

文章编号: 2095-4980(2022)02-0119-08

## 组网雷达融合处理模板设计与拓展

吴 静, 艾小锋, 徐志明, 赵 锋, 谢晓霞

(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:** 组网雷达数据融合处理具有场景广泛、算法多样、参数可控等特点。针对传统融合处理系统开发存在的开发周期长、系统设计复杂度高难题, 在融合处理组件化设计基础之上, 采用开放、可重构架构设计了组网融合处理通用模板。基于组件的低耦合性, 使得只需修改部分组件而非新建整个系统就能便捷地实现系统的自由拓展, 拓展内容包括新增组件算法和新增融合模板。相对于重构整个系统, 独立易懂的组件拓展操作降低了系统复杂度和对开发人员的能力要求。仿真实验实现了两类拓展, 结果表明设计切实可行, 提高了新算法集成效率, 增强了组网融合处理系统的场景适应能力。

**关键词:** 融合处理; 组件化; 模板; 仿真

中图分类号: TN95

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2021341

## Design and development of fusion processing template for netted radar

WU Jing, AI Xiaofeng, XU Zhiming, ZHAO Feng, XIE Xiaoxia

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

**Abstract:** Netted radar data fusion processing has the characteristics of wide application scenes, adopting diverse algorithms and using controllable parameters. Aiming at the problems of long development cycle and high system design complexity existing in the development of traditional fusion processing system, based on the component design of fusion processing, a general template of network fusion processing is designed by using open and reconfigurable architecture. Because of the low coupling of components, the system can be expanded easily only by modifying some components instead of building a whole system. The expanded contents include new component algorithms and new fusion templates. Compared with reconstructing the whole system, the independent and easy-to-understand component expansion operation reduces the complexity of the system and the ability requirements for developers. Simulation experiments have achieved two types of expansion. The results show that the design is feasible, improves the integration efficiency of the new algorithm, and enhances the scene adaptability of the networked fusion processing system.

**Keywords:** fusion processing; component; template; simulation

近年来, 软件系统设计复杂度越来越高, 基于组件的软件工程(Component Based Software Engineering, CBSE)成为降低系统复杂度、构造智能化系统的有效方法<sup>[1-3]</sup>。组件化设计在信息化项目、测控、数据监显等系统软件平台开发领域得到广泛应用<sup>[4-7]</sup>, 且一系列指标包括内聚性、耦合性、粒度和复杂性等被提出以度量组件设计的优劣<sup>[8-10]</sup>。CBSE凭借着高内聚、低耦合、可复用等特性成为软件开发主流技术, 对现代软件工程的发展起着重要作用<sup>[11]</sup>。

采用仿真平台评估雷达系统作战效能, 能够重复进行多次试验并节省各类资源, 通过改变雷达的部署和参数有效地找到最优方案<sup>[12-13]</sup>。随着组件化思想在软件系统设计方面的兴起, 雷达仿真领域也将组件化理念用于模型设计和软件仿真中。文献[14]对组件化雷达对抗仿真推演系统进行分析与设计, 并给出了运行实例。文献[15]提出了一种面向信号级雷达模型的“通用基础框架+功能组件”设计方法, 但没有实际验证具体体制雷达的

仿真情况。文献[16]设计并验证了一种基于C++语言的雷达系统建模与仿真方法，显示了组件化设计在雷达仿真系统中的可行性和潜在优势。

组网雷达数据融合处理基于集中式、分布式和混合式三类基本信息融合结构衍生出满足不同作战需求、适应特定场景的各类融合系统，且囊括跟踪滤波、点迹关联和航迹管理等多样化算法<sup>[17-19]</sup>。传统做法是针对不同的组网场景开发相应的组网融合处理系统，每套系统独立开发，要求设计人员要熟悉整个融合处理系统，导致系统开发难度大，周期长，集成效率低。目前，关于集成多种信息融合结构于一个融合系统的研究较少，如何构建一套能够适应不同场景的融合处理系统是亟待解决的难题<sup>[20-22]</sup>。本文对组网雷达数据融合处理进行组件化设计，在一个融合系统中，采用不同模板实现多种信息融合结构，包括点迹融合模板、航迹融合模板、混合式融合模板等。在验证了组件化设计融合模板的可行性后，基于组件化设计的低耦合性、可重用性，实现模板及组件的扩展，即通过简单的设计输入，能够自动生成新的符合要求的组件和模板以实现场景快速适应升级。本文提出的组件算法和通用模板拓展的思路实现了易操作模块化管理，验证了开发新的融合算法时，该拓展方法相较于传统系统开发的优势所在：修改组件而非新建系统。

### 1 组网雷达融合处理模板设计

#### 1.1 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合理划分为不同的组件，每个组件完成指定的功能，由组件的组合构成不同的融合模板，处理不同应用场景下的数据。其中，组件和模板为组件化设计思路的重要组成部分。组件内部可存在多种算法，通过外部参数进行选择性调用，从而实现算法组件级别的可重用与可扩展，组件算法库如图1所示；组件外部则采用统一的设计接口，进行点/航迹的传输和参数的设置。每个模板由组件有机构成，作为融合调用的直接接口。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，然后进行参数初始化设置和原始点/航迹输入，调用模板对数据进行融合处理，最后输出融合航迹，如图2所示，该流程为组件和模板拓展的基础。

| algorithms library |                   |                    |               |               |                |                 |                  |                                |               |     |                  |                          |                                 |                   |                              |                              |                         |                  |                  |                        |               |                               |                     |               |                  |                      |               |            |               |                   |               |                                |               |
|--------------------|-------------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------------------|---------------|-----|------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------|---------------|------------------|----------------------|---------------|------------|---------------|-------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| data preprocessing |                   |                    |               | track initial |                | dot association |                  | track filter                   |               |     | track management |                          |                                 | track correlation |                              | track fusion                 |                         | passive location | dot fusion       | two-dimensional fusion |               | ballistic prediction          |                     |               |                  |                      |               |            |               |                   |               |                                |               |
| validity check     | time registration | space registration | new algorithm | object method | logical method | new algorithm   | nearest neighbor | probabilistic data association | new algorithm | IMM | EKF              | $\alpha/\beta$ filtering | $\alpha/\beta/\gamma$ filtering | new algorithm     | centralized track management | distributed track management | hybrid track management | new algorithm    | nearest neighbor | double-threshold       | new algorithm | empirical weighted covariance | weighted covariance | new algorithm | equation solving | common perpendicular | new algorithm | clustering | new algorithm | empirical formula | new algorithm | elliptical orbit determination | new algorithm |

Fig.1 Component algorithm library  
图1 组件算法库

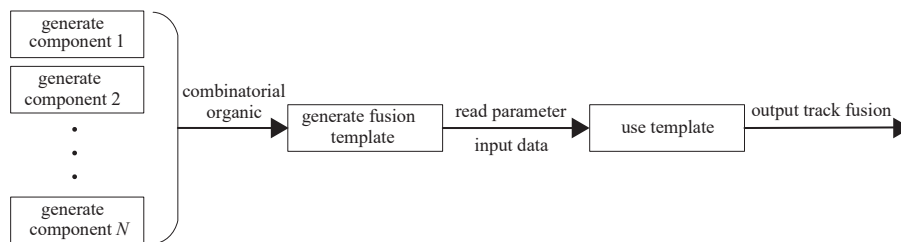


Fig.2 General process of data fusion  
图2 数据融合通用流程

#### 1.2 基础模板与拓展模板

组网雷达数据融合结构包含集中式、分布式和混合式，它们处理的数据分别为点迹、航迹和点/航迹<sup>[23]</sup>。对应信息融合结构分类，设计出点迹融合、航迹融合和点/航迹融合三类最基础的融合模板。点迹融合模板对应集中式融合结构，主要由数据预处理组件、点迹融合组件、点迹关联组件、航迹起始组件、航迹滤波组件和航迹管理组件构成，输入原始点迹数据，输出融合航迹。航迹融合模板对应分布式融合结构，主要由数据预处理组

件、航迹关联组件、航迹融合组件和航迹管理组件构成，输入初始跟踪航迹数据，输出融合航迹。点/航迹融合模板对应混合式融合结构，由点迹融合与航迹融合模板有机组合得到，输入点迹与航迹，输出融合航迹。三类基础模板如图 3 所示。

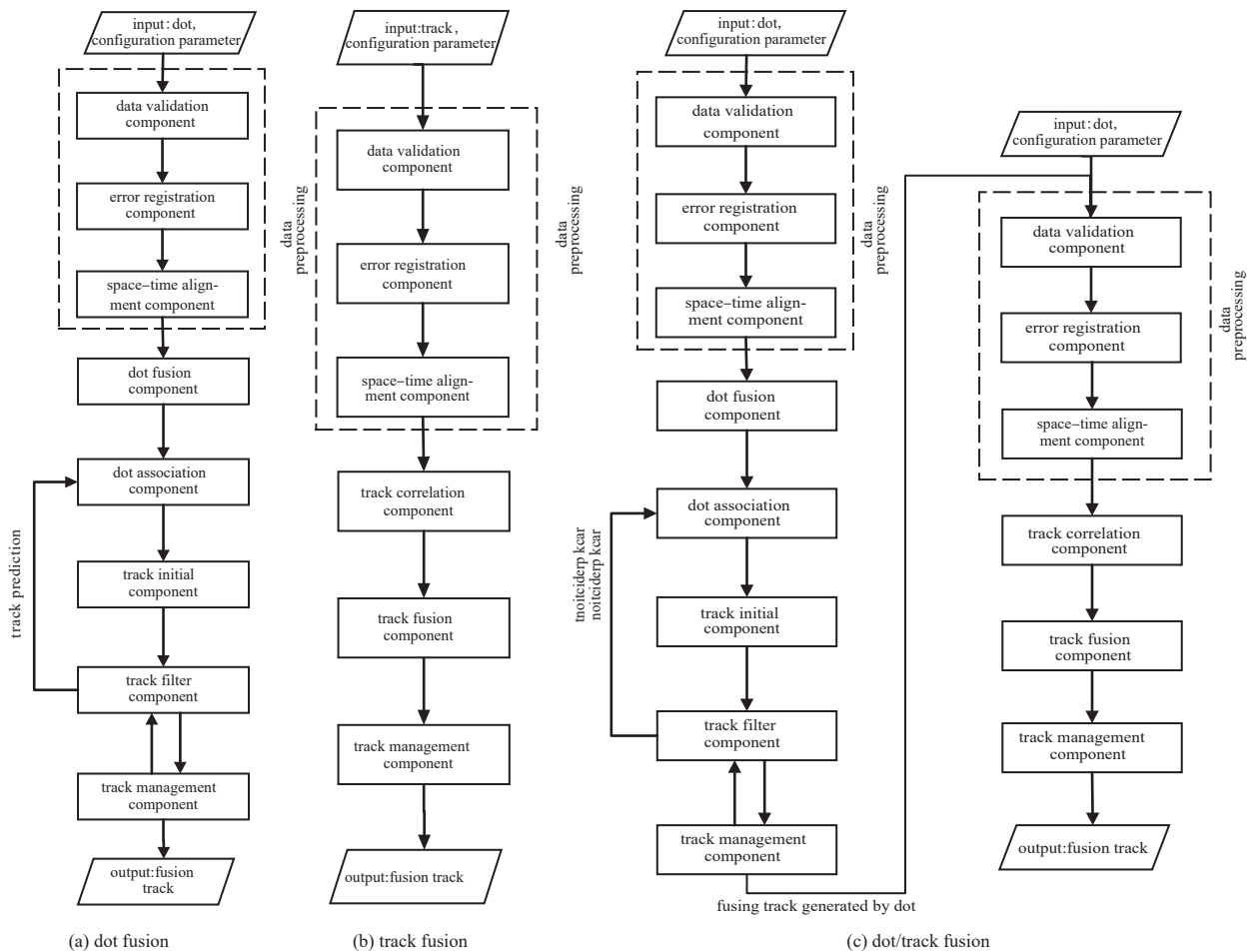


Fig.3 Basic fusion template

图3 基础融合模板

以上述三类融合模板为基础，拓展组件和模板可得到更具体细分的融合模板。按照跟踪目标的类型为飞机类和导弹类，分为防空和反导雷达网工作模式下的融合。防空雷达网工作模式下的融合模板与基础的三个模板基本相同，分别为防空雷达网工作模式下的点迹融合、航迹融合和点\航迹融合模板。而反导雷达网工作模式下的融合模板在基础的三个模板中均增加了弹道预测组件，以实现对着弹点的实时预测，分为反导雷达网工作模式下的点迹融合、航迹融合和点\航迹融合模板。通过增加新组件来拓展模板还能够设计无源测向定位融合模板和二维航迹融合模板等。基础模板和拓展模板能够增强系统的环境适应性，如表 1 所示。

按照组件化的设计思路，组网雷达融合处理模板由多个组件组合得到，因此可通过新增组件和组件内算法设计新的融合模板以满足多样化的融合需求，具有可拓展性，以下分别阐述组件和模板扩展的基本思想方法和设计实例。

## 2 组网雷达融合处理组件算法拓展

### 2.1 拓展流程

由于传统融合系统将融合处理过程视为一个整体，若要使用新的算法，则需要新建系统，重新编写整体的融合算法。而在组件化设计的系统中，每个组件都完成融合过程中的部分功能，新增算法意味着只需在某个实现该算法功能的对应组件中加入该算法，并通过修改相关参数使其能够调用和选择，从而有效地参与数据的融合处理过程。如图 4 所示，组件外部接口不变，新增算法相当于在相关组件中增加一种算法，通过参数选择使用的算法

种类。该思想是在已有系统基础上新增算法，称之为组件算法的拓展，算法拓展主要遵循如下拓展流程。

表1 场景-模板对照表

| scene type                           |           | template  |
|--------------------------------------|-----------|---|
| target type                          | data type |   |
| plane                                | dot       | air defense dot fusion template                 |
|                                      | track     | air defense track fusion template               |
|                                      | dot/track | air defense dot/track fusion template           |
| missile                              | dot       | anti-missile dot fusion template                |
|                                      | track     | anti-missile track fusion template              |
|                                      | dot/track | anti-missile dot/track fusion template          |
| dot containing azimuth and elevation |           | passive location fusion template                |
| dot containing azimuth and range     |           | two-dimensional fusion template                 |
| false target deception jamming track |           | track fusion template based on double threshold |

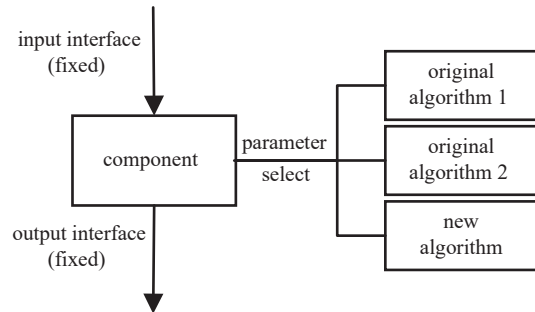


Fig.4 Algorithm expanding  
图4 算法拓展示意图

### 1) 接口适配

每个组件的输入和输出接口是固定的，组件和组件通过接口相连，按照一定的逻辑顺序共同组合成不同的模板，如图3所示。因此，若要在组件中拓展新算法，则需要先保证算法的输入和输出为组件指定的输入和输出。该步骤为算法编写前的准备工作，为了保持接口适配有时会对算法主体设计内容进行部分修改。

### 2) 算法编写

算法一般实现融合过程中的某部分的功能，编写新算法即使用新的方法实现该功能。因此，指定输入和输出后，只需编写该部分的算法，而无需重复编写其他部分。即使编写人员不清楚其他组件原理，也能完成该算法的编写，体现了组件化设计下组件算法拓展的便捷性。

### 3) 参数选择

一个组件中可能存在多种可用算法，需要通过参数选择当前的融合模板使用该组件的何种算法。算法编写完成后，通过参数选择使新算法和原有算法一样能够被调用并参与融合。

## 2.2 实例说明

以航迹融合组件为例，说明组件算法拓展的便捷性和实用性。在分布式融合中，航迹融合组件将关联成功的航迹对按一定的算法进行融合，得到精度更高的融合航迹。其中，适用于工程的航迹融合算法包括经验加权法和简单协方差加权法等。比较两种算法，经验加权法较为简单，不需要协方差等信息，计算量小，适用于目标数量多而雷达探测精确度均较优的情况；而简单协方差加权法考虑了各航迹的滤波协方差，融合精度较高，适用于雷达探测精度一般而期望提高融合精度的情况。

若航迹融合组件原有算法为经验加权法，现考虑加入新算法简单协方差加权法，算法拓展步骤如下：

1) 接口适配：参考图3(b)，确定新算法的接口，输入接口为航迹关联组件输出的关联成功航迹对，输出接口为融合航迹。

2) 算法编写：按照原理公式编写简单协方差加权法。

3) 参数选择：新建算法选择参数，为不同值时调用不同的航迹融合算法，每次调用时人为赋值选择航迹融合算法类型。

若融合系统原融合算法为经验法，而想要采用简单协方差加权法时，传统做法开发周期长，且增加了整体融合的复杂度。由组件算法的拓展流程可知，组件算法的拓展使得航迹融合组件中可包含多种融合算法，且按照基本拓展流程通过局部组件开发能够快速添加新算法，而不需要改变其他组件部分，极大程度地降低了系统的复杂度。

## 3 组网雷达融合处理模板拓展

### 3.1 拓展流程

为了增强系统的包容性，使其能够适应更多类型数据的融合，需要新增融合模板。在组件化设计的系统中，可在已有基础模板上有机结合新的组件生成新模板，而不用重新建立模板，编写模板中的每个处理步骤。如图5所示，确定新组件的接口，将新组件和已有组件结合，即产生了新模板。该思想是在已有基础模板上新增组件，称之为组件模板的拓展，模板拓展主要遵循如下拓展流程。

#### 1) 接口适配

新建模板需要合理地组合已有模板和新组件，一般是将新组件插入原有模板的两个组件中。为了使新的模

板能够得出正确的融合结果，需要先确定新组件的输入和输出接口的数据类型，使得数据从模板输入经过模板中每个组件的处理传输最终输出融合航迹。

2) 新建组件

基础模板结合新组件后成为新的融合模板，能够满足特定需求的融合。确定了接口后，需要编写新组件，实现原有组件未实现的新功能。

3) 参数配置

新组件编写完成后，还需要配置新组件中算法所需的参数，合适的参数才能使新模板有效地运行。

3.2 实例说明

以无源探测融合模板为例，说明模板拓展的适应性和有效性。无源探测融合是在基础融合类型之外的一种融合模式，考虑在现有系统中通过拓展模板的方式添加该模板。只包含俯仰角和方位角量测的无源雷达探测数据由于缺失斜距信息无法作为原始量测点迹直接进行点迹融合。通常方法是先添加一无源测向融合组件，通过算法估计出目标的斜距值，再将数据传入已有的点迹融合模板进行融合，如图 6 所示，具体拓展方法如下：

- 1) 接口适配：无源测向融合组件的输入接口为只包含俯仰角和方位角信息的二维探测点迹数据，输出接口为包含斜距在内的三维探测点迹数据。
- 2) 新建组件：编写组件算法，实现目标的斜距值预测功能。
- 3) 参数配置：配置无源测向融合组件中的算法所需的参数值，其中，参数值有雷达数量和角度判断门限。

模板拓展只需要新建符合需求的组件，组合新组件和已有组件即可生成新模板，而不需要重新编写能够处理无源数据的融合模板程序。模板的拓展证明了组件化的组网雷达数据融合系统不仅局限于现有模板和组件，而且能够通过算法转化，建立新组件从而拓展新模板，系统具有按需增删模板的动态性与对算法和融合模板的包容性。

4 组网雷达融合处理模板仿真验证

4.1 融合处理模板管理实现

由于组件和模板的拓展都存在一定的程序化步骤，在管理软件中通过固定的步骤实现组件和模板的拓展，管理模板。其中，由第 2、3 节描述可得，拓展组件算法步骤主要为端口适配，新建组件算法，然后通过参数选择进行调用；拓展模板步骤主要为设计组件组合模式，确定新组件的接口，新建组件，然后配置相关的参数使得新模板能够有效融合。新的组件算法和模板都可纳入组件算法库和模板库。拓展流程如图 7 所示，可观察到拓展的步骤不受组件和模板内容的影响，可作为通用的拓展方法。

从多方面比较传统方法和组件化设计方法的特点，如表 2 所示。从表中可知，相对于传统方法，组件化设计方法分组件实现融合处理，能够降低融合各过程的耦合度，从而在系统的设计简易性、使用便捷性和维护有效性上都有着较明显的优势<sup>[24-25]</sup>。

4.2 组件算法拓展验证

航迹融合组件中原有经验加权融合算法，用拓展组件算法步骤增加简单协方差加权融合算法，现通过仿真对比两种算法的融合效果，验证组件算法拓展的有效性。设计三部雷达一个目标战情，目标做匀速直线运动，速度为 350 m/s，雷达布站信息如表 3 和图 8 所示。采用防空航迹融合模板对雷达探测的航迹进行融合，

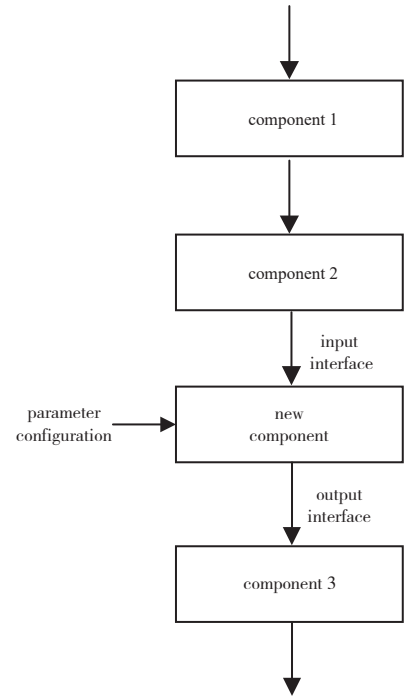


Fig.5 Template expanding  
图 5 模板拓展示意图

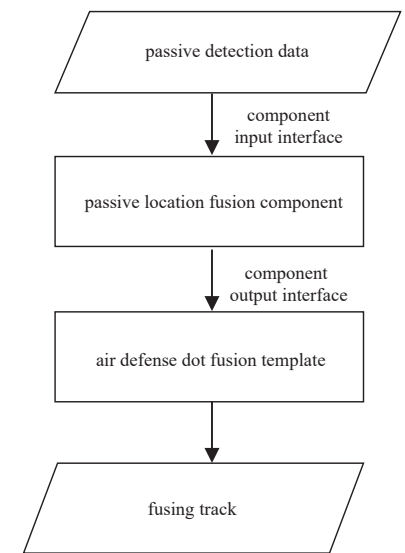


Fig.6 Passive fusion template  
图 6 无源融合模板

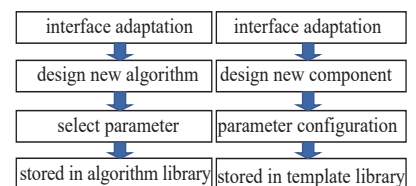


Fig.7 Expansion process of component and template  
图 7 组件与模板拓展流程

得到两种航迹融合算法处理的融合航迹，对比融合误差，分析融合精确度。

表2 传统方法和组件化设计方法对比表

Table2 Comparison table between traditional method and component design method

|                                      | traditional method                           | component design method                                       |
|--------------------------------------|--|---|
| design process                       | design system                                | write a new algorithm/ component based on the existing system |
| design cycle                         | long   | short   |
| coupling degree                      | high   | low   |
| technical requirements for designers | need to understand the whole system          | need to understand the new algorithm/component                |
| use                                  | high,one algorithm corresponds to one system | low,any algorithm integrated into a system                    |
| ease of operation                    | replace the system to switching algorithm    | select the parameter to switch algorithm/template             |
| debug                                | error finding                                | find in component, quickly locate the wrong location          |



Fig.8 Three radars and one track battle situation

图8 三雷达一航迹战情

统计雷达稳定跟踪阶段(50~500 s)的雷达跟踪航迹误差和融合航迹误差，如表4所示。在融合精确度上，两种航迹融合算法都在一定程度上提高了航迹的精确度；在运算速度上，经验加权法累计处理时间为80 ms，简单协方差处理时间为448 ms。总体来说，简单协方差加权法误差更小，融合后航迹精确度更高，而经验加权法的处理速度更快。简单协方差加权法通过组件的算法拓展生成，同样能够有效地参与融合过程，且两种算法通过参数选择可灵活便捷地运用于不同的场景。

表3 雷达布站位置

Table3 Radar deployment position

| geographical position | longitude/(°) | latitude/(°) | height/m |
|-----------------------|---------------|--------------|----------|
| radar1                | 114.064 3     | 34.015 4     | 0        |
| radar2                | 113.945 5     | 36.5463      | 0        |
| radar3                | 112.759 0     | 35.197 3     | 0        |

表4 融合前后均方根误差统计

Table4 RMS error statistics before and after fusion

| error/m | radar 1 | radar 2 | radar 3 | empirical weighted | covariance weighted |
|---------|---------|---------|---------|--------------------|---------------------|
|         | 73.02   | 60.82   | 106.72  | 53.02              | 46.11               |

### 4.3 模板拓展验证

在已存在基础融合模板的组网雷达融合处理系统中，按照拓展模板步骤拓展一个无源测向融合模板，将其应用于仿真场景，验证拓展得到的模板能够有效地处理二维探测数据。设计三部雷达一个目标战情，目标做匀速直线运动，运动速度为200 m/s，雷达布站信息同4.2节。采用无源测向融合模板对雷达二维探测数据进行融合，得到融合航迹，对比真实航迹，分析融合结果。

融合航迹与真实航迹对比如图9所示。由图观察到通过二维的角度信息得到了目的三维信息，且融合后的航迹与真实航迹相近，融合精度达到警戒引导需求。采用模板拓展的方法，不改动大部分的组件，主要工作内容为新建一个算法组件，耗费的时间极大地缩短。因而得出结论：在融合系统中，通过程式化的拓展步骤，拓展模板能够基于已有基础模板，有效地处理二维探测数据，得到具有一定融合精确度的三维航迹，并保持较短的研发周期。

此外，仿真验证中设计了多种组网场景，调用了不同的融合模板处理，这些模板均能有效地对原始点迹或航迹数据进行融合处理，且融合处理结果均满足各个场景的应用需求，限于篇幅，此处不再赘述。

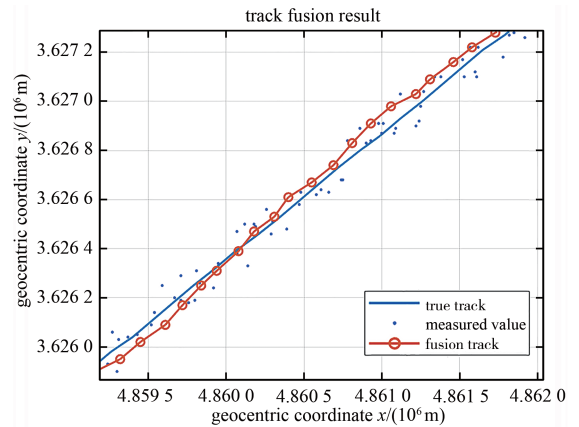


Fig.9 Track comparison before and after fusion

图9 融合前后航迹对比

## 5 结论

组件化设计思想为组网雷达融合处理系统设计与开发开辟了新的思路，一方面，在同一个融合系统中可通过组件设计不同的模板实现多种结构的数据融合，具有通用性和统一性；另一方面，同一个组件中可存在多种算法，适应多变的环境和融合需求，具有灵活性和多变性。本文基于组件化理念，设计并验证了组件算法和模板的自动化拓展方法，在多样化的场景中，均有适合的模板能够较好地完成融合任务。组件为融合处理过程最小单位，模板为融合处理完整个体，不仅有利于对现有组件和模板进行管理，降低系统复杂度，更为组件和模板的自动化拓展提供了可能。下一步将与实际雷达系统结合，验证不同融合处理模板的真实场景适应能力。

### 参考文献：

- [1] 伍光胜,郑明辉,黄远铮. COM\_DCOM技术的分析及应用[J]. 计算机应用研究, 2001(9):64-67. (WU Guangsheng,ZHENG Minghui,HUANG Yuanzheng. The analysis and application of COM/DCOM technique[J]. Application Research of Computers, 2001(9):64-67.)
- [2] 周捷,高沈钢. 基于组件的应用系统构造方法研究[J]. 探索与观察, 2017(14):75. (ZHOU Jie,GAO Shengang. Application system construction method research based on component[J]. Exploration and Observation, 2017(14):75.)
- [3] HASSAN Mathkour,AMEUR Tourir,HIND Hakami. On the transformation of Object Oriented-based Systems to Component-based Systems[C]// IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems. Bali,Indonesia: IEEE, 2008:11-15.
- [4] 薛彦宇,刘洪太. 基于智能组件的信息化开发框架设计方法[J]. 信息技术与信息化, 2019(8):18-20. (XUE Yanyu,LIU Hongtai. Informatization development framework design method based on intelligent components[J]. Information Technology and Informatization, 2019(8):18-20.)
- [5] 赵海源,王丽芳,蒋泽军. 基于组件化思想的测控软件开发平台设计与实现[J]. 电子设计工程, 2013,21(8):80-83. (ZHAO Haiyuan,WANG Lifang,JIANG Zejun. Design and implementation of general development platform for measurement and control software based on componentization of ideas[J]. Electronic Design Engineering, 2013,21(8):80-83.)
- [6] 王毅,赵俊翔,封慧英. 组件化数据监显软件设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2017,25(11):103-106. (WANG Yi,ZHAO Junxiang,FENG Huiying. Design and implementation of component data monitoring software[J]. Computer Measurement & Control, 2017,25(11):103-106.)
- [7] 刘晓铖,陈彬,邱晓刚. 一种构建仿真系统模型体系框架的工程方法[J]. 系统仿真学报, 2018,30(12):4529-4535. (LIU Xiaocheng,CHEN Bin,QIU Xiaogang. A practical approach for building the model family's framework of a simulation system[J]. Journal of System Simulation, 2018,30(12):4529-4535.)
- [8] CHEN Jianguo,YEAK W K,BRUDA S D. A review of component coupling metrics for component-based development[C]// World Congress on Software Engineering. Xiamen,China:IEEE, 2009:65-69.
- [9] KANG D,XU B,LU J,et al. A complexity measure for ontology based on UML[C]// IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems. Suzhou,China:IEEE, 2004:222-228.
- [10] IVICA Crnkovic,JUDITH Stafford,CLEMENS Szyperski. Software components beyond programming:from routines to services[J]. IEEE Software, 2011,28(3):22-26.
- [11] DUGUE Guillaume,MOHAMED Oulmahdi. Design principles of a service-oriented and component-based autonomic transport

- layer[C]// 2014 IEEE 23rd International WETICE Conference. Parma,Italy: IEEE, 2014:104–106.
- [12] 李文臣,李宏,李文学. 组网雷达干扰压制距离试验评估方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2020,18(3):385–390. (LI Wenchen,LI Hong,LI Wenxue. Test and evaluation method of netted radar blanket jamming distance[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2020,18(3):385–390.)
- [13] 陈彬,童创明,李西敏. 基于检测概率的雷达组网反隐身建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2017,29(12):3100–3106. (CHEN Bin, TONG Chuangming,LI Ximin. Modeling and simulation of radar networking anti-stealth based on the detection probability[J]. Journal of System Simulation, 2017,29(12):3100–3106.)
- [14] 郭金良,李晓燕. 雷达对抗仿真推演系统的组件化设计与实现[J]. 火力与指挥控制, 2015,40(1):126–130. (GUO Jinliang,LI Xiaoyan. Design and realization of component-based radar counter simulation deduction system[J]. Fire Control & Command Control, 2015,40(1):126–130.)
- [15] 安红,张雁平,杨莉. 基于组件的信号级雷达模型可重构设计[J]. 电子信息对抗技术, 2020,35(4):57–61. (AN Hong,ZHANG Yanping,YANG Li. Reconfigurable design of signal level radar model based on component[J]. Electronic Information Warfare Technology, 2020,35(4):57–61.)
- [16] 张晓东,李想. 基于 C++ 语言的雷达系统组件化建模与仿真[J]. 计算机测量与控制, 2020,28(11):187–191. (ZHANG Xiaodong,LI Xiang. Component modeling and simulation of radar system based on C++ language[J]. Computer Measurement & Control, 2020,28(11):187–191.)
- [17] 李爽爽,王志诚,肖金国. 基于特征辅助的灰色航迹关联方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018,16(6):1022–1026. (LI Shuangshuang, WANG Zhicheng, XIAO Jinguo. Grey track correlation method based on feature assistance[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(6):1022–1026.)
- [18] 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,China:Xidian University, 2018.)
- [19] 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,LIU jin,et al. Modeling and simulation of netted radar system[M]. Beijing:Electronic Industry Press, 2018.)
- [20] 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.)
- [21] 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,et al. Simulation realization of netted radar data fusion systems[J]. Journal of System Simulation, 2016,8(1): 209–216.)
- [22] 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,et al. Performance analysis of netted radar data fusion systems[J]. Journal of System Simulation, 2015,27(7): 130–135.)
- [23] 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.)
- [24] BAR-SHALOM Y, BLAIR W D. Multitarget-multisensor tracking applications and advances(Vol III)[M]. Norwood,MA,USA: Artech House, 2000.
- [25] HALL D L. Mathematical techniques in multisensor data fusion[M]. Norwood,MA:Artech House, 1992.

#### 作者简介:

吴 静(1998–), 女, 硕士, 主要研究方向为组网雷达数据融合处理.e-mail:763999965@qq.com.

艾小锋(1983–), 男, 副研究员, 博士, 主要研究方向为双基地雷达成像、特征提取.

徐志明(1995–), 男, 博士研究生, 主要研究方向为双基地雷达目标特性与特征提取.

赵 锋(1978–), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为电子信息系统仿真建模评估.

谢晓霞(1974–), 女, 教授, 主要研究方向为电子信息系统仿真评估技术.