

## 对海无人机数据融合技术研究

金星<sup>1</sup>, 刘坤<sup>2</sup>

(1. 航空电子系统综合技术重点实验室, 上海 200233; 2. 上海海事大学, 上海 201306)

**摘要:** 研究了数据融合技术在对海无人机侦察探测与目标指示过程中的应用, 提出一种具有工程应用价值的对海目标航迹融合算法。通过时空对准、数据关联、航迹合成及航迹文件管理、融合跟踪滤波等处理, 完成了对机载传感器探测目标的航迹融合; 形成了统一的战场态势信息及高精度的目标指示信息, 为战场态势感知及目标打击提供了强有力的信息支撑。通过仿真验证, 证明了算法的有效性及其较高的工程应用价值。

**关键词:** 对海无人机; 数据融合; 态势感知; 目标探测; 航迹融合

中图分类号: V279

文献标志码: A

文章编号: 1671-637X(2017)06-0079-04

## Research on Data Fusion Technology for Navy Unmanned Aerial Vehicles

JIN Xing<sup>1</sup>, LIU Kun<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Avionics Systems, Shanghai 200233, China; 2. Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The application of data fusion technology in Navy Unmanned Aerial Vehicle (NUAV) for reconnaissance, detection and target indication process is studied, and a track fusion algorithm for marine target is proposed. The track fusion of airborne sensors in target detection is implemented through such processes as time/space alignment, data association, track synthesis, track file management, and fusion tracking filtering. Thus the unified battlefield situation information and high-precision target indicating information can be obtained, which provides a strong information support for battlefield situation awareness and target attacking. The simulation results show that the algorithm is valid and has high engineering application value.

**Key words:** NUAV; data fusion; situation awareness; target detection; track fusion

### 0 引言

对海无人机系统情报侦察监视与打击体系 (NUAS-ISRK), 遂行情报侦察监视、远程目指、通信中继、低烈度打击等任务<sup>[1-4]</sup>, NUAS-ISRK 体系作战要求无人机地面指控系统具备同时控制多架多型无人机的能力, 实现一机多能、多机协同、高低搭配等作战目标, 满足对海战场和平时期和战争时期的作战需要。数据融合技术作为 NUAS-ISRK 体系中的一项关键技术, 统一机上多传感器目标态势信息, 生成目标指示信息<sup>[5]</sup>, 送岸基指挥所及舰艇编队; 从而形成统一战场态势信息、目标指示信息, 为作战指挥决策、目标打击提供稳定可靠的信息支撑、决策支撑。

海战场空间多维、地域广阔, 目标特性复杂, 需要

无人机任务系统能够利用多个载荷探测海上目标信息, 形成统一的战场目标描述, 提供给地面控制站、舰队/舰航级指挥所、舰艇编队、岸导部队等多个作战节点。数据融合技术对机载传感器提供的海上目标信息进行自动化分析和优化综合, 消除目标信息间的冗余, 丰富目标信息维度, 形成统一、精确的海上目标信息, 由无人机通过卫通链路分发给多个作战节点, 实现多个作战节点战场态势的统一, 支持超视距海上目标探测、跟踪和攻击。

### 1 对海无人机目标航迹融合算法

无人机执行警戒探测任务时, 无人机平台搭载的各个传感器协同工作, 对海面战场进行大范围侦察监视, 为了满足地面人员对观看完整海战场态势的需求, 平台层目标航迹融合根据地面站指令, 对多传感器目标探测信息进行时空对准、数据关联、航迹合成及航迹文件统一管理 etc 态势融合操作, 给出多源信息的统一

描述,实现战场态势信息共享与优势互补,形成战场统一态势。

无人机执行目标指示任务时,无人机平台搭载的各个传感器协同工作,对海战场固定区域进行小范围的持续跟踪监视,锁定目标,平台层目标航迹融合在态势融合基础上对特定目标进行融合跟踪滤波处理,获得高精度的目标数据,为舰队/舰航级指挥所等作战单元提供具有火控品质的目标数据,支持复杂海战场环境下的目标跟踪和打击。

本文研究了一种适用于工程实际的目标航迹融合算法,并针对海战场目标信息量大的特点,提出了一种简单高效的关联匹配算法,很好地满足了工程实际需求,目标航迹融合的流程如图 1 所示。

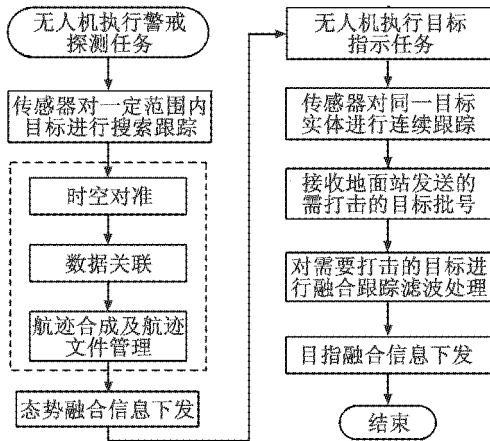


图 1 目标航迹融合流程

Fig. 1 Target track fusion process

### 1.1 时空对准

对于水面目标采用格网坐标系作为基准坐标系,由于各种传感器更新周期不同,且个别传感器更新周期根据目标运动状态而变化,因此时间对准采用先对准到系统时刻再进行外推的方法。具体算法如下。

记录各个传感器航迹数据,在各个传感器当前及历史记录数据中查找时间上与系统时刻最接近的目标数据,计算查到的目标数据与系统时刻的时差  $T$ 。

计算  $T$  时间内目标在北向、东向的位移

$$\begin{cases} \Delta X = V_E * T \\ \Delta Y = V_N * T \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $V_E, V_N$  分别为目标的东向和北向速度。然后以外推前目标的经纬度作为格网中心,用格网计算方法求出外推后目标的经纬度,格网计算方法为

$$\begin{cases} \lambda_{ae} = \arcsin[\sin(\Delta X/R) / \cos \psi_{ct}] + \lambda_{ct} \\ \psi_{ae} = \arcsin\{\cos(\Delta X/R) * \sin[\psi_{ct} + \Delta Y / (R * \cos(\Delta X/R))]\} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $R$  为地球半径;  $(\lambda_{ct}, \psi_{ct})$  为格网中心的经纬度坐标,即外推前的经纬度;  $(\lambda_{ae}, \psi_{ae})$  为外推后的经纬度。

### 1.2 数据关联

本文提出了一种简单高效的关联匹配算法,首先对目标航迹数据进行粗判决,去除明显的非候选航迹,从而为此后更复杂的门限处理减少信息吞吐量,对通过粗判决的目标航迹计算统计距离,形成统计距离矩阵,最后使用本文提出的  $k$  近邻算法完成目标关联,确定航迹关联关系。算法流程如下。

#### 1.2.1 格网坐标转换

以时间对准后的主传感器目标经纬度为格网中心,求出副传感器目标在格网坐标系下的  $X, Y$  坐标,计算方法为

$$\begin{cases} \lambda'_\alpha = \arcsin[\sin(\lambda_\alpha - \lambda_c) * \cos \psi_\alpha] \\ X_\alpha = \lambda'_\alpha * R \\ Y_\alpha = \cos \lambda'_\alpha * [\arcsin(\frac{\sin \psi_\alpha}{\cos \lambda'_\alpha}) - \psi_c] * R \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $(\lambda_c, \psi_c)$  为主传感器目标经纬度;  $(\lambda_\alpha, \psi_\alpha)$  为副传感器目标经纬度;  $(X_\alpha, Y_\alpha)$  为副传感器目标的格网坐标,即副传感器目标相对于主传感器目标的位置差。

#### 1.2.2 粗判决及统计距离计算

根据时间对准后的目标位置差、速度差和航向差进行粗判决并计算统计距离,对未通过粗判决的航迹对,将其统计距离设为最大值,当  $\sqrt{X_\alpha^2 + Y_\alpha^2} > m\sigma_p$ , 或  $|V_1 - V_2| > m\sqrt{\sigma_{V_1}^2 + \sigma_{V_2}^2}$ , 或  $|\vartheta_1 - \vartheta_2| > m\sqrt{\sigma_{\vartheta_1}^2 + \sigma_{\vartheta_2}^2}$  时,计算方法为

$$D_{ij}^k = D_{\max} \quad (4)$$

其中:  $D_{ij}^k$  为当前帧的统计距离;  $D_{\max}$  为统计距离最大值;  $V_1, V_2, \vartheta_1$  和  $\vartheta_2$  分别为目标的航速和航向;  $\sigma_p$  为传感器定位误差;  $\sigma_{V_1}, \sigma_{V_2}, \sigma_{\vartheta_1}$  和  $\sigma_{\vartheta_2}$  分别为目标的航速和航向方差。采用衰减记忆方法计算统计距离,以充分利用航迹历史信息,提高目标密集和交叉情况下的正确关联概率,统计距离计算方法为

$$\begin{cases} d_{ij}^k > \frac{X_\alpha^2 + Y_\alpha^2}{\sigma_p^2} \\ D_{ij}^k = \begin{cases} d_{ij}^k + \beta * D_{ij}^{k-1} & d_{ij}^k \neq d_{ij}^{k-1} \\ D_{ij}^{k-1} & d_{ij}^k = d_{ij}^{k-1} \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

当  $D_{ij}^k > D_{\max}$  时,  $D_{ij}^k = D_{\max}$ , 其中,  $\beta$  为衰减系数,实际使用中值设置为 0.2。

#### 1.2.3 关联匹配

本文提出的关联匹配算法遵循以下前提条件及处理原则:

- 1) 属于同一航迹对的目标在大多数处理周期中都能通过粗判决,只有少数情况下出现跳变,未通过粗判决;
- 2) 属于同一航迹对的目标统计距离值相比于非同一航迹对的目标统计距离值更小,但在一些特殊情

况下会出现例外,如两条航迹出现交叉点;

3) 属于同一航迹对的目标相比非同一航迹对的目标历史成功关联次数更高;

4) 属于同一航迹对的目标相比非同一航迹对的目标关联置信度更高,其中,关联置信度为历史成功关联次数与历史总关联次数的比值。

本文关联算法处理流程如下:

1) 根据统计距离计算结果构建统计距离矩阵,使用  $k$  近邻算法进行关联运算;

2) 若  $k$  近邻算法仅返回一个近邻值,则对应的目标航迹对成功关联次数加 1,并更新置信度矩阵,若当前航迹对置信度大于 Threshold,则更新目标的关联索引关系;

3) 若  $k$  近邻算法返回多个近邻值,则选择历史成功关联次数最大、且置信度大于 Threshold 的航迹对作为成功关联的航迹对,对应目标航迹对成功关联次数加 1,并更新对应目标的关联索引关系;

4) 若  $k$  近邻算法未返回近邻值,则在置信度矩阵中找出置信度最大的目标航迹对,若置信度大于 Threshold,更新对应目标的关联索引关系。

实际使用中,  $k$  取 3, Threshold 取 0.5。

### 1.3 航迹合成及航迹文件管理

关联成功的目标航迹对,对目标航迹数据冗余信息按精度进行加权合并,提高航迹精度,对于目标航迹数据的互补信息进行合并处理以丰富信息维度。

对多传感器的融合航迹文件进行统一管理,实现新航迹的建立、消失航迹的删除及航迹的统一编批,并建立融合航迹文件与各传感器目标批号的索引关系。

### 1.4 融合跟踪滤波

无人机根据地面站的控制指令,对需要进行目标指示的目标进行融合跟踪滤波处理,获得高精度的目标数据,为保证算法的实时性及总线负荷,采用序贯卡尔曼滤波算法对格网坐标系下的位置、速度进行滤波,兼顾运算量和各种模式下的跟踪效果,滤波模型采用 Singer 模型,处理算法为

$$\hat{X}(k/k-1) = \Phi \hat{X}(k-1) \quad (6)$$

$$P(k/k-1) = \Phi P(k-1) \Phi^T + Q \quad (7)$$

$$K(k) = P(k/k-1) H^T [H P(k/k-1) H^T + R]^{-1} \quad (8)$$

$$\hat{X}(k) = \hat{X}(k/k-1) + K(k) [Z(k) - H \hat{X}(k/k-1)] \quad (9)$$

$$P(k) = P(k/k-1) - K(k) H P(k/k-1) \quad (10)$$

其中:  $\Phi = \begin{bmatrix} 1 & T & (-1 + \alpha T + e^{-\alpha T})/\alpha^2 \\ 0 & 1 & (1 - e^{-\alpha T})/\alpha \\ 0 & 0 & e^{-\alpha T} \end{bmatrix}$ ,  $T$  为状态变

化前后的时间差;  $H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ ;  $R = \begin{bmatrix} r_{11} & & \\ & r_{22} & \\ & & r_{33} \end{bmatrix}$ ,

$r_{11}$  为格网坐标位置  $X$  的方差,  $r_{22}$  为格网坐标位置  $Y$  的方差,  $r_{33}$  为目标速度方差。

$$Q \approx 2\alpha\sigma_a^2 \begin{bmatrix} T^5 & T^4 & T^3 \\ 20 & 8 & 6 \\ T^4 & T^3 & T^2 \\ 8 & 3 & 2 \\ T^3 & T^2 & T \\ 6 & 2 & T \end{bmatrix}$$

## 2 实验结果及分析

为了验证本文算法的实际应用价值,使用 C 语言编写算法程序,分别对 2 个目标、10 个目标做匀速直线运动的情况进行测试,为了更好地验证及测试算法的处理能力,根据水面目标的运动特点,设置本机初始经纬高为 (118.34°, 24.43°, 3000 m), 并且以 180 km/h 的速度做水平匀速直线运动,目标速度为 12.86 m/s, 航向为 45°, 与本机初始距离 200 km, 目标之间的初始距离间隔为 0.25 rad (200 000 \* sin 0.25 ≈ 873 m), 相对本机的高度为 3000 m。实验中,目标的探测噪声选择高斯白噪声,距离噪声标准差为 180 m, 角度噪声标准差为 0.1°, 实验测试结果如下。

2 个目标匀速运动测试结果如图 2 所示,关联正确率为 100%。

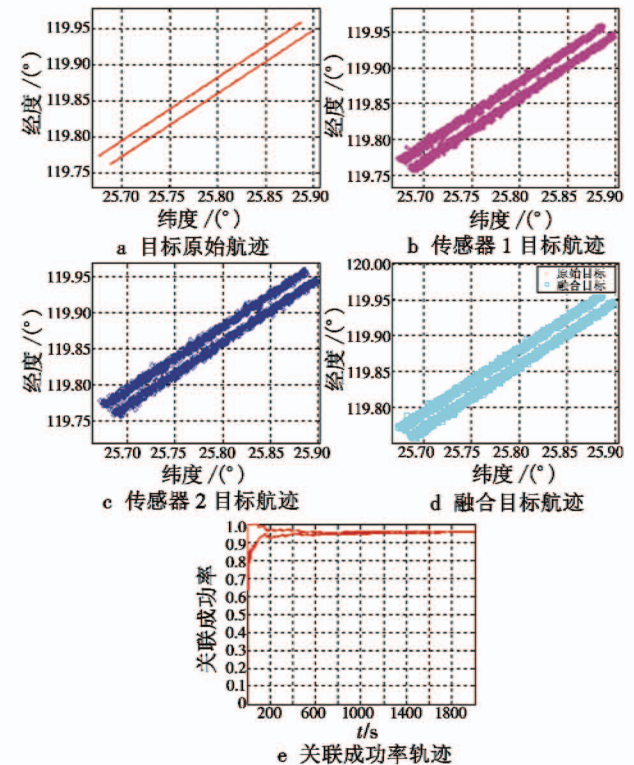


图 2 2 个目标匀速运动融合结果(角度噪声为 0.1°)

Fig. 2 The fusion result of two targets in uniform motion when angle noise is 0.1°

从图2的结果可以看出,2条航迹噪声较小,关联的成功率基本保持在90%以上,本文算法对于噪声较小的情况处理效果极好。

为进一步验证算法的有效性,加大了噪声的干扰,将角度噪声标准差增加为 $0.25^\circ$ ,2个目标匀速运动测试结果如图3所示,关联正确率在初始阶段较低,在90%左右,但随着时间的推移,算法可以将2条航迹完全区分,关联正确率100%。由图3可以看出,由于噪声干扰,2条航迹交联在一起很难分辨,关联成功率保持在70%左右,可以看出,即便是噪声较大,导致航迹交联较多,分辨难度大大增加,本文算法依然能够在运行一段时间后完全区分2条航迹,效果较好。

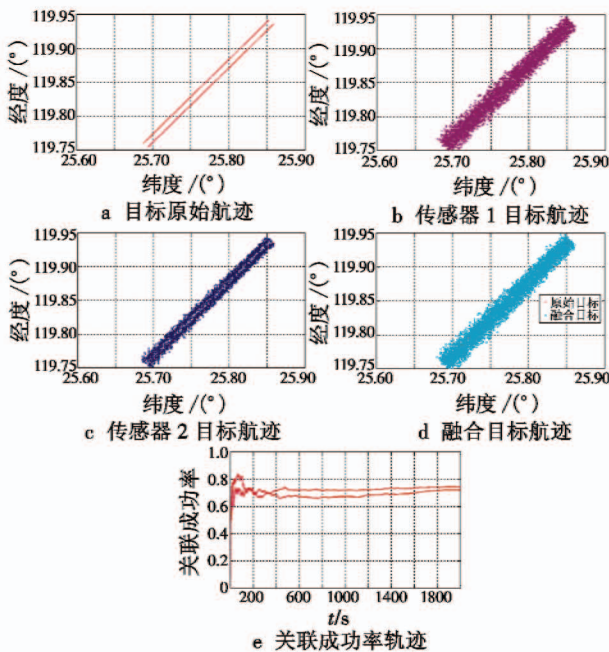


图3 2个目标匀速运动融合结果(角度噪声为 $0.25^\circ$ )

Fig. 3 The fusion result of two targets in uniform motion when angle noise is  $0.25^\circ$

为了验证算法在处理多条航迹时的效果,针对10个目标匀速运动做进一步实验,结果如图4所示,关联正确率在初始阶段较低,在85%左右,但随着时间的推移,算法可以将10条航迹完全区分,关联正确率为100%。由图4可以看出,由于噪声干扰,10条航迹交联在一起很难分辨,关联成功率保持在60%左右,可以看出,即便是噪声较大,且航迹个数较多,多条航迹噪声相互干扰,通过人眼几乎都已经无法分辨,但本文算法依然能够在运行一段时间后完全区分10条航迹,效果较好,并且可以类比推出,即便航迹个数进一步增加,本文算法依然能够在运行一段时间后取得较好的融合结果。

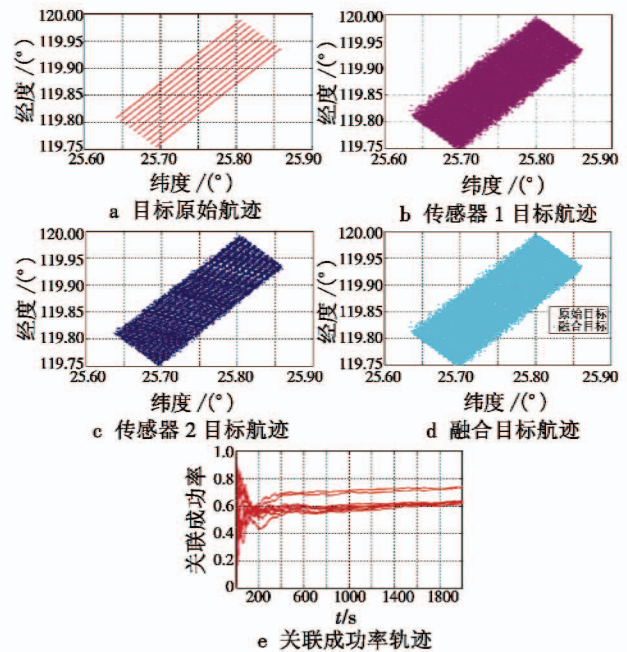


图4 10个目标匀速运动融合结果(角度噪声为 $0.25^\circ$ )

Fig. 4 The fusion result of ten targets in uniform motion when angle noise is  $0.25^\circ$

### 3 结论

本文以对海无人机系统情报侦察监视与打击体系(NUAS-ISRK)为背景,描述了数据融合技术在对付海无人机作战任务过程中的应用,并提出一种具有较高工程应用价值的目标航迹融合算法,通过仿真实验验证,算法对于噪声较大、航迹之间相互干扰的情况具有较好的区分能力,由于仿真实验中主要为了测试算法的性能及边界,因此所加噪声要远远大于实际应用中的情况,但本文算法依然能够较好地处理并正确关联航迹,因此在实际应用中,本文算法将具有更好的效果以及较高的工程应用价值。

### 参考文献

- [1] 邓捷坤,谢井,时统业.海上侦察监视能力建设的对策思考[J].航天电子对抗,2012,28(6):48-51.
- [2] 王静,徐瑞,吴沉寒,等.基于DoDAF的远程目指系统作战体系结构[J].指挥控制与仿真,2014,36(1):51-55.
- [3] TOZER T, GRACE D, THOMPSON J, et al. UAVs and HAPs-potential convergence for military communications [C]//IEEE Colloquium on Military Satellite Communications, 2000:1-6.
- [4] 任宏光,刘颖.无人机侦察打击一体化武器系统发展[J].飞航导弹,2009(6):47-49.
- [5] 贝超,杨嘉伟,张伟.无人机在战场侦察与目标指示中的应用[J].现代防御技术,2002,30(5):46-50.