(k+1) \cos \beta(k+1) = r_{xy}(k+1) \quad (31)$$

将式(31)代入式(29)~(30)中可得:

$$x(k+1) \cos \beta(k+1) - y(k+1) \sin \beta(k+1) + w_\beta(k+1)r_{xy}(k+1) = 0 \quad (32)$$

$$-x(k+1) \sin \beta(k+1) \sin \gamma(k+1) - y(k+1) \cos \beta(k+1) \sin \gamma(k+1) + z(k+1) \cos \gamma(k+1) + w_\gamma(k+1)r(k+1) = 0 \quad (33)$$

式中

$$r(k+1) = z(k+1) \sin \gamma(k+1) + r_{xy}(k+1) \cos \gamma(k+1) \quad (34)$$

为 $k+1$ 时刻目标与传感器之间距离。

则式(32)和式(33)可用下面的伪线性测量方程表示:

$$\mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{X}(k+1) + \boldsymbol{\varepsilon}(k+1) = 0 \quad (35)$$

式中:

$$\mathbf{H}^*(k+1) = \begin{bmatrix} \cos \beta(k+1) & -\sin \beta(k+1) \sin \gamma(k+1) \\ 0 & 0 \\ -\sin \beta(k+1) & -\cos \beta(k+1) \sin \gamma(k+1) \\ 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma(k+1) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (36)$$

为量测矩阵;

$$\boldsymbol{\varepsilon}(k+1) = \begin{bmatrix} r_{xy}(k+1)w_\beta(k+1) \\ r(k+1)w_\gamma(k+1) \end{bmatrix} = [r_{xy}(k+1) \quad r(k+1)]\mathbf{w}(k+1) \quad (37)$$

为 $k+1$ 时刻的等效测量误差, 并且该误差服从均值为 0、方差为 $\mathbf{R}_\varepsilon$ 的正态分布,

$$\mathbf{R}_\varepsilon(k+1) = \begin{bmatrix} r_{xy}^2(k+1)\sigma_\beta^2 & 0 \\ 0 & r^2(k+1)\sigma_\gamma^2 \end{bmatrix} \quad (38)$$

将式(1)代入式(35)中简化整理可得:

$$\mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{F}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{G}(k)\mathbf{u}(k) + \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{\Gamma}(k)\mathbf{v}(k) + \boldsymbol{\varepsilon}(k+1) = 0 \quad (39)$$

利用式(8)可得扩维后的伪线性观测方程:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{F}(k) & \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{G}(k) \end{bmatrix} \mathbf{X}_{\text{Aug}}(k) + \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{\Gamma}(k)\mathbf{v}(k) + \boldsymbol{\varepsilon}(k+1) = 0 \quad (40)$$

定义:

$$\mathbf{H}_{\text{Aug}}(k+1) = [\mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{F}(k) \quad \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{G}(k)] \quad (41)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{\text{Aug}}(k+1) = \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{\Gamma}(k)\mathbf{v}(k) + \boldsymbol{\varepsilon}(k+1) \quad (42)$$

则扩维后的伪线性测量方程可表示为:

$$\mathbf{H}_{\text{Aug}}(k+1)\mathbf{X}_{\text{Aug}}(k) + \boldsymbol{\varepsilon}_{\text{Aug}}(k+1) = 0 \quad (43)$$

3 扩维的伪线性滤波器

状态的一步预测:

$$\hat{\mathbf{X}}_{\text{Aug}}(k+1|k) = \mathbf{F}_{\text{Aug}}(k)\hat{\mathbf{X}}_{\text{Aug}}(k|k) \quad (44)$$

增益:

$$\mathbf{K}_{\text{Aug}}(k+1) = [\mathbf{P}_{\text{Aug}}(k+1|k)\mathbf{H}_{\text{Aug}}'(k+1) + \mathbf{\Gamma}_{\text{Aug}}(k)\mathbf{T}_{\text{Aug}}(k)]\mathbf{R}_{\text{Aug}}^{-1}(k+1) \quad (45)$$

式中:

$$\begin{aligned} T_{\text{Aug}}(k) &= E[\mathbf{v}(k)\mathbf{e}'_{\text{Aug}}(k+1)] = E[\mathbf{v}(k)(\mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{\Gamma}(k)\mathbf{v}(k) + \mathbf{\varepsilon}(k+1))'] = \\ &E[\mathbf{v}(k)\mathbf{v}'(k)\mathbf{\Gamma}'(k)\mathbf{H}^{*'}(k+1)] + E\left\{\mathbf{v}(k)\mathbf{w}'(k+1)\begin{bmatrix} r_{xy}(k+1) \\ r(k+1) \end{bmatrix}\right\} = \mathbf{Q}(k)\mathbf{H}^{*'}(k+1)\mathbf{\Gamma}'(k) \end{aligned} \quad (46)$$

$$\mathbf{R}_{\text{Aug}}(k+1) = E[\mathbf{\varepsilon}_{\text{Aug}}(k+1)\mathbf{\varepsilon}'_{\text{Aug}}(k+1)] = \mathbf{H}^*(k+1)\mathbf{\Gamma}(k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{H}^{*'}(k+1)\mathbf{\Gamma}'(k) + \mathbf{R}_{\varepsilon}(k+1) \quad (47)$$

式中 $\mathbf{R}_{\varepsilon}(k+1)$ 在仿真实验中取:

$$\mathbf{R}_{\varepsilon}(k+1) = \begin{bmatrix} \hat{r}_{xy}^2(k+1)\sigma_{\beta}^2 & 0 \\ 0 & \hat{r}^2(k+1)\sigma_{\gamma}^2 \end{bmatrix} \quad (48)$$

这里

$$\hat{r}_{xy}(k+1) = \sqrt{\hat{x}^2(k+1|k) + \hat{y}^2(k+1|k)} \quad (49)$$

$$\hat{r}(k+1) = \sqrt{\hat{r}_{xy}^2(k+1) + \hat{z}^2(k+1|k)} \quad (50)$$

而 $\hat{x}(k+1|k)$ 、 $y(k+1|k)$ 和 $\hat{z}(k+1|k)$ 分别表示目标状态一步预测中对应的 x, y, z 轴位置分量。

新息协方差:

$$\mathbf{S}_{\text{Aug}}(k+1) = \mathbf{H}_{\text{Aug}}(k+1)\mathbf{P}_{\text{Aug}}(k+1|k)\mathbf{H}'_{\text{Aug}}(k+1) + \mathbf{R}_{\text{Aug}}(k+1) \quad (51)$$

协方差更新方程:

$$\mathbf{P}_{\text{Aug}}(k+1|k+1) = \mathbf{P}_{\text{Aug}}(k+1|k) - \mathbf{P}_{\text{Aug}}(k+1|k) \times \mathbf{H}'_{\text{Aug}}(k+1)\mathbf{S}_{\text{Aug}}^{-1}(k+1)\mathbf{H}_{\text{Aug}}(k+1)\mathbf{P}_{\text{Aug}}(k+1|k) \quad (52)$$

协方差的一步预测:

$$\mathbf{P}_{\text{Aug}}(k+1|k) = \mathbf{F}_{\text{Aug}}(k)\mathbf{P}_{\text{Aug}}(k|k)\mathbf{F}'_{\text{Aug}}(k) + \mathbf{\Gamma}_{\text{Aug}}(k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{\Gamma}'_{\text{Aug}}(k) \quad (53)$$

状态更新方程:

$$\hat{\mathbf{X}}_{\text{Aug}}(k+1|k+1) = \hat{\mathbf{X}}_{\text{Aug}}(k+1|k) - \mathbf{K}_{\text{Aug}}(k+1)\mathbf{H}_{\text{Aug}}(k+1)\hat{\mathbf{X}}_{\text{Aug}}(k+1|k) \quad (54)$$

4 仿真分析

假定有一个地面无源雷达观测站对空中一目标进行观测,为了简单起见,假设观测站在水平面作匀速圆周运动,扫描周期 $T=1$ s,目标假设在空中一等高水平面内运动,目标高度假设为 5 km,目标最初位置的 x 轴和 y 轴坐标为: (50 000 m, 60 000m), 目标真实的初始状态为:

$$\mathbf{X}(0) = [50\ 000, -100, 60\ 000, -150, 5\ 000, 0, 0, 0, 0]' \quad (55)$$

目标在 0 s~29 s 作匀速直线运动, x, y, z 轴的目标机动加速度均为 0; 目标在 30 s~49 s 作加速度 $a_x=-5$ m/s², $a_y=5$ m/s² 和 $a_z=-1$ m/s² 的转弯, 完成慢转弯后加速度降为 0; 目标从 60 s 开始作速度 $a_x=15$ m/s², $a_y=-15$ m/s² 和 $a_z=3$ m/s² 的转弯; 在 68 s 结束转弯时加速度降至 0, 然后保持匀速直线运动至 90 s。方位角和俯仰角测量误差的标准差分别为 $\sigma_{\beta}=1^{\circ}$ 和 $\sigma_{\gamma}=0.1^{\circ}$ 。仿真中过程噪声序列 $\mathbf{v}(k)$ 的方差阵取为:

$$\mathbf{Q}(k) = \begin{bmatrix} 6^2 & 0 & 0 \\ 0 & 8^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01^2 \end{bmatrix} \quad (56)$$

初始协方差矩阵为:

$$\mathbf{P}(1|1) = \begin{bmatrix} 0.0001\mathbf{I}_{4 \times 4} & \mathbf{0}_{4 \times 5} \\ \mathbf{0}_{5 \times 4} & 0.00001\mathbf{I}_{5 \times 5} \end{bmatrix} \quad (57)$$

式中: $\mathbf{I}_{4 \times 4}$ 和 $\mathbf{I}_{5 \times 5}$ 分别表示 4×4 和 5×5 的单位阵; $\mathbf{0}_{4 \times 5}$ 和 $\mathbf{0}_{5 \times 4}$ 分别表示 4×5 和 5×4 的全零阵; $\mathbf{0}_{3 \times 3}$ 表示 3×3 的全零阵。

初始状态设为:

$$\hat{X}(1|1) = [49\ 402, -98\ 59\ 245, -155\ 5\ 000, 0, 0, 0, 0]^T \quad (58)$$

仿真结果如图1和图2所示。由图1和图2可看出,在只有测向数据的情况下利用本文提出的扩维伪线性滤波算法可对原来的目标状态向量和新增的目标加速度向量同时进行估计,根据估计的加速度大小对滤波模型进行自适应调整,最终实现对空中机动目标的自适应被动跟踪。

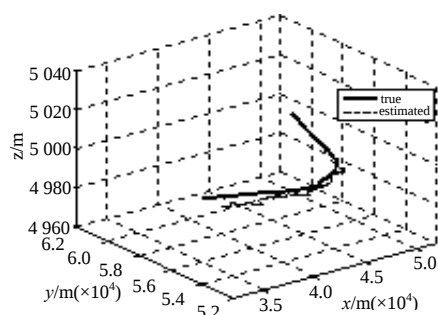


Fig.1 True and estimated target trajectory in 3-D space
图1 目标三维空间中的真实和滤波轨迹图

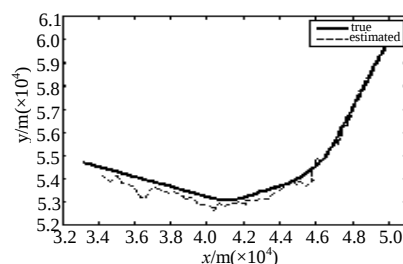


Fig.2 True and estimated target trajectory in 2-D plane
图2 目标 x,y 轴的真实和滤波轨迹图

5 结论

机动目标跟踪技术一直是国内外学者研究的重点,其研究大多针对的是主动情况,对于被动情况下的机动目标跟踪的研究相对较少。针对这种情况,本文对三维情况下的机动目标跟踪问题进行了研究,并把目标机动加速度看成是未知的输入向量附加到状态方程中去,然后利用状态向量扩维情况下的伪线性滤波算法^[8]对目标进行三维无源跟踪。仿真结果表明,利用该算法可实现对空中机动目标的自适应无源跟踪。

参考文献:

- [1] 孙仲康,郭福成,冯道旺,等. 单站无源定位跟踪技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2008.
- [2] Ristic B, Arulampalam M S. Tracking a maneuvering target using angle-only measurements: algorithms and performance[J]. Signal processing, 2003, 83(3): 1223-1238.
- [3] XIU Jianjuan, HE You, WANG Guohong. Constellation of Multisensors in Bearing-only Location System[J]. IEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, 2005, 152(3): 215-218.
- [4] 白晶,王国宏,王娜,等. 测向交叉定位系统中的最优交会角研究[J]. 航空学报, 2009, 30(2): 298-304.
- [5] 王国宏,王晓博,王晨熙,等. 基于交互多模型和中值滤波的加速度估计方法[J]. 海军航空工程学院学报, 2008, 23(3): 249-251.
- [6] 何友,修建娟,张晶炜,等. 雷达数据处理及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
- [7] Khaloozadeh H, Karsaz A. Modified Input Estimation Technique for Tracking Maneuvering Targets[J]. IET Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, 2009, 3(1): 30-41.
- [8] 周瑞岩,伍光新,邓维波. 伪线性滤波算法在三维测向无源定位中的应用[J]. 雷达与对抗, 2006(3): 8-10.

作者简介:



修建娟(1971-)女,山东省蓬莱市人,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为无源定位、雷达数据处理、多传感器信息融合.email:xiujianjuan_yt@sohu.com.

孔博(1985-),男,山东省邹城市人,硕士研究生,研究方向为无源定位.

修建华(1960-),女,山东省蓬莱市人,硕士,副教授,主要研究方向为信息融合.