

预警机多传感器信息融合技术研究

Research of AEW Multi-sensor Data Fusion Technology

董文方 罗欢吉 / 中航工业第一飞机设计研究院

摘 要: 针对预警机多传感器信息融合问题, 介绍了信息融合的基本原理与框架, 在此基础上给出了信息预处理、多航迹相关和航迹融合的具体算法, 并针对融合的过程进行了仿真验证, 结果表明本算法具有工程可行性。

关键词: 预警机; 信息融合; 航迹相关

Keywords: AEW; data fusion; track association

0 引言

预警机装备多探测传感器系统, 获取信息的手段丰富多样, 如美国E-3“望楼”预警指挥机装备有预警雷达、敌我识别二次雷达、电子侦察与Link-16数据链等^[1], 这些传感器都能探测目标并提供目标的位置、速度、航向和属性等信息。如何充分利用这些传感器在空间、时间等特性上的差异, 向指挥员提供更加准确的战场态势是一个待研究的问题。预警机多传感器信息融合技术就是解决这一问题的手段, 信息融合技术对各传感器在空间和时间上的信息进行融合处理, 使各传感器的特性数据进行互补, 以获得统一的、准确的态势信息, 从而达到提高预警机指挥作战能力的目的。本文重点分析了预警机多传感器信息融合框架、实现算法等, 并对具体的实现方法进行了仿真验证。

1 多传感器信息融合框架

国内外众多学者对信息融合的功能进行了研究, 如图1所示, 将信息融合的功能分为五个层次^[2-4]。第一层为信号处理融合, 功能为目标检测、跟踪和航迹形成; 第二层为目标运动特性融合, 功能为多传感器航迹数据校准、滤波、预测、

相关与航迹融合; 第三层为属性信息融合, 对来自多个传感器的目标属性识别数据进行组合, 得到对目标身份的联合估计; 第四层为态势的提取和评估, 根据敌我航迹, 推导出双方兵力的分布, 绘出意图、告警等; 第五层为威胁程度计算, 即从有效地打击敌方的能力出发, 估计敌方兵力的作战能力, 进行我方的兵力分配, 以优势兵力截击敌方劣势兵力。本文重点讨论第二层目标运动特性的融合。

2 预警机信息融合过程

2.1 融合流程

预警机多传感器信息融合的流程如图2所示, 其输入为雷达、二次雷达、电子侦察和红外侦察等传感器的目标航迹信息, 经过输入数据航迹预处理、航迹相关与融合等过程后, 将融合得到的目标航迹作为平台级系统航迹输出。

2.2 航迹预处理

1) 坐标变换

信息融合在4个坐标系中转换, 分

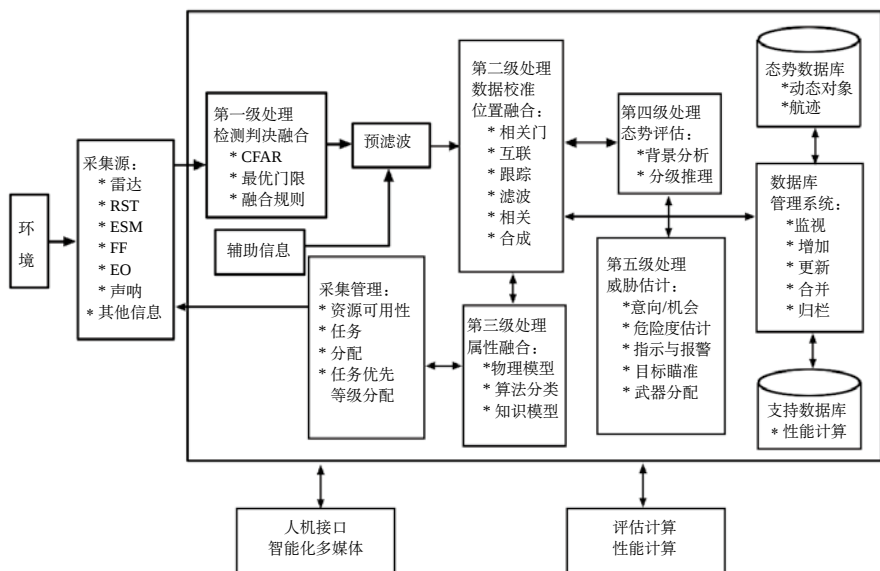


图1 信息融合功能框图

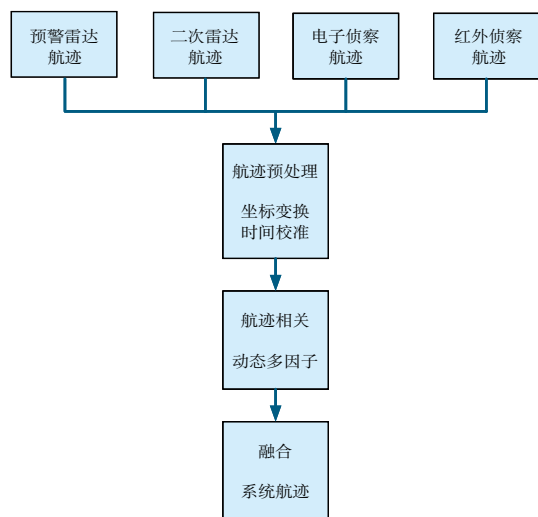


图2 预警机信息融合过程

别是地心直角坐标系、大地坐标系、地理坐标系和融合直角坐标系。其中融合直角坐标系的定义是,以预警机为坐标原点,Y轴位于切平面指向北为正,Z轴垂直于大地向外,X轴与Y轴、Z轴构成右手准则。几个坐标系间的转换如下。

a. 目标点大地坐标为 (B, L, H) ,地心直角坐标 (x, y, z) 为:

$$x = (N+H) \cos B \cos L$$

$$y = (N+H) \cos B \sin L$$

$$z = [N(1-e^2)+H] \sin B$$

式中, N 为地球的半径, e 为地球的第一偏心率,

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} \times e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

上式中, a 和 b 分别为椭球的长半径和短半径。

b. 目标点地心直角为 (x, y, z) ,大地坐标 (B, L, H) 为:

$$B = \arctan \left[\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \left(1 + \frac{ae^2}{z} \times \frac{\sin B}{W} \right) \right]$$

$$L = \arctan \frac{y}{x}, H = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos B} - N$$

式中, $W = (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$

c. 目标点地心直角坐标为 (x, y, z) ,预警机大地坐标为 (B_0, L_0, H_0) ,地心直角坐标为 (x_0, y_0, z_0) ,则融合直角坐标 (x_m, y_m, z_m) 为:

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix}$$

d. 目标点融合直角坐标为 (x_m, y_m, z_m) ,预警机大地坐标为 (B_0, L_0, H_0) ,地心直角坐标为 (x_0, y_0, z_0) ,则地心直角坐标 (x, y, z)

$$\text{为: } \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\sin L_0 & -\sin B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \cos L_0 \\ -\cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \sin L_0 \\ 0 & \cos B_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix}$$

2) 时间对准

由于每个航迹源送来的数据测量时刻不统一,必须进行航迹进行时间统一后才能进行融合。时间统一分为三步:确定基准航迹时间;确定每个航迹源上报的航迹时间与基准航迹时间之差 $\Delta t = t - t_i$;根据速度公式进行外推, $x = x_0 + v_x \times \Delta t$, $y = y_0 + v_y \times \Delta t$ 。

2.3 多航迹相关算法

采用动态多因子算法进行相关判断,综合考虑当前航迹信息已经掌握的位置、高度、速度、航向、属性、机型架数等因素的相关程度^[5-6]。算法流程如图3所示,具体算法描述如下。

1) 根据未综合的目标新航迹的当前位置设置距离波门,距离波门的设置应考虑多传感器的统计方差,具体计算方法见文献[7]。

2) 计算两个航迹批之间的距离,若距离大于波门则认为不相关,若在波门内则继续进行计算。

3) 计算位置、高度、速度、航向、属性、机型架数等因素的综合相关程度 p 。

4) 设定函数的二级评分线 (L, H) ,对相关综合函数值进行相关判断:

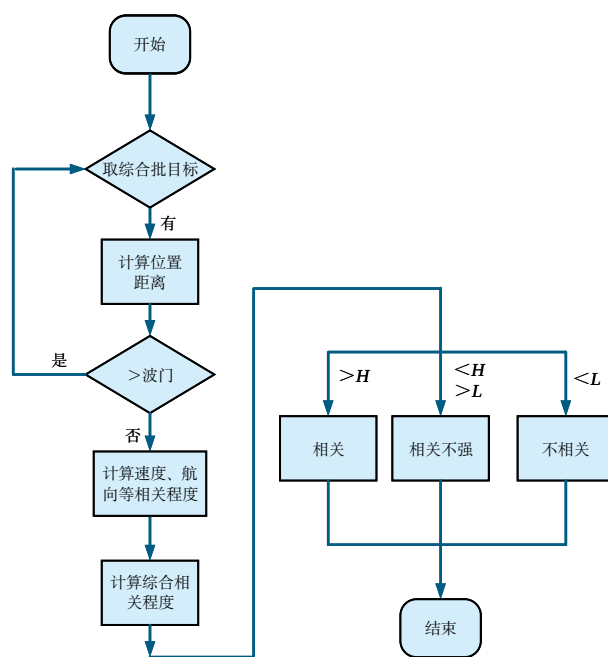


图3 相关计算流程

$$\text{判决} = \begin{cases} \text{相关} & p > H \\ \text{不相关} & p < L \\ \text{相关不强} & L < p < H \end{cases}$$

由于多目标跟踪中航迹相关的复杂性以及相关算法本身的局限性,常常会遇到一条站批航迹同时与几条综合航迹相关的情况。因此,仅利用航迹相关结果进行航迹配对不能完全达到确定重复批的目的。针对这种情况,结合实际应用,提出如下两条航迹配对准则。

[准则1] 当一条站批航迹与唯一的一条综合批航迹相关时,该站批即为该综合批的一个重复批。

[准则2] 当一条站批航迹同时与几条综合批航迹相关时,应选择相关质量最好的一条综合航迹进行配对,并将该站批与所选综合批进行去重复处理。

2.4 航迹融合算法

航迹融合采用协方差加权融合算法^[8],此算法不考虑两条航迹的互协方差。假设两传感器的目标航迹对应的状态估计和协方差分别为 $\hat{x}_1(k|k)$ 、 $P_1(k|k)$ 和 $\hat{x}_2(k|k)$ 、 $P_2(k|k)$,那么融合后的协方差矩阵为: $P(k|k) = (P_1(k|k)^{-1} + P_2(k|k)^{-1})^{-1}$,

融合后的状态:

$$\hat{x}(k|k) = P(k|k) [P_1^{-1}(k|k) \hat{x}_1(k|k) + P_2^{-1}(k|k) \hat{x}_2(k|k)]$$

3 仿真验证

仿真中共设置两个目标,通过雷达、红外、敌我识别、电子侦察四个传感器对目标进行探测,多传感器信息融合算法对目标信息进行相关融合。图4和图5分别为目标1、目标2的角度探测与融合信息的对比曲线。从图中可以看出融合后的航迹误差信息显著变小,并且误差的波动幅度降低。

4 结论

针对预警机多传感器信息融合问题,给出了融合的流程,并且分析了航迹预处理、航迹相关和航迹融合的具体算法。其中航迹相关应用了动态多因子算法,综合考虑了航迹的位置、速度、高度、属性和机型等信息,提高了相关的正确性。最后的仿真分析也表明了本文算法在处理预警机多传感器信息融合问题时的可行性和有效性。

AST

参考文献

- [1] 《世界飞机手册》编写组. 世界飞机手册[M].北京:航空工业出版社,2011.
- [2] 何友. 多传感器信息融合及应用(第二版)[M].北京:电子工业出版社,2007.

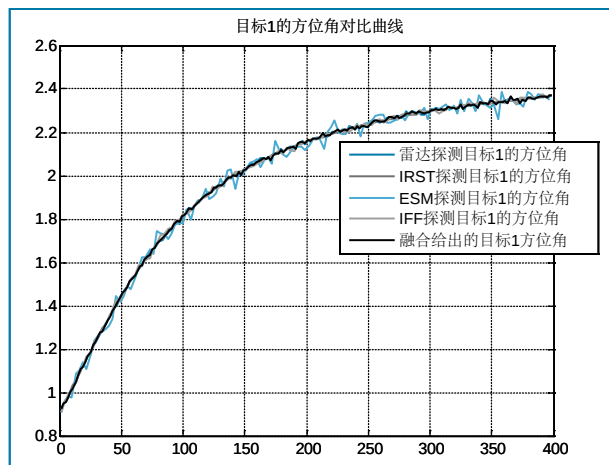


图4 目标1方位融合结果

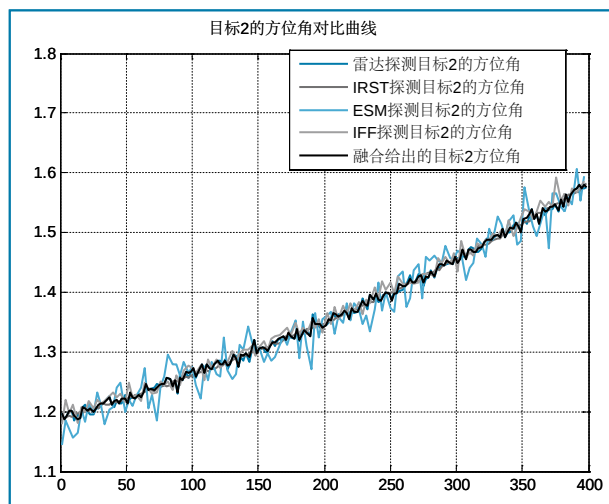


图5 目标2方位融合结果

[3] Farina A, Studer F A. Radar Data Processing [C]. VOLUME 1,1987.

[4] 刘进平. 雷达情报综合中的航迹处理方法[J].雷达科学与技术,2005(3).

[5] 方青. 数据融合处理中的数据关联技术[J].现代电子技术,2001.

[6] 段修生,孙世宇. 动态多因子算法及其改进[J].火力与指挥控制,2004(3)

[7] 钱润生,陈云秋. 舰载多传感器信息融合技术初探[J].舰船电子工程,2001:13-17.

[8] 张学军. ATM中的ADS-SSR数据融合研究[J].北京航空航天大学学报,2001(1).

作者简介

董文方,工程师,现主要从事综合航电系统设计。