

6-4-2020

Performance Evaluation Method Based on Satisfactory Degree for Air-information Fusion System

Xiaochao Wu

Electronic Equipment Test Centre of China, Luoyang 471003, China;

Li Dong

Electronic Equipment Test Centre of China, Luoyang 471003, China;

Zhang Xing

Electronic Equipment Test Centre of China, Luoyang 471003, China;

Zhenyu Huang

Electronic Equipment Test Centre of China, Luoyang 471003, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Performance Evaluation Method Based on Satisfactory Degree for Air-information Fusion System

Abstract

Abstract: Based on the theory of satisfactory degree, a performance evaluation method for air-information fusion system with multi-radar inputs was proposed. According to the designed indexes, the radar deployment and track layout by anti-air warfare, the performance of this fuse system was comprehensively tested with satisfaction method and evaluation software in a simulation testbed. The evaluated results can be the evidences for solving the fusing problem and improving the fusion system combat effectiveness. The effective application of this method in a test shows its value.

Keywords

air-information fusion, performance indexes, satisfactory degree, comprehensive evaluation, fighting efficiency

Authors

Xiaochao Wu, Li Dong, Zhang Xing, Zhenyu Huang, and Liu Bo

Recommended Citation

Wu Xiaochao, Li Dong, Zhang Xing, Huang Zhenyu, Liu Bo. Performance Evaluation Method Based on Satisfactory Degree for Air-information Fusion System[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(10): 2415-2422.

防空空情融合性能评估方法研究

吴晓朝, 李冬, 张星, 黄振宇, 刘波

(中国洛阳电子装备试验中心, 河南 洛阳 471003)

摘要: 文章提出一种基于满意度的多传感器空情融合系统评估方法。从防空指控系统作战应用角度建立多传感器空情融合评估指标体系, 构建满意度指标评价方法, 并以自适应雷达权重精度法作为融合精度评估基准, 结合仿真测试环境, 设计实战与性能评估相结合的雷达部署和航迹规划, 全面验证融合系统的性能。利用本方法在某测试中发现了融合系统性能不达标问题, 并根据评估软件分析结果修正融合系统中的相关算法, 改善了融合系统的性能, 并满足了指标要求, 表明了方法的有效性。

关键词: 空情融合; 性能指标; 满意度; 综合评估; 作战效能

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 10-2415-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201710024

Performance Evaluation Method Based on Satisfactory Degree for Air-information Fusion System

Wu Xiaochao, Li Dong, Zhang Xing, Huang Zhenyu, Liu Bo

(Electronic Equipment Test Centre of China, Luoyang 471003, China)

Abstract: Based on the theory of satisfactory degree, a performance evaluation method for air-information fusion system with multi-radar inputs was proposed. According to the designed indexes, the radar deployment and track layout by anti-air warfare, the performance of this fuse system was comprehensively tested with satisfaction method and evaluation software in a simulation testbed. The evaluated results can be the evidences for solving the fusing problem and improving the fusion system combat effectiveness. The effective application of this method in a test shows its value.

Keywords: air-information fusion; performance indexes; satisfactory degree; comprehensive evaluation; fighting efficiency

引言

空情融合系统是防空指挥控制系统中战场态势判断与作战决策的主要情报信息来源, 其性能的状况直接影响着整个指挥控制系统的作战效能。因此融合的理论与技术应用到实际工程上需要有一

个鉴定和评估过程, 即通过一定的试验方法, 不仅要分析和测试融合系统的本身的功能和性能, 还要结合整个指挥控制系统, 全面评估融合系统的实际效能。国外 90 年代初已经开发出针对多传感器融合系统的仿真测试床, 如 1991 年, 美国国防部列出了融合参数型测试床的原型框架, 随后加拿大和以色列都研发了基于各自融合系统的仿真测试床, 并提出了一系列评估方法和经验公式。而我国起步较晚, 近几年才研发一些融合测试床, 如国防科技大学研究了基于 C^3I 、 C^4ISR 等理论框架的仿真测



收稿日期: 2015-09-28 修回日期: 2015-11-12;
作者简介: 吴晓朝(1977-), 男, 江西泰和, 博士后, 副研究员, 研究方向为指挥控制、信息处理、智能技术等; 李冬(1972-), 男, 河南南阳, 硕士, 高工, 研究方向为指挥自动化; 张星(1986-), 男, 江西玉山, 硕士, 助理研究员, 研究方向为指控系统仿真与试验。

<http://www.china-simulation.com>

• 2415 •

试床,某些单位也研发的相应的装备。尽管针对融合评估系统我国也开展了大量的研究,但我国至今未有一个通用的多传感器融合评估标准,在实际的工程应用中没有一个权威的依据,因此如何恰当地评估多传感器融合系统的性能是一个迫切需要解决的问题^[1-2]。

本文从多传感器空情融合的作战应用出发,建立一套评估指标体系,提出了基于满意度原理的评估方法,能多方面考核融合算法和性能,并设计了雷达部署和航迹规划,利用开发的评估软件对某测试中融合系统的融合数据进行分析 and 评估,发现空情融合指标不合格问题并提供解决问题的建议,为提高整个指控系统的作战效能提供依据。

1 融合评估指标体系

空情融合是防空作战中主要的情报信息来源,它将多种传感器(主要为雷达)提供的信息进行时间和空间上的互补集成,提高情报的准确性和可信性,为态势评估、威胁估计和火力分配提供有力的情报支持,从而提高防空指挥控制系统的作战效能。因此多传感器空情融合指标的确立应根据防空指挥控制系统的作战应用来确定^[3],本文将评估指标体系分为三层结构,其中精度指标主要是反映融合系统输出的情报信息与真实信息的精度指标,相关性指标是反映融合系统输出的目标航迹的关联情况,出现虚情、漏情的情况,处理能力指标反映的是输入输出的实时性及稳定性^[4-7]。多传感器空情融合评估指标体系如图 1 所示。

1.1 精度指标

精度指标是指融合系统对获取的目标信息进行观测信息提取、跟踪和综合处理后,目标跟踪位置信息与目标实际位置的误差分布差异。精度指标是一个非常重要的指标,是验证一个融合算法性能的重要依据,一个优秀的融合算法是能提高航迹信

息的精度。精度指标可在地理坐标系或高斯坐标系下计算,本文选择前者。精度的计算包括了、B(纬度)精度、L(经度)精度和一次差概率。

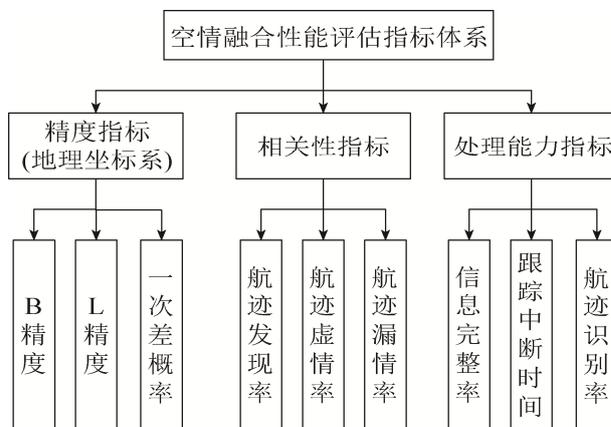


图 1 多传感器空情融合评估指标体系

Fig. 1 Index system of air-information fusion system with multi-radar

在雷达和融合数据转换统一转换为地理指标系下进行精度计算。若第 n 条融合航迹的第 i 点信息的一次差为:

$$\Delta X_n(i) = x_n(i) - \hat{x}_n(i) \quad (1)$$

其中: $x_n(i)$ 为第 n 条融合航迹第 i 点的位置信息; $\hat{x}_n(i)$ 为第 n 条真值航迹第 i 点的位置信息。

则第 n 条融合航迹的一次差均值为:

$$\Delta \bar{X}_n = \frac{\sum_{i=1}^{M_n} \Delta X_n(i)}{M_n} \quad (2)$$

其中: M_n 为第 n 条融合航迹的航迹点数量。

第 n 条融合航迹一次差标准差为:

$$\sigma_{fn} = \sqrt{\frac{1}{M_n - 1} \sum_{i=1}^{M_n} (\Delta X_n(i) - \Delta \bar{X}_n)^2} \quad (3)$$

一次差标准差可以认为是第 n 条融合航迹的融合精度,且公式消除了系统静态误差对精度计算的影响。

第 n 条融合航迹一次差的均方根误差为:

$$U_n = \sqrt{\frac{M_n - 1}{M_n} \sigma_{fn}^2 + \Delta \bar{X}_n^2} \quad (4)$$

又可称为融合航迹 n 的一次差有效值。

上述情况针对一条航迹,如果有 N 条航迹需要处理,则总的均方根误差为:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N M_j U_j^2}{\sum_{i=1}^N M_i}} \quad (5)$$

总的系统误差为:

$$\Delta \bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^N M_j \Delta \bar{X}_j}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad (6)$$

融合系统单次试验的总融合精度为:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N M_i}{\sum_{i=1}^N M_i - 1} (U^2 - \Delta \bar{X}^2)} \quad (7)$$

其中: 融合航迹一次差极限误差 Δ_{lim} 取探测航迹的基准标准差 σ_w 的 3 倍。假设一次差的置信概率为 p , 则若所有融合航迹的点信息有一次差满足 $\Delta X_n(i) \leq \Delta_{lim}$ 的概率大于 p , 则认为这次融合试验满足一次差极限误差条件, 一般可取 p 为 90%, 即满足一次差概率为 90% 时为合格。一次差概率指标是评价融合算法处理野值点的能力及关联预测时是否会出现较大的误差。

1.2 相关性指标

相关性指标是指融合航迹对于传感器探测目标的相关能力。若真实或仿真剧情航迹(称为真值航迹)数量为 N , 但航迹经融合实际输出的总航迹数为 N_a , 通过与真值航迹进行关联分析统计, 正确的航迹有 N_z , 则有:

航迹发现率:

$$R_z = N_z / N \quad (8)$$

航迹虚情率:

$$R_x = (N_a - N_z) / N \quad (9)$$

航迹漏情率:

$$R_l = (N - N_z) / N \quad (10)$$

航迹发现率为各雷达探测的目标数据经过融合后, 融合航迹与真值航迹数量一致的航迹比率。航迹虚情率是与真值航迹比较, 多出的融合航迹数量与真值航迹数量的比率。航迹漏情率是无融合航迹的真值航迹数量与总真值航迹数量的比率, 即出现了真值航迹没有融合航迹与之对应, 但存在雷达航迹数据与之对应的情况。

1.3 处理能力指标

由于雷达探测空情时, 由于发现概率和顶空探测盲区因素, 雷达的情报数据有可能出现不连续的现象, 如果融合算法没有优化关联算法, 会导致融合后的空情信息不连续情况加重, 甚至影响指挥控制系统的态势判断。因此处理能力指标就是评价融合算法处理复杂雷达探测空情的性能。

信息完整率指防空指挥系统在获取目标信息和融合处理后, 空情态势相对于真值航迹在时空域上拥有信息时间的比率。信息完整率计算公式为:

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{S_i}{\bar{S}_i}}{N} \quad (11)$$

式中: S_i 为与第 i 条真值航迹相关联的融合航迹所持续的时间; \bar{S}_i 为第 i 条雷达能探测到的真值航迹持续的时间, 也就是说这段真值航迹是有雷达能探测到的数据, N 为真值航迹总数。

跟踪中断是指雷达航迹数据有输入, 但融合系统无数据输出的情况, 即融合系统无跟踪状态。跟踪中断时间是指跟踪中断持续的时间, 一般认为连续丢失对应雷达航迹数据 4 点以上, 则认为是跟踪中断, 计入中断时间的统计。它衡量了系统的失去关联航迹的时间。

若第 i 条航迹中断时间为 T_{ib}^i , 真值航迹的持续时间为 T_{ob}^i , 则融合航迹的平均中断时间为:

$$T_b = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_{ib}^i \quad (12)$$

则跟踪中断时间的比率为:

$$\eta_b = \frac{\sum_{i=1}^m T_{ib}^i}{\sum_{i=1}^m T_{ob}^i} \quad (13)$$

一个效果好的融合算法, η_b 是非常小的。

航迹识别率 R_i 是正确识别目标属性的概率, 为正确识别目标属性的航迹数量与目标真值数量的比值。识别率可细分为我方识别率 R_f 、敌方识别率 R_e 、中立方识别率 R_n 和目标类型识别率 R_c (如大型机、中机、小型机)。识别率是个重要的指标, 若是敌我属性识别错误, 应判定融合失败。

2 基于满意度原理的评估方法

为了评估的需要,将一些对指标的表达形式进行量化的描述是非常必要的。满意度是衡量人们在某个标准下对其选择(或行为)满意程度的一种度量,任何能反映指标质量的量都可用满意度来表示^[8-9]。利用“令人满意准则”来对某个过程或效果进行评估的思想已在多个工程领域实现应用。本文主要对防空试验空情融合的单项指标及整个融合系统指标进行综合评判。

2.1 精度指标评估

融合精度指标评估的隶属度函数取满意度指数函数,并设计为:

$$f_{\sigma_l} = \exp(-0.1054 \times \sigma_l / \sigma_w) \quad (13)$$

其中 σ_l 为需评估的精度,有经度和纬度两个轴方向, σ_w 为自适应雷达权重精度(即基准精度), σ_w 的计算公式为:

$$\sigma_w = \sum r_i \sigma_i, \text{ 其中 } r_i = s_i / \sum s_i, \\ s_i = \sum T_{ij}^i / \sum T_{zk} \quad (14)$$

式中: T_{ij}^i 为第 i 个雷达第 j 批航迹持续的时间; $\sum T_{ij}^i$ 为第 i 个雷达所有航迹持续时间的总和; $\sum T_{zk}$ 为所有真值航迹持续时间的总和; σ_i 为第 i 个雷达当前所有航迹数据的探测精度。显然持续时间长的航迹在精度评估中所占比重大,并保证了 σ_i 等于 σ_w 时评估结果接近 0.9。利用权重精度 σ_w 作为精度基准对融合精度进行评价,很好地解决了由于航迹数据量在时空上的变化导致的评价基准难确定的问题,例如,空中目标进入雷达探测空域的时间和所持续的时间以及雷达探测航迹的空间位置是不同的,这就会导致雷达探测同一目标时产生的空情数据量是不同的,由于探测空域的不同,就有可能出现精度高的雷达但获得的空情数据却比精度地的雷达在精度方面要差,这就无法确定多雷达空情信息融合精度性能的评价基准。雷达权重精度法反映了融合中雷达数据量在融合算法中的作用,能很好地解决此问题,并能给出一个令人信服的结论。

一次差概率的统计公式为:

$$f_{\sigma_l} = M_{3\sigma} / M_f \quad (15)$$

式中: $M_{3\sigma}$ 为融合精度小于 $3\sigma_w$ 的点数; M_f 为融合航迹的点数。

由上可知,融合精度评估有三个量组成,即经度方向精度评估、纬度方向精度评估和一次差概率评估,因此需要对多个量进行综合评估,评估公式为:

$$V_{\sigma} = \sum r_i f_{\sigma_i} \quad (16)$$

式中: 权重 $\sum r_i = 1$ 。

2.2 相关性指标评估

相关性指标评估是对航迹发现率、虚情率和漏情率的综合评估。在实际作战中,少量的虚情是允许的,可通过人工干预判别,但漏情率是重要指标,如果融合出现漏情,即防空作战中有敌机被雷达发现,融合系统却丢失了目标,结果可能直接导致作战失败,这是绝对不允许的,因此如果出现了漏情的状况,会导致整个融合效果迅速下降。相关性指标评估选择以下公式进行评估:

$$V_r = R_c \exp(-k_1 R_x) \exp(-k_2 R_l) \quad (17)$$

其中: $k_1=10$, $k_2=66.9431$, 可看出虚情率要求不是太严格,但漏情率要求非常严格。

2.3 处理能力指标评估

识别率评估公式为:

$$V_c = \exp(-k \times |R_f + R_e + R_n - 1|) \times R_c \quad (18)$$

式中: $k=66.9431$, 融合后航迹的属性识别都正确情况下式中绝对值内的结果应是 0, 若是有识别错误的情况,则绝对值里的值是小于 1 的,则会导致 V_c 值陡降,识别发生错误在作战中也是不允许的。

跟踪中断时间的评估公式为:

$$V_b = 1 - \eta_b \quad (19)$$

信息完整率评估公式为:

$$V_s = \exp(-k \times |P_s - 1|) \quad (20)$$

式中: $k=0.3$ 。公式表明融合航迹在时空上应尽量与雷达探测到的真值航迹保持一致,由于融合算法预测关联出现错误时,如果不能自动修正,有可能

会导致此项指标不合格。

2.4 综合评判

由于需要对多个目标进行综合评价, 获得对整个系统测试的满意程度, 称为综合满意度。综合满意度是对整个系统的总体评价, 它反映了每个质量指标对整个系统的作用和影响, 是评判所有指标是否满足要求的最终依据。根据综合评判模型可获得某试验过程的综合评判结果, 综合评判的公式为:

$$P = \theta^m \sum r_i V_i \quad (21)$$

其中: 权重 $\sum r_i = 1$; θ 为惩罚系数, 可选 0.9; m 为二级指标小于 0.9 的个数。最终的判断集为 {' $P \geq 0.9$ 合格', ' $P < 0.9$ 不合格'}。从式中可看出, 所有指标应满足 0.9 的要求, 当某单项指标小于 0.9 时, 综合评判结果一定会小于 0.9 而不合格, 这样解决了由于性能测试过程中, 当某项指标不合格时, 却在综合评判的最终结果却体现不出, 导致评价体系出现不合理的问题出现。

3 评估软件设计

空情的融合是对多传感器探测空中目标信息的数据处理过程, 对其性能的评估要考虑两面因素, 即确定雷达的类型和位置, 以及对空情的轨迹的规划和设计, 它们会对评估效果产生重大影响。因此在评估过程中, 必须合理地实现雷达部署和规划空情, 以获得可信的评估结果。

3.1 雷达部署

雷达是侦察设备, 航迹是通过雷达探测发现后输出给融合系统的, 因此雷达部署的是否合理直接影响了融合系统的应用和测试效果。在仿真试验中, 雷达也是通过仿真测试床仿真实现的, 此过程应考虑以下几点:

1) 仿真的雷达不仅要反映雷达数据的噪声特性, 还要反映反映雷达真实的探测特性, 如要体现雷达的发现概率、探测盲区、探测范围等;

2) 依据融合系统的所属装备的实战应用来合理部署, 即融合系统属于哪一级装备, 能指挥几部

雷达, 雷达的类型有哪些。雷达的部署形式主要有正方形部署、等边三角形部署和混合部署, 并要实现空域互补。如将中低空雷达与中高空雷达相结合, 将不同探测距离的雷达合理组合, 实现整体空间分集, 达到优势互补、功能互补、空域相互覆盖, 以贴合实际作战的需求;

3) 根据实际情况选择不同性能、不同程式的雷达混合组网, 以反映融合系统的适应能力。如将精度差距较大的雷达编成组, 将两坐标雷达与三坐标雷达组合, 不同扫描周期的雷达共存;

4) 雷达部署目的明确, 如要保护重点目标, 则在目标周围要部署中低空或超低空雷达, 防止低空投弹。

3.2 空情规划

空情规划设计了飞行器的类型、方位、速度、敌我、数量、轨迹等信息, 由于融合评估还要从融合算法角度出发, 结合设计的测试想定中的作战企图, 能全面评估融合系统的性能, 因此飞行器设计的航路轨迹有可能与实际作战应用不符, 但其机动特性尽量与实际相符。航迹的设计可从以下几方面考虑:

1) 制定某些标准的融合系统评估科目, 反映融合系统对不同航路的处理能力, 可涵括几种典型的航路, 如直线、交叉、跑道、心型、8 字、“分合分”和多路向心飞行等;

2) 要突出飞行目标的机动特性, 体现融合系统对机动目标的处理能力, 适当加入强机动的目标, 如包含水平机动和垂直机动;

3) 考虑融合系统对航迹的空间处理能力, 即设计不同分辨率、不同高程的航迹分布, 如两架的飞机飞行左右间隔 300 m, 或高低间隔 300 m, 或两批次航路在雷达的分辨力之内;

4) 可结合防空作战的空袭战术战法设计航迹, 如巡航导弹的蛇形机动空袭, 空中多目标进行编队作战。

航迹规划是为了发现融合系统中可能出现的问题, 因此必须有针对性、多角度和通用性。

3.3 空情融合性能评估过程

整个测试评估过程是在一个仿真的测试环境中进行的, 仿真测试环境是一个由剧情航迹编辑软件和雷达仿真软件组成的仿真测试床及融合评估系统构成的一个试验环境, 如图 2 所示, 剧情航迹编辑器是编辑测试融合过程需要的真值航迹的轨迹, 即完成上述的航迹规划; 雷达仿真软件是根据雷达探测机理设计的软件, 能较真实地反映雷达的输出数据, 并可根椐测试需要设计多部雷达的部署, 形成雷达组网的态势。首先根据测评的需要规划飞行航迹、雷达参数与部署、通信链路的建立和系统的对时; 然后按照规划好的路径和时间进行飞行目标的运动仿真, 当飞入所部署的雷达探测范围并被雷达捕捉到后发送到融合系统, 并将多部雷达的空情进行融合^[10]。

空情融合评估可在线也可离线, 主要有两个过程, 一个是对试验数据进行前期处理, 使试验数据按照考核的内容进行配置, 服务于融合指标的考核和评估, 如坐标转换、数据插值、空情关联及精度计算; 另一个是试验数据的评估, 即根据试验过程和数据, 对单个试验或整个试验得出一个量化的评判结果, 考核指标是否能满足要求。其流程见图 3。

图 4 是利用 MATLAB 编制的基于满意度原理的融合评估软件, 软件具有自动处理和分析数据、

动态三维显示、问题分析支持及 EXCEL 表格输出等功能。

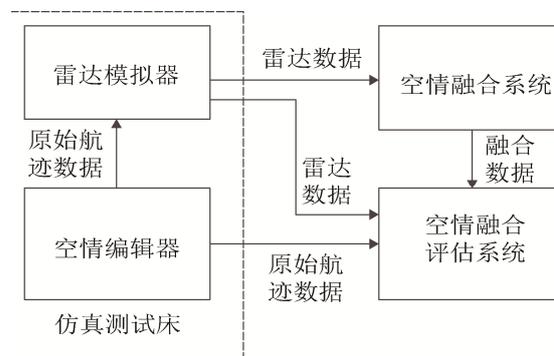


图 2 仿真测试环境结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of simulation test environment

整个测试评估过程为: 剧情航迹编辑软件读取设计好的航迹后, 按照规划好的路径和时间进行飞行目标的运动仿真, 并把真值航迹数据发送到雷达仿真软件, 当真值航迹飞入雷达的探测范围并被雷达捕捉到后发送到被测试的空情融合系统, 由空情融合系统将多部雷达的探测空情进行融合, 并将融合空情发送到融合评估系统, 融合评估系统接收到真值航迹、雷达情报与融合空情后进行时空对准和航迹关联, 然后进行评估指标的计算, 最后将计算结果进行满意度综合评判并输出评估结果。表 1 为某测试空情融合评估的结果。

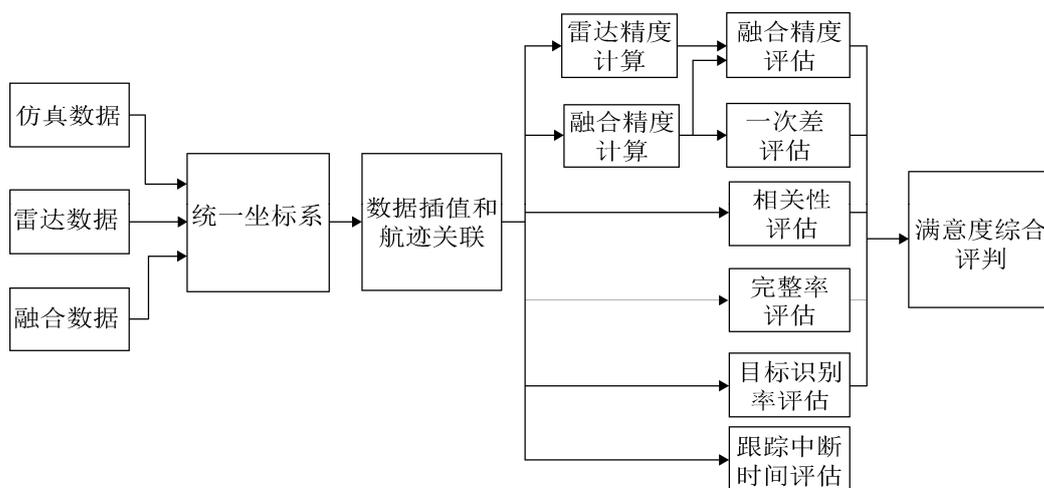


图 3 空情融合评估处理流程

Fig. 3 Evaluation process of air-information fusion performance

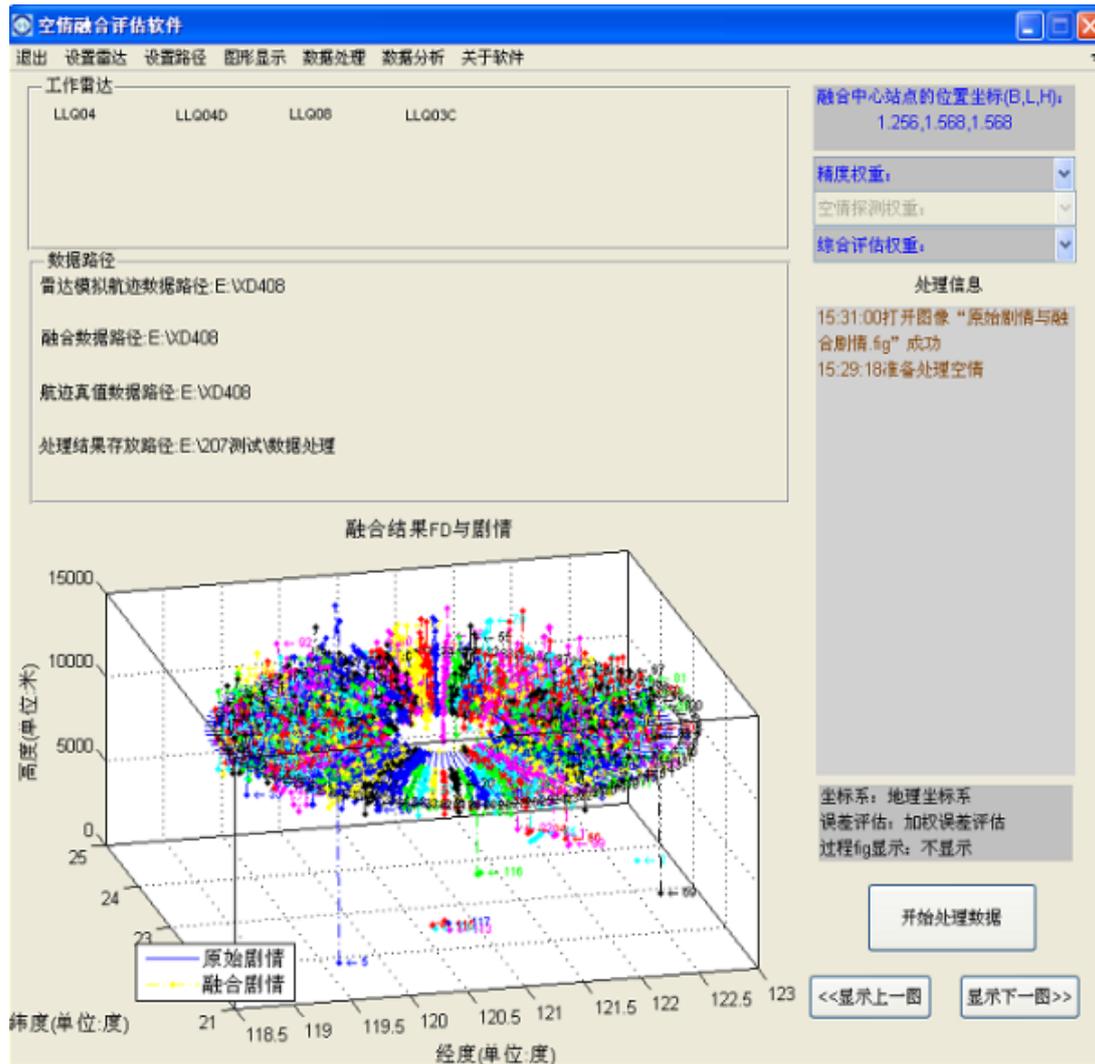


图 4 基于满意度的空情融合评估软件

Fig. 4 Evaluation software of air-information fusion performance based on satisfactory degree

表 1 融合评估结果示例

Tab. 1 Examples of fusion evaluation results

编号	综合满意度	结果	备注
1	0.976 66	合格	
2	0.791 20	不合格	虚情率: 0.25, 相关性评估: 0.778 8
3	0.864 03	不合格	精度评估: 0.872 0

通过评估软件分析数据,融合系统评估不合格的原因主要有:

- 1) 高程适应性差: 当某些雷达的高程信息误差较大时,如果融合系统适应性不良,则会导致融合精度劣化;
- 2) 运动模型不良: 在直线运动变为变加速运

动时,由于融合系统的运动模型参数不能及时更新,导致融合轨迹偏离航路;

3) 预测性能差: 当有多个精度高的雷达组网时,如果融合航路利用预测值作为融合值输出,则会出现融合航迹误差变大的情况;

4) 对偶然性事件的处理能力不足: 如数据通信延迟或某雷达数据部分丢失的情况,融合航迹会出现跟踪中断问题;

5) 关联判断问题: 融合算法中质量因子的阈值适应能力不足,雷达组网时,尤其包含精度差雷达的情况,容易出现虚警现象。

通过分析融合评估结果,定位融合不合格的原

因, 提供解决方案, 最终提高了融合系统的性能。

4 结论

空情融合系统的测试与评估是一个复杂且系统的工程, 不仅要融合系统有着深入的理解, 还需要建立一个逼真的仿真试验环境, 利用贴近实战的雷达部署和航迹规划以空情验证融合系统的性能, 才能及时的发现和定位融合系统的问题, 充分反映融合系统在接近实战条件下的应用状况。本文提出的评估方法和技术手段, 能多方面考核融合算法和性能, 发现情融合指标不合格问题并提供解决的建议, 为进一步提高融合系统的作战效能提供依据。

参考文献:

- [1] 李怡勇, 沈怀荣, 蒋心晓, 等. 防空情报指挥系统的智能信息处理软件 [J]. 计算机工程, 2008, 34(9): 95-97.(Li Yi-yong, Shen Huai-rong, Jiang Xin-xiao, etc. Intelligent Information treatment software of anti-aircraft intelligence & command system [J]. Computer Engineering, 2008, 34(9):95-97.)
- [2] 邹伟, 刘兵, 孙倩. 多源信息融合能力评估关键技术综述 [J]. 计算机与数字工程, 2010, 38(3): 1-5. (Zou Wei, Liu Bing, Sun Qian. Survey of key technologies on efficiency evaluation of information fusion system with multiple sources [J]. Computer & Digital Engineering, 2010, 38(3): 1-5.)
- [3] 韩崇昭, 朱宏艳, 段战胜. 多源信息融合 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.(Han Chong-zhao, Zhu Hong-yan, Duan Zhan-sheng. Multi-source information fusion [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.)
- [4] 中华人民共和国军用标准(GJB 4950—2003), 情报系统数据融合通用要求 [S].(People's Republic of China military standard (GJB 4950 — 2003), General requirements for data fusion in intelligence system [S].)
- [5] 马志奇, 龚亚信, 杨宏文, 等. 算法级数据融合测试床的关键设计与实现 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(18): 4339-4341. (Ma Z Q, Gong Y X, Yang H W, et al. Key design and implementation of algorithm-level data fusion testbed [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2007, 19(18): 4339-4341.)
- [6] 王晓璇. 目标融合航迹质量评估方法 [J]. 指挥信息系统与技术, 2012, 3(2): 17-22.(Wang Xiao-xuan. Evaluation Method for Track Quality of Target Fusion[J]. Command Information System and Technology, 2012, 3(2): 17-22.)
- [7] 杨利平, 王颖龙. 数据融合在防空C³I系统中的应用 [J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(12): 73-76.(Yang Li-ping, Wang Ying-long. Research on application of data fusion to the C³I system of air defense [J]. Fire Control and Command Control, 2008, 33(12): 73-76.)
- [8] Roy J. Definition of a Test Bed for the Evaluation of a Real-time Multi-Source Data Fusion [R]. Advances in Laser Science—iv, 1989, 191 (1):348-350
- [9] Wu X C, Wu J, Yang J M, et al. Synthetic Evaluation Based on Satisfactory Degree and Its Application on Power Quality Appraisal of Wind Plant [J]. Dynamics of Continuous Discrete and Impulsive Systems-Series B-Applications & Algorithms (S1492-8760), 2006, 13(11): 1099-1103.
- [10] 马志奇. 应用于平台型数据融合测试床的构件技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008. (Ma Zhi-qi. Research on component technology of platform based data fusion test bed [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008.)