

文章编号:1001-5078(2010)03-0325-05

· 图像与信号处理 ·

一种新的雷达与红外传感器异平台数据融合方法

王毅

(江苏自动化研究所,江苏连云港 222006)

摘要:针对现有雷达与红外传感器异平台数据融合算法定位精度不高的现状,直接采用由雷达位置与雷达量测的目标距离确定的圆和由红外位置与红外量测的目标方位确定的直线相交,对目标进行定位,提出了一种新的雷达和红外传感器位于异平台情况下的数据融合算法,减小了雷达角度测量误差对定位结果的影响。仿真分析证明新的融合算法与现有融合算法相比有效地提高了目标定位精度。

关键词:雷达;红外;异平台;数据融合

中图分类号:TN95;TN21 **文献标识码:**A

New data-fusion algorithm for radar and IR sensors at different sites

WANG Yi

(Jiangsu Automatic Research Institute, Lianyungang 222006, China)

Abstract: Aiming at the problems lying in the present fusion algorithms for heterogeneous sensors at different sites, a new data fusion algorithm is proposed for radar and IR sensors at different sites based on the accuracy of the distance measurement of radar and angle measurement of IR sensors. In the algorithm, a circle determined by the location of radar and distance measurement of radar intersects the line determined by the location of IR and angle measurement of IR. The intersection point is the location result. Comparisons of simulation results show that the new algorithm can improve the target location precision greatly.

Key words: radar; IR; different sites; data-fusion

1 引言

为了及时、准确、全面地获得战场信息,通常需要使用多个异类传感器配合使用。雷达采用有源方式能获取完整的目标位置信息,雷达在边扫描边跟踪(TWS)状态下提供的目标参数(特别是角度参数)精度较低;红外传感器具有测角精度高和目标识别能力强等优点,因此,雷达和红外是异类传感器系统中最常见的一种组合类型,已成为相互独立又彼此补充的一种重要的探测跟踪手段^[1],使其成为近年的研究热点^[2-11]。

目前公开发表的文献主要考虑同平台不同传感器数据融合或异平台传感器数据同步、关联,很少涉及异平台异类传感器间的数据融合。文献[7]中对异地配置下的雷达和红外数据融合进行了讨论,首

先将雷达探测数据转换到以红外为坐标原点的东北天坐标系中,得到目标相对于红外的距离、方位;然后,将转换后的方位与红外量测的目标方位进行融合;最后,根据目标相对于红外的距离、方位对目标进行定位。由于雷达方位探测误差较大,使坐标转换后目标相对于红外的距离误差大,利用红外探测的方位信息对目标定位的改善小。文献[8]对异地配置下的雷达和红外数据融合给出了融合后的目标方位,但并未确切给出坐标原点和距离参数,无法对目标进行定位。本文针对上述问题进行研究,并在

基金项目:国家安全重大基础研究项目(No. 613101)资助。
作者简介:王毅(1981-),女,工程师,硕士,研究方向为数据融合。E-mail:wange0404@gmail.com
收稿日期:2009-10-20

此基础上提出一种新的雷达与红外传感器异平台数据融合方法。

2 问题分析

以雷达探测二维数据和红外探测一维数据融合为例。雷达关于目标的距离方位值经坐标转换之后,目标相对于红外的距离 D_{IR-T} 、方位 β_{IR-T} 分别为:

$$D_{IR-T} = \sqrt{(D\sin\beta - D_{IR}\sin\beta_{IR})^2 + (D\cos\beta - D_{IR}\cos\beta_{IR})^2} \quad (1)$$

$$\beta_{IR-T} = \tan^{-1}\left(\frac{D\sin\beta - D_{IR}\sin\beta_{IR}}{D\cos\beta - D_{IR}\cos\beta_{IR}}\right) \quad (2)$$

其中, (D_{IR}, β_{IR}) 为红外相对于雷达的坐标。

由式(1)可得原方法中目标到红外间距离的方差为:

$$\sigma_{D_{IR-T}}^2 = \left[\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D}, \frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta} \right] \begin{bmatrix} \sigma_D^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\beta^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D} \\ \frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta} \end{bmatrix}^T = \sigma_D^2 \left(\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D} \right)^2 + \sigma_\beta^2 \left(\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta} \right)^2 \quad (3)$$

其中:

$$\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D} = \frac{D - D_{IR}\cos(\beta_{IR} - \beta)}{D_{IR-T}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta} = \frac{DD_{IR}\sin(\beta - \beta_{IR})}{D_{IR-T}} \quad (5)$$

当传感器(雷达与红外)间距离远小于传感器与目标间距离时:

$$\frac{D - D_{IR}\cos(\beta_{IR} - \beta)}{D_{IR-T}} \approx 1 \quad (6)$$

$$\frac{DD_{IR}\sin(\beta - \beta_{IR})}{D_{IR-T}} \approx D_{IR}\sin(\beta - \beta_{IR}) \quad (7)$$

$$\sigma_{D_{IR-T}}^2 = \sigma_D^2 + \sigma_\beta^2 [D_{IR}\sin(\beta - \beta_{IR})]^2 \quad (8)$$

由式(8)可知,由于雷达对目标的方位测量方差较大,使得坐标转换后目标到红外的距离方差常常大于 $\sigma_{D_{IR-T}}^2$,雷达对目标距离测量方差 σ_D^2 ,且此差值随雷达和红外传感器间距离 D_{IR} 增大而增大。在文献[7]中,直接采用坐标转换后目标到红外距离量对目标进行定位,定位误差较大。

3 新的红外与雷达传感器异平台数据融合方法

3.1 新算法原理

异类传感器数据融合,利用不同传感器优势互补就要充分利用其测量精度高的维度(如雷达测量的目标距离,红外测量的目标方位),避免测量精度低的维度对定位结果造成大的影响。因此在雷达与红外的数据融合中,应直接利用雷达高精度的距离测量结果,与融合后目标相对于红外的方位进行综

合,对目标定位,如图1所示(假设两传感器间距离远小于传感器与目标间距离)。

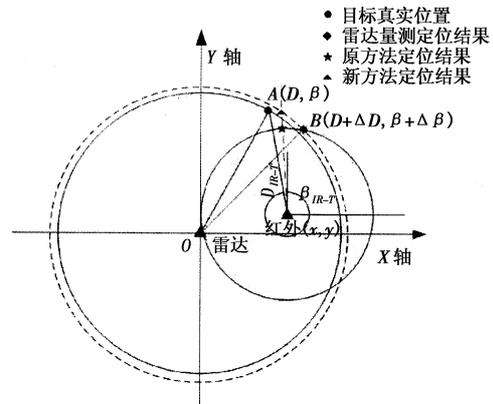


图1 原方法与新方法定位比较示意图

假设目标位于点A,相对于雷达的极坐标为 (D, β) ,红外在以雷达为原点的 xy 坐标系下的位置为 (x_{IR}, y_{IR}) ;目标相对于红外的极坐标为 (D_{IR-T}, β_{IR-T}) ,则目标在以雷达为原点的 xy 坐标系下的坐标 (x_T, y_T) 有:

$$x_T^2 + y_T^2 = D^2 \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_T - x_{IR} = D_{IR-T}\sin\beta_{IR-T} \\ y_T - y_{IR} = D_{IR-T}\cos\beta_{IR-T} \end{cases} \quad (10)$$

由于目标到雷达距离 $D \gg D_{IR}$,且 $D_{IR-T} > 0$,将式(10)代入式(9)有:

$$D_{IR-T} = -D_{IR}\cos(\beta_{IR-T} - \beta_{IR}) + \sqrt{D^2 - D_{IR}^2\sin^2(\beta_{IR-T} - \beta_{IR})} \quad (11)$$

图1中将雷达的探测结果表示为菱形。雷达对于目标的距离量测精度较高,对于目标方位量测精度较低,因此,仅采用其距离量测结果,认为目标位于以雷达所在平台为圆心, $D + \Delta D$ 为半径的圆上, ΔD 为雷达对目标的距离探测误差,如图1所示虚线圆所示。

红外对目标的量测结果为 $\beta_{IR-T} + \Delta\beta_{IR-T}$, $\Delta\beta_{IR-T}$ 为红外对目标的方位探测误差。目标到红外的方位采用融合后的方位 β''_{IR-T} (融合过程如文献[7]中所述)。因此认为目标位于以红外所在平台为原点,角度为 β''_{IR-T} 的直线上,如图1所示的点划线。

根据式(9)及雷达和红外探测结果可得目标定位点与红外之间距离为:

$$D'_{IR-T} = -D_{IR}\cos(\beta''_{IR-T} - \beta_{IR}) + \sqrt{(D + \Delta D)^2 - D_{IR}^2\sin^2(\beta''_{IR-T} - \beta_{IR})} \quad (12)$$

由目标相对于红外的极坐标 $(D'_{IR-T}, \beta''_{IR-T})$ 可

对目标进行定位,如图1中三角形所示。

由式(9)可得的目标到红外间距离的方差为:

$$\begin{aligned} \sigma_{D_{IR-T}}^2 &= \begin{bmatrix} \frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D}, \frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta_{IR-T}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_D^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\beta_{IR-T}}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D}, \frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta_{IR-T}} \end{bmatrix}^T \\ &= \sigma_D^2 \left(\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D} \right)^2 + \sigma_{\beta}^2 \left(\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta_{IR-T}} \right)^2 \\ &= \sigma_D^2 \left(\frac{D}{p} \right)^2 + \sigma_{\beta_{IR-T}}^2 \left[D_{IR} \sin(\beta_{IR} - \beta_{IR-T}) + \frac{\partial p}{\partial \beta_{IR-T}} \right]^2 \end{aligned} \quad (13)$$

其中, $p = \sqrt{D^2 - D_{IR}^2 \sin^2(\beta_{IR} - \beta_{IR-T})}$,

$$\frac{\partial p}{\partial \theta} = \frac{D_{IR}^2 \sin^2(\beta_{IR} - \beta_{IR-T})}{2p}$$

3.2 新算法与原算法定位结果方差比较

为将新算法与原算法中目标到红外的距离方差进行比较,将雷达、红外和目标之间用三角形联系起来,如图2所示。

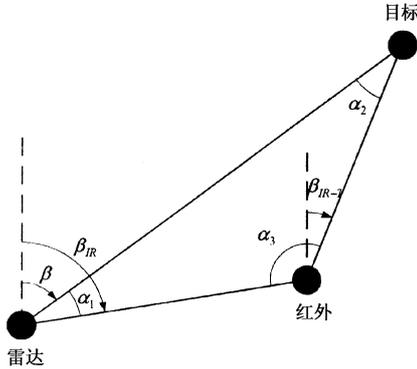


图2 雷达、红外和目标三角关系示意图

则式(5)、式(6)可写作:

$$\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial D} = \frac{D - D_{IR} \cos \alpha_1}{D_{IR-T}} \quad (14)$$

$$\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta_{IR-T}} = \frac{D D_{IR} \sin \alpha_1}{D_{IR-T}} \quad (15)$$

式(11)可写作:

$$\begin{aligned} \frac{D}{p} &= \frac{D}{\sqrt{D^2 - D_{IR}^2 \sin^2(\beta_{IR} - \beta_{IR-T})}} \\ &= \frac{D}{\sqrt{D^2 - D_{IR}^2 \sin^2 \alpha_3}} \end{aligned} \quad (16)$$

$$D_{IR} \sin(\beta_{IR} - \beta_{IR-T}) + \frac{\partial p}{\partial \beta_{IR-T}} = D_{IR} \sin \alpha_3 +$$

$$\frac{D_{IR}^2 \sin^2 \alpha_3}{2\sqrt{D^2 - D_{IR}^2 \sin^2 \alpha_3}} \quad (17)$$

根据正弦定律则式(14)可写作:

$$\frac{\partial D_{IR-T}}{\partial \beta_{IR-T}} = D_{IR} \sin \alpha_3 \quad (18)$$

式(16)可写作:

$$\frac{D}{p} = \frac{1}{\cos \alpha_2} \quad (19)$$

式(17)可写作:

$$D_{IR} \sin(\beta_{IR} - \beta_{IR-T}) + \frac{\partial p}{\partial \beta_{IR-T}} = D_{IR} \sin \alpha_3 \left(1 + \frac{D_{IR} \cos \alpha_3}{D \cos \alpha_2} \right) \quad (20)$$

将式(16)代入式(3)中有原方法目标与红外间距离的方差:

$$\sigma_{D_{IR-T,old}}^2 = \sigma_D^2 \left(\frac{D - D_{IR} \cos \alpha_1}{D_{IR-T}} \right)^2 + \sigma_{\beta}^2 (D_{IR} \sin \alpha_3)^2 \quad (21)$$

将式(17)、式(18)代入式(13)中有新方法目标与红外间距离方差:

$$\begin{aligned} \sigma_{D_{IR-T,new}}^2 &= \\ &\sigma_D^2 \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} \right)^2 + \sigma_{\beta_{IR-T}}^2 \left[D_{IR} \sin \alpha_3 \left(1 + \frac{D_{IR} \cos \alpha_3}{D \cos \alpha_2} \right) \right]^2 \end{aligned} \quad (22)$$

经推导,在目标到雷达距离 $D \gg D_{IR}$ 的情况下:

$$1 + \frac{D_{IR} \cos \alpha_3}{D \cos \alpha_2} \approx 1 \quad (23)$$

$$\frac{D - D_{IR} \cos \alpha_1}{D_{IR-T}} \approx \frac{1}{\cos \alpha_2} \quad (24)$$

通过如上比较可知,式(21)和式(22)两式的系数基本一致。

因此新方法与原方法中定位结果与红外距离方差,即式(21)、式(22)可表示为:

$$\sigma_{D_{IR-T,old}}^2 = \sigma_D^2 \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} \right)^2 + \sigma_{\beta}^2 (D_{IR} \sin \alpha_3)^2 \quad (25)$$

$$\sigma_{D_{IR-T,new}}^2 \approx \sigma_D^2 \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} \right)^2 + \sigma_{\beta_{IR-T}}^2 (D_{IR} \sin \alpha_3)^2 \quad (26)$$

由式(25)、式(26)可以看出,原方法中目标与红外间距离方差 $\sigma_{D_{IR-T,old}}^2$ 主要由雷达距离量测噪声方差 σ_D^2 和雷达角度量测噪声方差 σ_{β}^2 以及雷达与红外间距离 D_{IR} 决定。雷达角度探测噪声方差较大,会造成红外与雷达间距离方差较大,从而定位结果精度较差;而采用新方法,目标与红外间距离方差 $\sigma_{D_{IR-T,new}}^2$ 主要由雷达距离量测方差 σ_D^2 和红外角度量测方差 $\sigma_{\beta_{IR-T}}^2$ 以及雷达与红外间距离 D_{IR} 决定,红外的角度量测精度远高于雷达角度量测精度,因此,新方法定位点与红外间距离的方差小于原方法。新方法和原方法中目标相对于红外的方位估计值一致,因此新方法定位效果较原方法更精确。另外,从图2中也可以看出,新方法定位结果(图1中三角形)显然比原方法定位结果(图1中菱形)更精确。

4 仿真实例

以雷达所在平台为坐标原点, 红外位于距雷达 5 km, 方位 60° 处的平台上。设目标初始距离 20 km, 方位 25°, 以航向 65°, 速度 20 m/s 做匀速直线运动, 态势如图 3 所示。

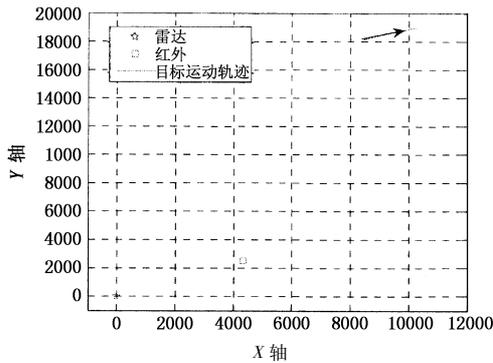


图3 态势图

设雷达的距离量测误差为 $\sigma_D = 100$ m 的零均值高斯白噪声, 方位量测误差为 $\sigma_\beta = 0.05$ rad 的零均值高斯白噪声; 红外的方位量测误差为 $\sigma_\beta = 0.01$ rad 的零均值高斯白噪声, 且相互独立。采样周期为 1 s, 取 100 个采样点, 对文献[7]所提方法(以下称为原方法)和本文中所提方法(以下称为新方法)进行 2000 次蒙特卡罗仿真, 对 RMSE (root mean square error) 进行统计, 仿真结果如图 4 ~ 图 9 所示。

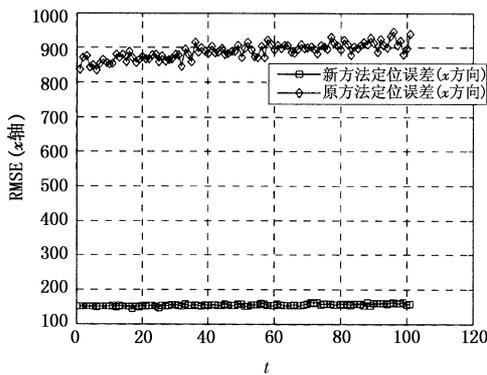


图4 X轴方向误差比较

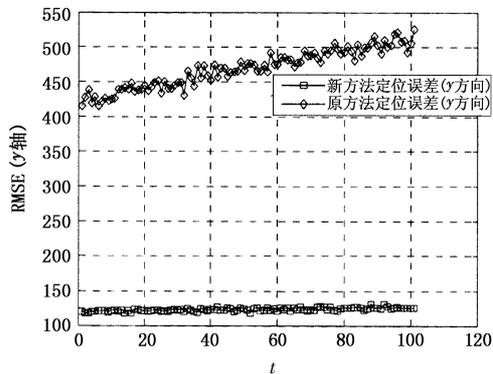


图5 Y轴方向误差比较

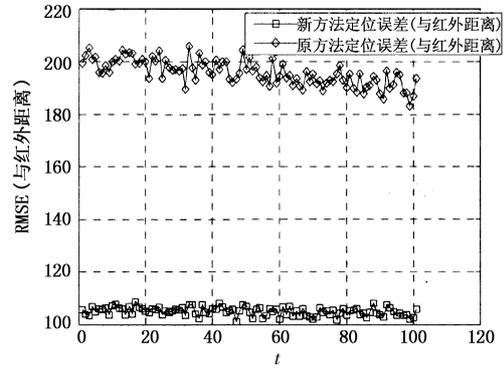


图6 目标到红外距离误差比较

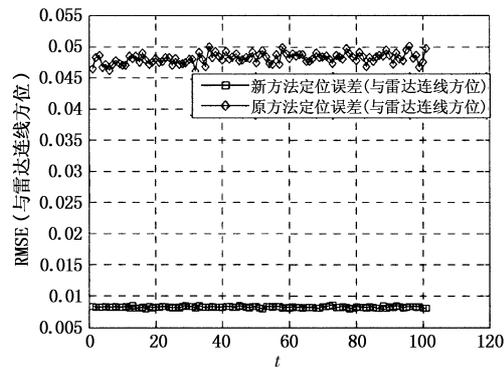


图7 目标到雷达方位误差比较

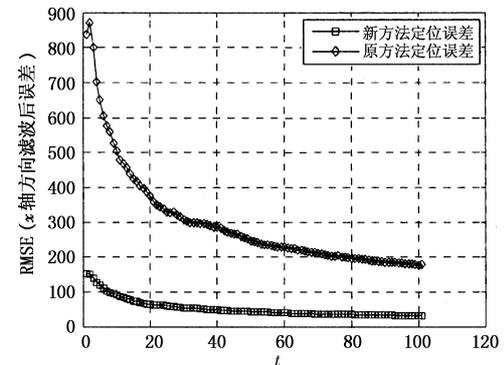


图8 滤波后 X轴方向误差比较

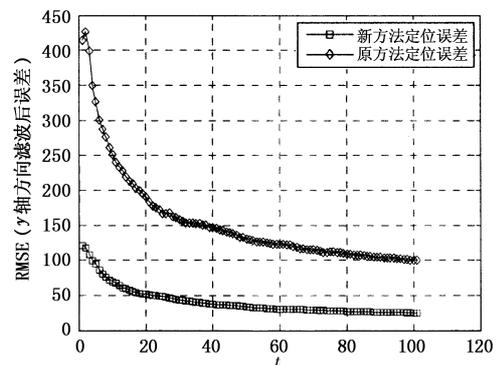


图9 滤波后 Y轴方向误差比较

从图 4 ~ 图 9 中可以看出, 无论是从滤波前后 x 方向、 y 方向定位误差, 还是目标到红外的距离误差、目标到雷达的方位误差来看, 新方法都比原方法定位精度有很大提高, 这是因为原方法忽略了由于

雷达方位测量误差对坐标转换后目标相对于红外距离的影响。即使通过融合使目标相对于红外的方位精度提高,由于目标相对于红外距离精度低,原方法定位结果仍然不精确。而新方法通过以雷达为圆心,雷达量测距离为半径的圆和过红外,角度为融合后目标相对于红外方位的直线相交对目标进行定位,仅使用融合后的方位,杜绝了雷达方位量测误差对雷达相对于红外的距离所造成的影响,定位精度较原方法有了较大的提高。

在图3所示假定的态势下,随着目标运动,红外到目标与红外到雷达连线所成夹角(如图2中的 $\alpha_3, \alpha_3 > 90^\circ$)逐渐增大,则 $|\sin\alpha_3|$ 逐渐减小,由式(25)、式(26)可知,目标到红外距离估计误差逐渐减小;从图7中可以看出无论是原方法还是新方法,到红外距离的RMSE随时间逐渐减小,与式(25)、式(26)推导结果一致。当 $t = 20$ s时,目标与雷达的相对位置为(20.308 km, 0.4490 rad),与红外的相对位置为(16.42 km, 0.2767 rad),则新方法和原方法定位后目标到红外的距离误差分别为109.5 m和200.04 m,与图6仿真结果一致。

5 总结

本文研究了二维雷达和一维红外传感器位于异平台情况下的数据融合算法。通过对文献中算法存在问题进行分析,提出了一种新的雷达和红外传感器位于异平台情况下的数据融合算法。并通过仿真验证了文中提出的算法能够有效提高系统的目标定位精度。

参考文献:

- [1] 殷艳华,王学伟,陈敏康. 一种新的红外/雷达传感器数据融合算法[J]. 激光与红外, 2008, 38(7): 727-729.
- [2] Blackman S S, et al. Design and analysis of modern tracking system[M]. Norwood, MA: Artech House, 1999.
- [3] Shetty S, et al. A multisensor tracking system with an image-based maneuver detector[J]. IEEE Trans, on Aerospace and Electronic Systems, 1996, 32(1): 167-181.
- [4] 赵春玲,陈哨东,蓝伟华. 一种提高目标参数估计精度的雷达、红外数据融合方法[J]. 电光与控制, 2001, (8): 58-62.
- [5] 张高煜. 目标跟踪与多传感器信息融合若干问题研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2006: 5.
- [6] 李树军,司敬国. 基于多传感器信息融合的多目标跟踪与仿真研究[J]. 青岛大学学报, 2008, (2): 32-36.
- [7] 车志宇,熊伟,何友,等. 雷达-红外异地配置下的数据融合算法[J]. 弹箭与制导学报, 2005, (1): 385-387.
- [8] 朱志宇. 基于红外和雷达数据融合的机动目标跟踪方法[J]. 激光与红外, 2007, (2): 170-174.
- [9] 黄霄腾,杨宏文,胡卫东,等. 基于两坐标雷达与红外传感器的融合跟踪[J]. 火力与指挥控制, 2006, (9): 54-57.
- [10] 原泉,董朝阳,夏连翠,等. 基于小波分析的雷达-红外模糊自适应融合算法[J]. 系统仿真学报, 2008, (5): 1255-1258.
- [11] 武俊,漆德宁. 雷达和红外同步航迹融合[J]. 舰船电子工程, 2007, (4): 113-114.