

2-23-2022

## Component Design and Simulation of Netted Radar Fusion Processing

Jing Wu

*State Key Laboratory of Complex Electromagnetic Environment Effects on Electronics and Information System, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;, 763999965@qq.com*

Zhiming Xu

*State Key Laboratory of Complex Electromagnetic Environment Effects on Electronics and Information System, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;*

Xiaofeng Ai

*State Key Laboratory of Complex Electromagnetic Environment Effects on Electronics and Information System, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;, anxifu2001@163.com*

Feng Zhao

*State Key Laboratory of Complex Electromagnetic Environment Effects on Electronics and Information System, National University of Defense Technology, Changsha 410073, 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.

---

## Component Design and Simulation of Netted Radar Fusion Processing

### Abstract

**Abstract:** Data fusion processing technology is the core of netted radars. Taking the air-defense radar network as the reference, *this paper builds a component-based and reconfigurable data fusion algorithm library. With the component design method, the process of data fusion is divided into different components, such as data validity check, error match, time-space match, plot association, plot fusion, track initiation, track filtering, track association, track fusion, and track management. Each component involves different algorithms with a unified external interface, and algorithms can be chosen by parameter setting to meet different fusion requirements. Then, the complete processing template for plot fusion and track fusion is designed by the assembly of components, which facilitates the application in different scenarios.* The simulation results validate the feasibility and adaptability of the proposed component design method.

### Keywords

netted radars, plot fusion, track fusion, component design, simulation

### Authors

Jing Wu, Zhiming Xu, Xiaofeng Ai, Feng Zhao, and Shunping Xiao

### Recommended Citation

Jing Wu, Zhiming Xu, Xiaofeng Ai, Feng Zhao, Shunping Xiao. Component Design and Simulation of Netted Radar Fusion Processing[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(2): 409-418.

# 组网雷达融合处理组件化设计与仿真

吴静, 徐志明, 艾小锋\*, 赵锋, 肖顺平

(国防科技大学 电子信息系统复杂电磁环境效应国家重点实验室, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 数据融合处理是多雷达组网的核心。以典型防空雷达网为参考对象, 采用组件化设计方式, 将组网数据融合处理过程划分为不同的组件, 设计通用组件库, 包括数据有效性检验、误差配准、时空对准、点迹关联、点迹融合、航迹起始、航迹滤波、航迹关联、航迹融合、航迹管理等。每个组件包含不同的处理算法, 采用统一的外部接口, 通过参数选择不同的处理算法, 通过组件装配构成完整的点迹融合与航迹融合处理模板, 以适应不同应用场景。仿真结果验证了组件化设计的可行性和适应性。

**关键词:** 组网雷达; 点迹融合; 航迹融合; 组件化设计; 仿真

中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2022)02-0409-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0742

## Component Design and Simulation of Netted Radar Fusion Processing

Wu Jing, Xu Zhiming, Ai Xiaofeng\*, Zhao Feng, Xiao Shunping

(State Key Laboratory of Complex Electromagnetic Environment Effects on Electronics and Information System,  
National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Data fusion processing technology is the core of netted radars. Taking the air-defense radar network as the reference, *this paper builds a component-based and reconfigurable data fusion algorithm library. With the component design method, the process of data fusion is divided into different components, such as data validity check, error match, time-space match, plot association, plot fusion, track initiation, track filtering, track association, track fusion, and track management. Each component involves different algorithms with a unified external interface, and algorithms can be chosen by parameter setting to meet different fusion requirements. Then, the complete processing template for plot fusion and track fusion is designed by the assembly of components, which facilitates the application in different scenarios.* The simulation results validate the feasibility and adaptability of the proposed component design method.

**Keywords:** netted radars; plot fusion; track fusion; component design; simulation

## 引言

随着精确制导武器等先进武器的出现, 作战系统对雷达获取战略态势等信息的效能要求越来越高, 单一的雷达探测和简单的情报综合已远不能满足作战需求。构建一个统一的系统, 对各种

类型的雷达实行适当的部署, 对这些雷达所获取信息采取数据融合处理技术分析, 并对系统进行管理和操作(系统的启动与终止、航迹等数据的管理、结果的显示与反馈), 能够得到单一雷达难以得到的信息, 适应现今复杂的战场环境<sup>[1]</sup>。这就是多雷达组网所能实现的功能, 它有着明显的优势

收稿日期: 2020-09-25 修回日期: 2020-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(62071475, 61890542)

第一作者: 吴静(1998-), 女, 硕士生, 研究方向为组网雷达数据融合处理。E-mail: 763999965@qq.com

通信作者: 艾小锋(1983-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为双基地雷达成像。E-mail: anxifu2001@163.com

和重要的意义，是未来作战的发展趋势。

组网雷达数据融合是通过各雷达探测的多源信息，对所关心目标进行检测、关联、跟踪、估计和综合等多级多功能处理，以更高的精度、较高的概率或置信度得到人们所需要的目标状态 and 身份估计，以及完整、及时的态势和威胁评估，为指挥员提供有用的决策信息<sup>[2]</sup>。组网雷达数据的融合处理是雷达组网的核心，对各雷达站的信息进行融合、反馈和控制等操作，使它从本质上区别于一般意义的情报综合。它从融合结构上分为3类：集中式、分布式和混合式融合结构<sup>[3]</sup>。

近年来，针对上述3种融合结构的组网雷达建模与仿真受到了极大地关注。陈志杰设计了一种基于指定硬件架构方式下的集中式和分布式2种融合结构的软件实现流程和仿真实验，从抗干扰、反隐身、融合精度等多方面进行了性能的定量研究<sup>[4-5]</sup>。雒梅逸香对集中式组网雷达点迹融合过程进行研究和仿真，设计实现有效的跟踪滤波算法并应用于工程实践<sup>[6]</sup>。寇伟提供了一种在仿真模型中的分布式组网雷达数据融合的基本处理方式，对雷达组网的融合策略提供了基本思路<sup>[7]</sup>。张晨基于多雷达数据融合系统架构，改进多目标关联算法，利用分布式网络技术开发了分布式多雷达防空武器仿真系统<sup>[8]</sup>。鹿瑶提出了一种混合式融合方法，对同型和异型雷达组网应用进行了融合结构优化<sup>[9]</sup>。以上大多针对某一种信息融合的结构进行数据融合处理，或针对融合处理平台、分布式体系结构、性能评估等进行系统实现，因而只能在特定的环境中发挥功能，系统效能受到局限。黄大丰等提出一种基于组件化设计的雷达组网结构，由多个分别实现不同功能的组件集合为雷达组网系统<sup>[10]</sup>，但没有详细阐述具体实施过程。

因此，选取合适的信息融合结构、研究组网雷达融合处理方法中的关键技术并采用仿真平台评估作战效能，对于提升组网雷达的性能，优化国土作战指挥自动化系统有着重要的军事意义。

本文综合了组网雷达融合处理的基本流程，以典型防空雷达网为参考对象，采用模块化、组件化设计思想分别设计组网雷达点迹和航迹融合过程，从而能够在同一仿真系统环境中针对集中式和分布式2种信息融合结构进行数据的融合处理，并以软件的形式分别实现2种融合过程并进行融合效果仿真比对。不同于采用固定融合算法的融合处理系统，本文通过理论设计和仿真实验验证了组件化、模块化实现组网雷达数据融合处理的可行性，为构建可重用、可扩展的组网雷达数据融合处理系统提供了新的思路。

## 1 组件化设计思路

综合组网雷达融合处理的基本流程，将组网雷达数据融合处理过程划分为不同的组件，构建不同的算法库，主要包括算法组件库和算法模板库，如图1所示。算法库提供统一的设计接口，管理雷达数据融合相关的算法组件和算法模板以及数据的传输。其中，某些组件可能存在多种实现算法，从而实现算法组件级别的可重用与可扩展。在融合过程中，首先通过统一的接口编辑组件生成融合模板，进行参数初始化设置和原始点迹输入，然后对数据进行融合处理，输出处理得到的融合航迹。组件化的设计强调各组件之间的独立性，每个组件完成指定任务，互不干扰。

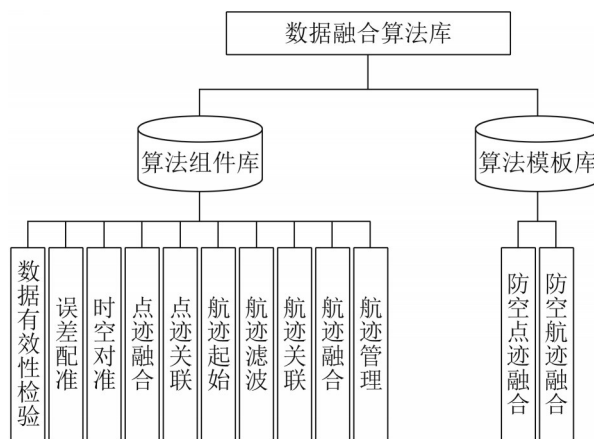


图1 数据融合算法库结构图

Fig. 1 Structure of data fusion algorithm library

## 2 点迹融合组件化设计

### 2.1 点迹融合组件化设计流程

点迹融合对应集中式信息融合结构, 它由数据有效性检验、误差配准、时空对准、点迹融合、点迹关联、航迹起始、航迹滤波和航迹管理等组件构成。点迹融合组件化设计流程分组件阐述, 包括组件的接口、功能和数据传递, 体现组件间的独立性。图2为对应流程图, 展现了点迹数据在各模块间的传递和处理, 反映了组件化的点迹融合过程的实现思想。

#### (1) 数据有效性检验组件

组件输入: 初始点迹\航迹、配置参数; 组件输出: 有效点迹\航迹。该组件检验当前时刻点\航迹数据的有效性, 输出对应坐标位于正常雷达探测范围内的数据, 不保留历史点\航迹信息。

#### (2) 误差配准组件

组件输入: 有效点迹\航迹、配置参数; 组件输出: 误差配准后的点迹\航迹。该组件对数据进行误差配准, 校正系统误差, 使校正后的系统误差与雷达测量误差保持在同一水平, 可采用最小二乘(LS)法等算法实现<sup>[11]</sup>。

#### (3) 时空对准组件

组件输入: 误差配准后的点迹\航迹、配置参数; 组件输出: 统一了坐标系并统一到同一融合时刻的点迹\航迹。该组件对当前数据分别进行时间和空间上的对准, 其中, 空间对准基本通过坐标变换实现, 时间对准可依据情况采取各种插值算法实现。

#### (4) 点迹融合组件

组件输入: 预处理后的点迹、配置参数; 组件输出: 融合点迹集合。该组件进行雷达间点迹融合, 采取一定的准则从当前时刻来自各雷达的点迹中判断并融合雷达间可能来自于同一个目标的点迹。

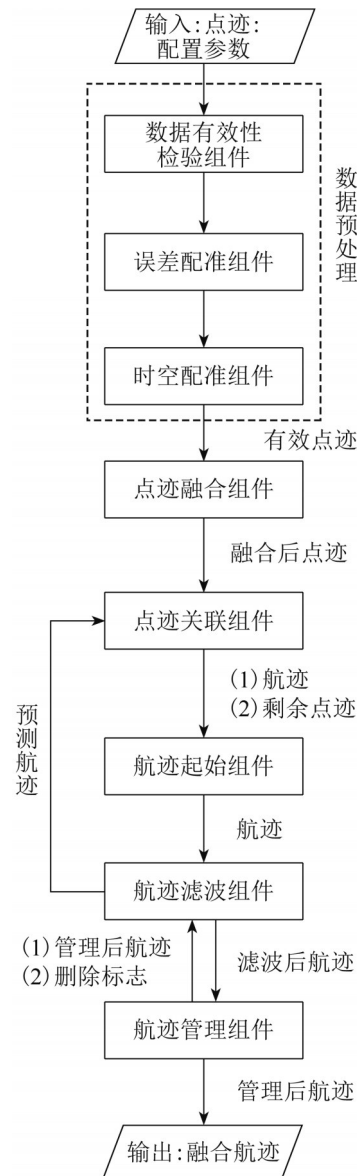


图2 点迹融合组件化设计流程图

Fig. 2 Flow chart of plot fusion based on component design

#### (5) 点迹关联组件

组件输入: 融合点迹、当前时刻航迹、配置参数; 组件输出: 剩余点迹、记录了关联结果的航迹。该组件进行当前时刻的点迹与航迹的关联, 将关联情况保存在航迹中, 用于航迹后续的状态更新, 关联方法可选择最近邻域法和多维概率数据互联法<sup>[12]</sup>等算法实现。

#### (6) 航迹起始组件

组件输入: 剩余点迹、记录了关联结果的航迹、配置参数; 组件输出: 记录了关联和起始结



果的航迹。该组件对输入点迹与航迹根据一定的准则起始可能航迹，包括暂时航迹的生成和可靠航迹的起始，将起始结果保存在航迹中，可采用直观法、逻辑法<sup>[13]</sup>等算法实现。

(7) 航迹滤波组件

组件输入：记录了当前关联起始结果的航迹、配置参数、航迹删除标志；组件输出：滤波后航迹。该组件对当前时刻的航迹进行滤波更新，将更新结果保存在航迹中。同时，还对航迹管理返回的航迹与航迹删除标志进行滤波状态的删除和预测等管理，将管理结果保存在预测航迹中。航迹的滤波可选取  $\alpha$ - $\beta$  滤波， $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  航迹滤波和扩展卡尔曼滤波 (EKF) 航迹滤波等方法实现<sup>[14]</sup>。

(8) 航迹管理组件

组件输入：滤波航迹、配置参数；组件输出：更新后航迹、航迹删除标志。在点迹融合过程中，采取集中式航迹管理组件。该组件根据一定的规则更新航迹状态，包括航迹的确认、航迹的撤销终止和航迹的转换等，管理结果通过航迹输出。

### 2.2 点迹融合仿真系统平台

考虑在仿真系统平台中设计防空雷达网工作模式下的点迹融合模板。防空雷达网工作模式的点迹融合模板针对飞机类目标进行点迹融合处理，输出融合后的航迹。图 3 为典型交叉目标场景的融合战情设置，图 4 为对应的点迹融合结果显示。

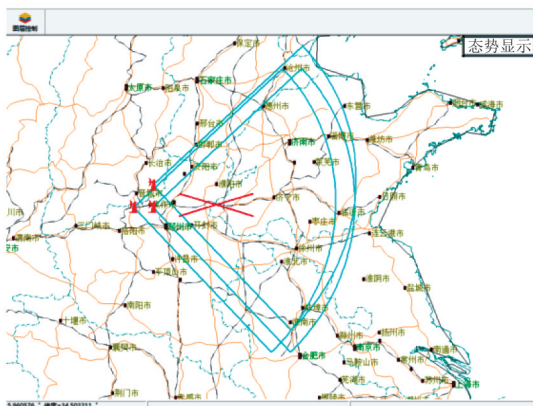


图 3 三雷达交叉目标战情  
Fig. 3 Combat situation across target of three radars

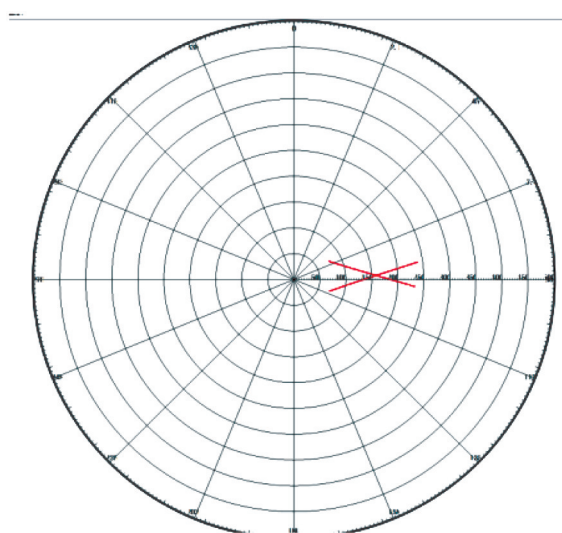


图 4 融合中心动态测试结果  
Fig. 4 Dynamic test results of fusion center

## 3 航迹融合组件化设计

### 3.1 航迹融合组件化设计流程

航迹融合对应分布式信息融合结构，它由数据有效性检验、误差配准、时空对准、航迹关联、航迹融合和航迹管理等组件构成。同点迹融合设计类似，航迹融合组件化设计流程分组件阐述，预处理过程见第 2 节。图 5 为对应流程图，展现了航迹数据在各模块间的传递和处理流程，反映了组件化的航迹融合过程的实现思想。

(1) 航迹关联组件

组件输入：初始探测航迹、配置参数；组件输出：关联航迹。该组件实现雷达间航迹关联，判断当前航迹的目标归属，关联情况记录为关联航迹组输出，可考虑采用最近邻法和统计双门限法等算法实现<sup>[15]</sup>。

(2) 航迹融合组件

组件输入：关联航迹、配置参数；组件输出：融合航迹。该组件将当前关联航迹组按一定的规则融合为融合航迹，可采用经验加权法、简单协方差加权法和最大似然加权法等算法实现。

(3) 航迹管理组件

组件输入: 融合航迹、配置参数; 组件输出: 管理后航迹。在航迹融合过程中, 采取分布式航迹管理组件对现有航迹进行更新。融合航迹保存在航迹管理组件中, 而管理后的当前时段融合航迹作为结果输出。

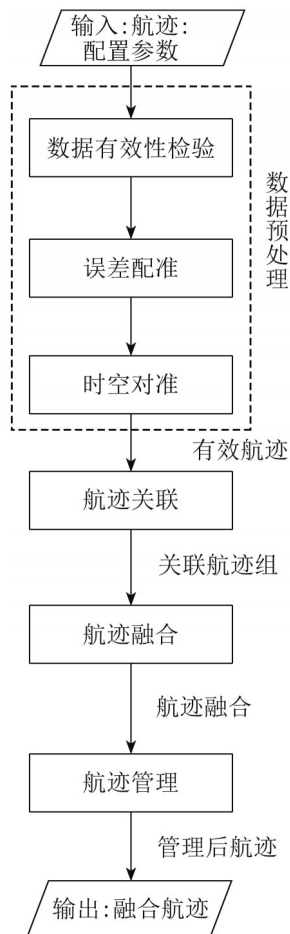


图5 航迹融合组件化设计流程图

Fig. 5 Flow chart of track fusion based on component design

3.2 航迹融合仿真系统平台

同点迹融合类似, 考虑在仿真系统平台中设计防空雷达网工作模式下的航迹融合模板。防空雷达网工作模式的航迹融合模板针对飞机类目标进行航迹融合处理, 输出融合后航迹。图6为典型平行交叉目标场景的融合战情设置, 图7为对应的融合结果显示。

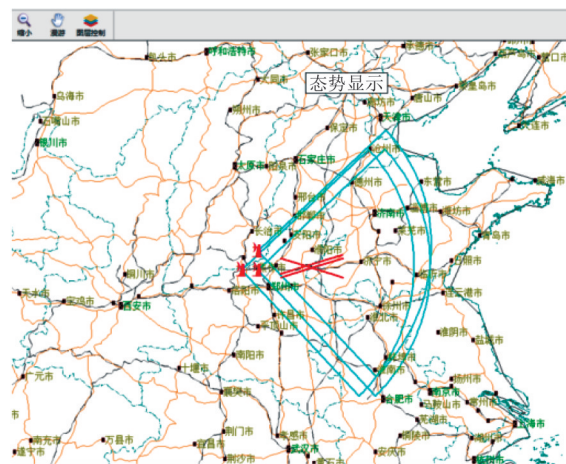


图6 三雷达交叉平行目标战情

Fig. 6 Combat situation across parallel target of three radars

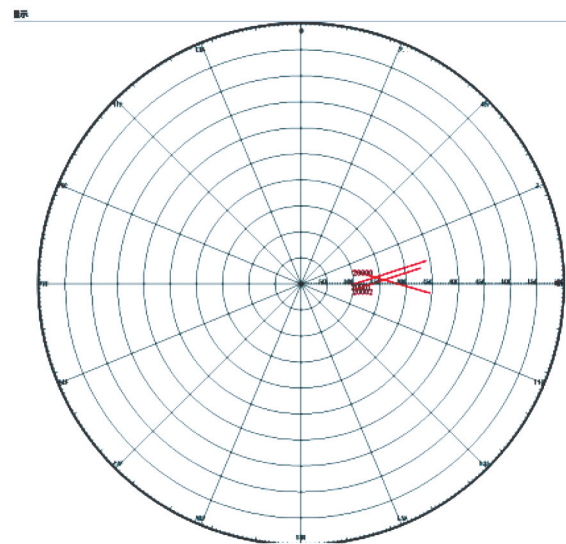


图7 融合中心动态测试结果

Fig. 7 Dynamic test results of fusion center

4 仿真实验

4.1 仿真流程设计

整体的仿真框图由数据模拟器、组网雷达数据融合系统和显示器3个部分组成。组网雷达融合系统读取来自数据模拟器的模拟点迹和航迹数据以及来自配置参数文档的融合相关参数信息, 进行融合处理, 输出融合航迹。显示器读取融合航迹并画图展示融合效果。图8为整体流程图。

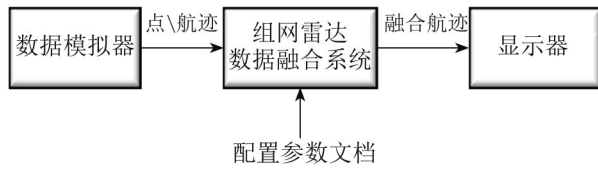


图 8 整体仿真框图  
Fig. 8 Overall flow chart of simulation

### 4.1.1 数据模拟器

在本次仿真中，数据模拟器模拟的雷达为相控阵雷达，干扰为压制干扰。压制干扰在模拟器中体现为信号信噪比的降低，从而导致目标信息的测量(距离和角度)误差变大。模拟器产生点/航迹的流程为：

- ①设置战情，给定雷达基本配置信息和目标真实航迹；
- ②在真实航迹的基础上叠加服从均值为0、指定标准差大小的高斯分布随机量测误差；
- ③将产生的模拟点迹和航迹传送至组网雷达数据融合系统。

### 4.1.2 参数配置

配置参数文档的内容包括融合模板的类别选择(防空点迹/航迹融合模板)、模板中涉及的组件所采用的算法选择和对应算法中涉及的参数值的设置，如图9所示。具体软件实现界面如图10所示，可自主选择参数并自动生成参数配置文档。

在数据融合前，参数以文档的形式将融合的具体配置信息传递至组网雷达数据融合系统，融合系统先由配置信息确定内部算法和参数值的选取，再进行后续的点航迹读取和融合操作。

## 4.2 仿真结果与分析

### 4.2.1 点迹融合效果对比

共设置3类点迹数据，分别为匀速运动目标(目标1)、变速运动目标(目标2)和圆周运动目标(目标3)的探测点迹，运动总时间为500s(场景1)，雷达站位置与真实航迹分布如图11所示。

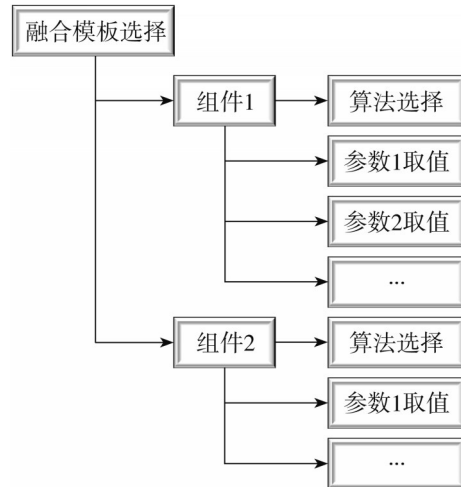


图 9 参数配置示意图  
Fig. 9 Parameter configuration



图 10 参数配置文档生成软件  
Fig. 10 Software for generating parameter configuration documents

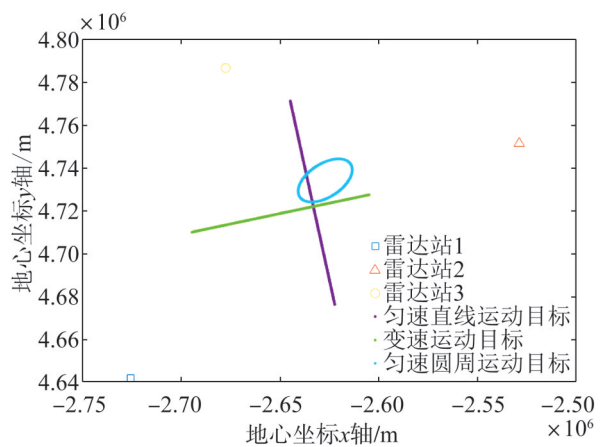


图 11 场景一真实航迹  
Fig. 11 Real track in scene 1

点迹融合前后效果对比如图12所示，图12(a)体现点迹融合整体效果，图12(b)则进一步体现融



合细节, 点迹融合算法能够滤除干扰点, 得到更贴近于目标航迹的融合航迹。将雷达2对目标2的量测误差作为融合前的误差, 单个目标(目标2)点迹融合前后分别在地心坐标 $x$ ,  $y$ ,  $z$ 方向上的误差对比曲线如图13所示。可观察到融合后在 $x$ ,  $y$ ,  $z$ 方向上的误差的极大值和整体分布都有了明显的减小, 点迹融合使得点迹误差得到了较大程度的改善。

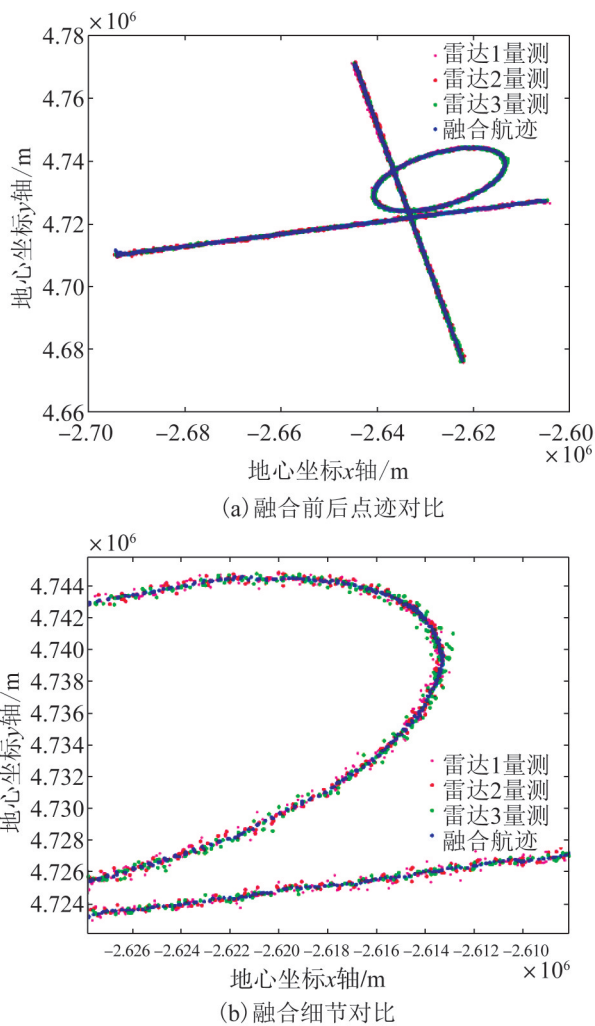


图12 点迹数据融合前后地心坐标对比  
Fig. 12 Comparison of geocentric coordinates before and after plot fusion

计算各目标各雷达量测点迹与融合点迹的距离均方根误差, 如表1所示。由表中数据得出, 融合后距离均方根误差均在一定程度上小于各雷达量测点迹的距离均方根误差, 体现了量测精度

的提高, 证明了组网雷达点迹融合组件化设计的可靠性和有效性。

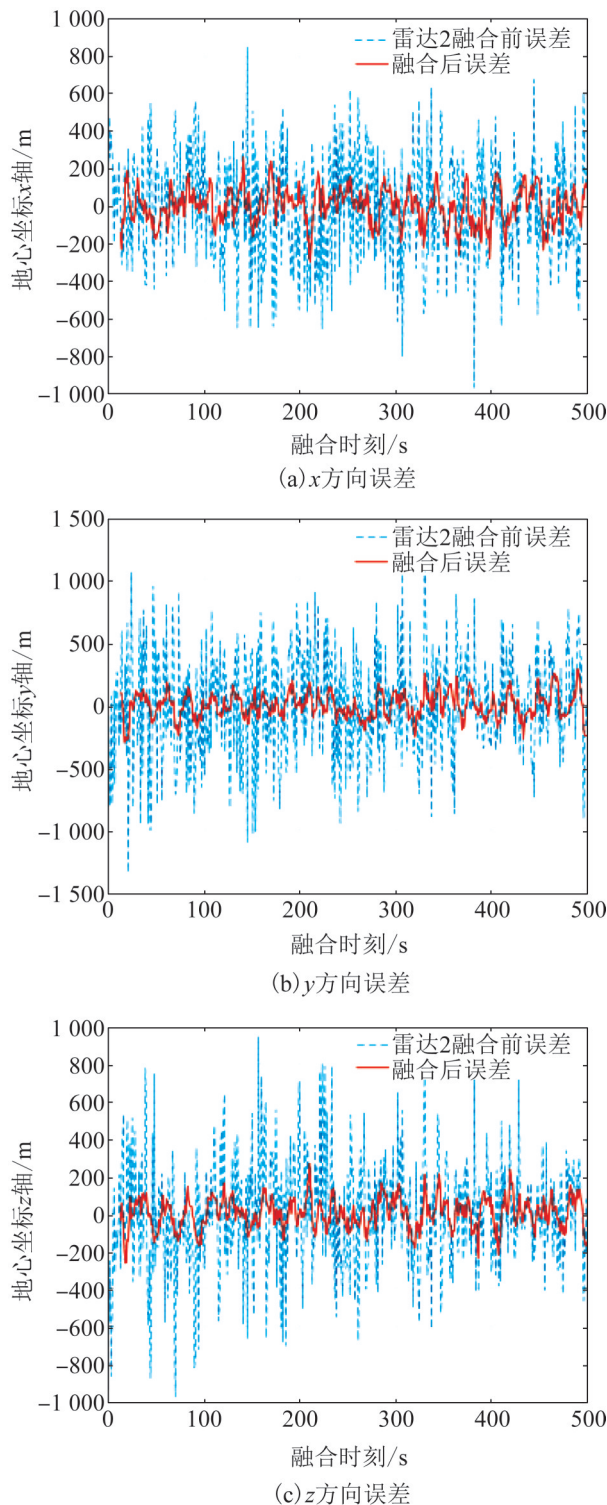


图13 目标2雷达2各方向误差对比  
Fig. 13 Error comparison of radar 2 for target 2 in different directions

表1 各雷达量测点迹与融合点迹距离均方根误差统计  
Table 1 Root-mean-square (RMS) error statistics of distance between measured and fused radar plots m

目标	误差			融合结果
	雷达1	雷达2	雷达3	
目标1	407.062	609.709	499.437	155.874
目标2	358.502	590.826	558.224	165.320
目标3	361.285	436.733	680.671	150.941

#### 4.2.2 航迹融合效果对比

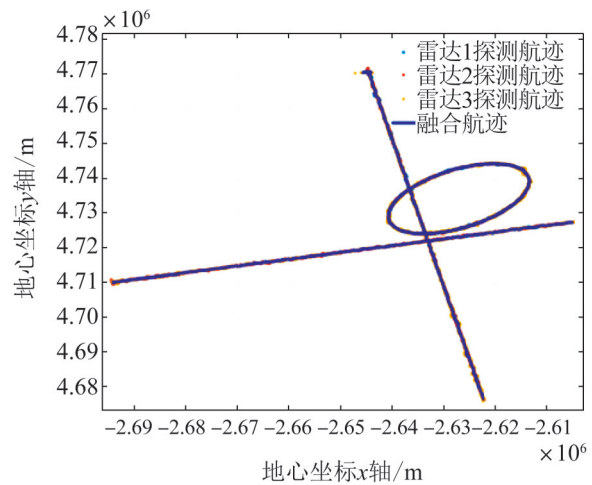
航迹融合中, 各雷达初始探测航迹为每个雷达单独进行点迹融合后得到的融合航迹。航迹融合前后效果对比如图14所示, 可观察到, 融合后的航迹更贴近真实航迹, 减少了航迹的发散。

将雷达2对目标2的初始探测航迹误差作为融合前的误差, 单个目标(目标2)航迹融合前后在地心坐标 $x$ ,  $y$ ,  $z$ 方向上的误差对比曲线如图15所示。可以观察到融合后误差在大部分时段都小于雷达探测航迹误差, 因此航迹融合使得航迹误差得到了一定程度的改善。由于融合前航迹为各雷达进行初步探测得到的航迹, 故相对于原始量测点迹已经提高了部分量测的精度, 航迹融合效果对比图没有点迹融合效果明显。

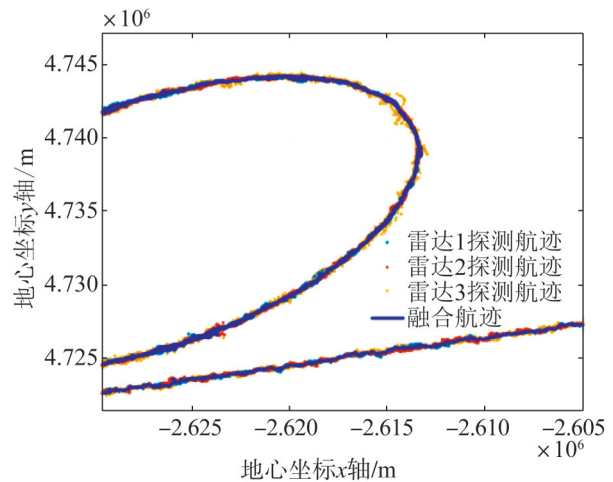
为更好地观察航迹融合前后误差变化, 计算各雷达航迹与融合后航迹的距离均方根误差, 如表2所示。由表中数据得出, 尽管融合前航迹精度已有了一定程度的提升, 融合后航迹的距离均方根误差仍均小于各雷达航迹的均方根误差, 表明航迹融合的确提高了量测精度, 证明了组网雷达航迹融合组件化设计的可靠性和有效性。

#### 4.2.3 不同场景更换组件融合效果对比

设计场景2, 该场景的航迹为2个匀速直线飞行目标的探测点迹, 运动总时间为500 s。其中, 两目标在250 s相遇并交叉飞过, 如图16所示。



(a) 融合前后航迹对比

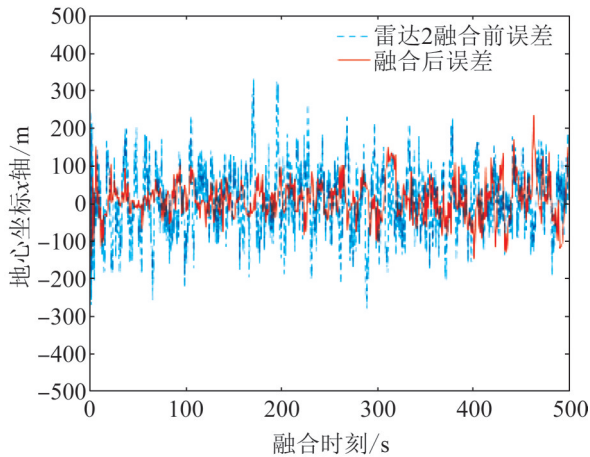


(b) 融合细节对比

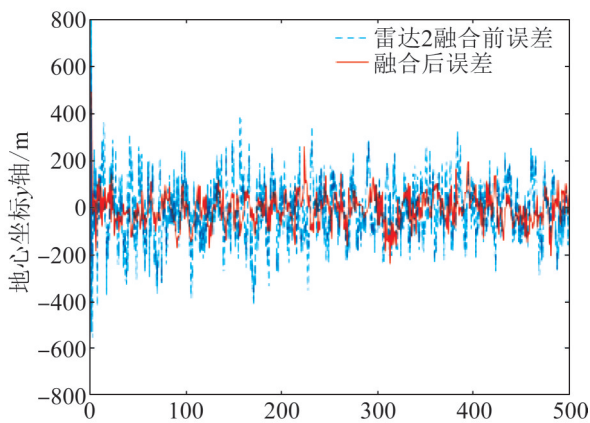
图14 航迹数据融合前后地心坐标对比

Fig. 14 Comparison of geocentric coordinates before and after track fusion

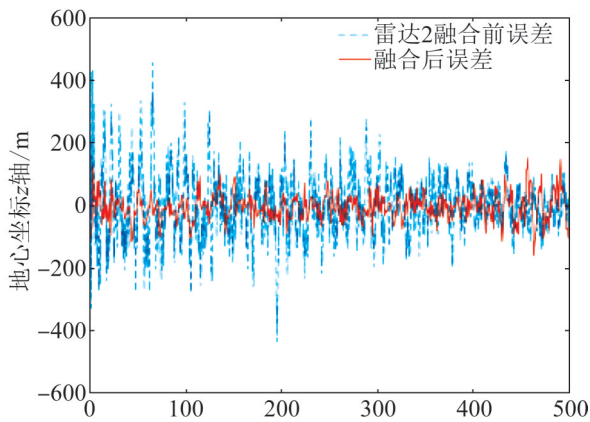
考察分别在无明显交叉目标的场景1和典型两目标交叉的场景2下采用不同的点迹关联算法的关联情况。记录关联结果, 如表3所示。从表中观察到在环境简单, 目标稀疏干扰少的场景1适合采用最近邻域法, 在保持关联正确率的同时处理速度较快; 在存在交叉航迹的场景2适合采用多维概率数据互联法, 能够保持较高的关联正确率。因此, 在不同的场景灵活选择不同组件算法能够较好地提高关联的精确度和速度。



(a) x方向误差



(b) y方向误差



(c) z方向误差

图 15 目标 2 雷达 2 各方向误差对比  
Fig. 15 Error comparison of radar 2 for target 2 in different directions

表 2 各雷达航迹与融合航迹距离、方位、俯仰均方根误差统计

Table 2 RMS error statistics of distance, azimuth and pitch between measured and fused radar tracks m

目标	误差			融合结果
	雷达 1	雷达 2	雷达 3	
目标 1	166.666	184.798	244.828	126.912
目标 2	142.052	178.603	261.395	122.734
目标 3	149.256	124.416	306.335	118.496

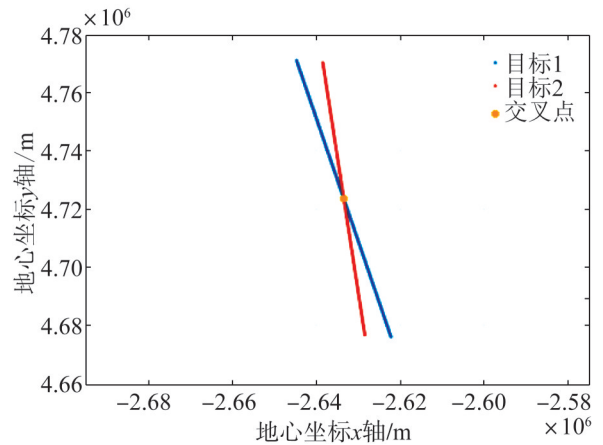


图 16 场景 2 真实航迹  
Fig. 16 Real track in scene 2

表 3 不同场景点迹关联算法效果对比

Table 3 Effect comparison of plot associational algorithms in different scenes

场景	采用算法	关联正确	关联时间/
		率/%	ms
场景 1	最近邻域法	100	625
	多维数据概率互联法	100	1 030
场景 2	最近邻域法	62	630
	多维数据概率互联法	90	1 046

## 5 结论

组网雷达数据融合处理技术为多学科交叉技术, 涉及多个领域, 有着广阔的发展前景。本文以组件化的形式实现点迹融合和航迹融合处理, 分别对应集中式和分布式融合结构, 研究成果主要包括融合过程组件化形式流程设计、各组件的原理阐述和系统的仿真验证。组件化设计使得每个组件之间相对独立, 可根据环境采取不同算法并单独进行优化完善和数据处理分析, 实现组件



的可重用性。组件的具体设计,包括组件总个数、数据流通过程以及每个组件的输入输出和实现功能有待依照实际情况灵活调整。数据融合处理技术包含广泛,若要运用于工程,算法选择、参数设置、具体流程设计以及不同模式雷达网的算法模板还需深入研究,下一步将结合实际雷达系统开展动态测试,进一步验证组件化设计的合理性与适应性。

## 参考文献

- [1] 赵锋,艾小锋,刘进,等.组网雷达系统建模与仿真[M].北京:电子工业出版社,2018.  
Zhao Feng, Ai Xiaofeng. Modeling and Simulation of Netted Radar System[M]. Beijing Electronic Industry Press, 2018.
- [2] 杨万海.多传感器数据融合及其应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.  
Yang Wanhai. Multi Sensor Data Fusion and its Application[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2004.
- [3] 郭冠斌,方青.雷达组网技术的现状与发展[J].雷达科学与技术,2005,4(3):193-197,202.  
Guo Guanbin, Fang Qing. Current Status and Development of Radar Netting Technique[J]. Radar Science and Technology, 2005, 4(3): 193-197, 202.
- [4] 陈志杰,饶彬,李永祯,等.雷达组网数据融合系统性能分析[J].系统仿真学报,2015,27(7):130-135.  
Chen Zhijie, Rao Bin, Li Yongzhen. Performance Analysis of Netted Radar Data Fusion Systems[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(7): 130-135.
- [5] 陈志杰,饶彬,李永祯,等.雷达组网数据融合系统仿真实现[J].系统仿真学报,2016,8(1):209-216.  
Chen Zhijie, Rao Bin, Li Yongzhen. Simulation Realization of Netted Radar Data Fusion Systems[J]. Journal of System Simulation, 2016, 8(1): 209-216.
- [6] 雒梅逸香.基于组网雷达数据融合的目标跟踪技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2018.  
Luo Meiyixiang. Study on Target Tracking Technology Based on Radar Network Data Fusion[D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [7] 寇伟.一种雷达数据处理仿真模型中分布式组网数据融合的实现方法[J].电子世界,2017(17):79.  
Kou Wei. A Realization Method of Distributed Network Data Fusion in Radar Data Processing Simulation Model [J]. Electronics World, 2017(17): 79.
- [8] 张晨.多雷达数据融合技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2018.  
Zhang Chen. Researches of Multi-radar Data Fusion Technology[D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [9] 鹿瑶.一种新的混合式数据融合方法及其在雷达组网中的应用[J].现代导航,2020(4):277-282.  
Lu Yao. Novel Hybrid Data Fusion Method and its Application in Application of Radar Networking[J]. Modern Navigation, 2020(4): 277-282.
- [10] 黄大丰,王志坚,高晓军,等.基于组件技术的雷达组网系统软件设计[J].信息化研究,2009(6):40-43.  
Huang Dafeng, Wang Zhijian, Gao Xiaojun, et al. Software Design of Radar Networking System based on Component Technology[J]. Informatization Research, 2009(6): 40-43.
- [11] 赵春艳.多雷达数据空间配准方法研究与软件实现[D].南京:南京信息工程大学,2017.  
Zhao Chunyan. The Research and Software Implementation of Multi-radar Data Space Registration Method[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2017.
- [12] 张昕,张博文,张玉萍.基于数据关联的多雷达点迹融合算法研究[J].计算机测量与控制,2019,27(8):207-211,216.  
Zhang Xin, Zhang Bowen, Zhang Yuping. Research on Multi-radar Point Track Fusion Algorithm Based on Data Association[J]. Computer Measurement & Control, 2019, 27(8): 207-211, 216.
- [13] 赵德功,夏永红,匡华星.逻辑法航迹起始算法性能研究[J].雷达与对抗,2016,36(1):18-23.  
Zhao De-gong, Xia Yong-hong, Kuang Hua-xing. Performance Analysis of Track Initiation Algorithm with Logic Method[J]. Radra & Ecm, 2016, 36(1): 18-23.
- [14] 何友.雷达数据处理及应用[M].3版.北京:电子工业出版社,2009.  
He You. Radar Data Processing and Application[M]. 3rd ed. Beijing: Electronic Industry Press, 2009.