

# 防空 C<sup>3</sup>I 多传感器数据融合仿真系统设计

王建斌 陈瑞源

中国航天机电集团公司二院二部 北京 100854

**摘 要** 根据防空武器系统数据融合的特点,构造数据融合仿真系统研究平台,进行仿真系统软硬件设计,并在仿真平台基础上,提出了数据融合评估的数学模型,给出了评价准则,从而赋予数据融合仿真系统研究平台以灵魂。

**主题词** C<sup>3</sup>I 系统 数据处理 传感器 模拟

**中图分类号** TP182

## Design for Air Defense C<sup>3</sup>I Multisensor Data Fusion Simulation System

Wang Jianbin Chen Ruiyuan

The Second System Design Department of the Second Research Academy, CAMEC, Beijing 100854

**Abstract** According to the air defense weapon system characteristics, we set up a data fusion simulation system, which includes hardware and software, and give the evaluation mathematic model and evaluation rules. So it makes simulation platform have practical value.

**Keywords** C<sup>3</sup>I system Data processing Sensor Simulation

## 1 引言

现代战争以多兵种合成的空地海一体作战的形式出现,目标的机动性能和杀伤力越来越强,战争环境复杂多变,对信息融合的反应时间、处理速度、预测能力及问题的综合能力要求越来越高,因而对作为 C<sup>3</sup>I 重要支撑技术之一的信息融合技术的研究就显得日益重要。

防空导弹武器系统 C<sup>3</sup>I 数据融合技术研究的目的是为了充分利用各种传感器信息资源,提供更精确可靠的目标信息,从而为指挥员决策提供强大的信息支持,极大地提高武器系统的协同作战效能。然而,影响防空导弹武器系统数据融合效果的因素很多,而且每种因素还存在多种状态,因此仅靠武器系统研制人员进行定性评估是远远不够的,必须寻找一种有效的方法进行定量评估。随着计算机技术和仿真建模技术的发展,使定量研究成为可能,这就是仿真。

仿真可分为纯数学仿真和半实物仿真,也可分为体系级仿真、系统级仿真和分系统级仿真,用于防空导弹武器系统数据融合算法研究和评价的仿真特指系统级仿真和半实物仿真。仿真研究可分为两个方面:第一,仿真手段的建立,包括软硬件环境的建立,它是仿真的基础;第二,仿真试验研究,为防空导弹武器系统数据融合模型和算法研究提供可信

的评估结果。

仿真手段建立的关键主要在如下 4 个方面:(1)仿真专用模型与软件的开发。要使仿真系统逼真可信,数据融合模型的建模与校模是关键,尤其是系统级数据融合模型的开发更是当务之急,而且仅靠计算机专业人员开发还不够,必须有系统人员参加才行;(2)开发环境和仿真支持环境的建立,包括用于开发专用软件的开发环境和支撑仿真的环境,好的支撑环境可以减轻软件开发人员的劳动并加快专用软件的开发速度,也可以更有效地支撑仿真运行和实现更多的仿真功能;(3)实现人在回路和硬件在回路。正因为防空导弹武器系统数据融合仿真存在许多人的决策且是一种离散时间仿真,人在回路和硬件在回路变得非常重要。但要实现这一点,需要仿真系统软硬件的支撑,这并非一件容易的事情;(4)目标数据库和算法模型库的不断丰富。这是一项极其重要而又非常艰巨的工作,需要花费大量的时间和人力,但它是仿真的前提条件。

## 2 数据融合仿真系统总体设计

随着 C<sup>3</sup>I 系统和雷达网技术的发展和需求,人们研究出许多武器系统融合系统设计和算法,包括仿真系统。但是把融合系统综合成一个完整的指挥、控制和通讯一体化的、工程上可用的系统,是需要探讨和实现的研究课题。仿

真系统设计包括如下内容。

(1) 自适应融合模型 首先研究在干扰环境下的自适应数据融合模型。例如,部分传感器受干扰工作不正常或者发生故障。

(2) 结构研究 构造探测、融合、跟踪以及传感器控制和管理一体化的模式。从信息流观点看,它是一个互联式的完整的信息处理系统。在本系统中融合关键在于传感器控制和管理,融合的效益也反映在传感器控制和管理上。

(3) 在数据融合指标设计中,折中考虑最优、快速、鲁棒三项指标的平衡。这里快速特性指的是要求数据融合算法从任意状态误差以最短的时间(或较短的时间)进入给定的区域,鲁棒特性指的是允许系统对噪声分布模式作比较“宽松”的假设,从而提高系统抗干扰能力。为此,在快速、鲁棒、最优三者之间,寻找满足折中关系的变结构跟踪滤波器是设计融合算法的基本思想。

(4) 在融合算法上开发神经网络数据融合技术,主要包括波束控制(包括波束指向、波束形状、驻留时间等)、变采样率控制、检测门限的自动调节、自适应相关处理、变采样自适应跟踪等。

(5) 在仿真实验中要突出真实性和实用性。

该仿真系统由两台互为备份的数据融合处理中心、一个标准航迹生成器、若干个多类传感器目标模拟器、4个显控台以及网络设备组成。互联结构<sup>[1]</sup>如图1所示。

硬件配置如下:

(a) 数据处理中心两台,互为备份

主机:Alpha station 200 4/266

CPU Alpha21064 内存 64MB

显示器 21英寸(1280×1024)

(b) 传感器(数据模拟器)6台

高档微机 主机 CPU PIII

网络控制器 NE2000 网卡

(c) 标准航迹生成器一台

高档微机 主机 CPU PIII

网络控制器 NE2000 网卡

(d) 作战指挥控制显控台、综合空情处理显控台、融合综合处理显控台和多传感器管理显控台各一台

高档微机 主机 CPU PIII

网络控制器 NE2000 网卡

显示器 4个显控台均采用双频卡控制的两个显示器,一个15英寸的显示器,一个21英寸的大屏幕显示器。

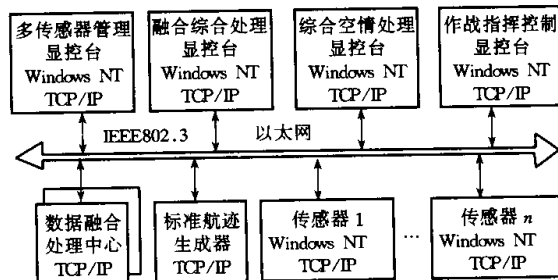


图1 数据融合互联结构

数据融合仿真系统的工作流程设计如下:首先由标准航迹生成器产生标准航迹,存入数据库;其次,在作战指挥控制显控台的指示下,由目标模拟器(传感器)根据数据库中标准航迹数据和本传感器性能参数产生目标数据,通过网络传到数据处理中心,经过数据预处理、目标相关处理和位置融合、类型和属性融合等数据融合处理,传到各显控台进行显示,并实现对传感器管理以及融合性能仿真评估。图2给出了数据融合仿真系统功能框图。

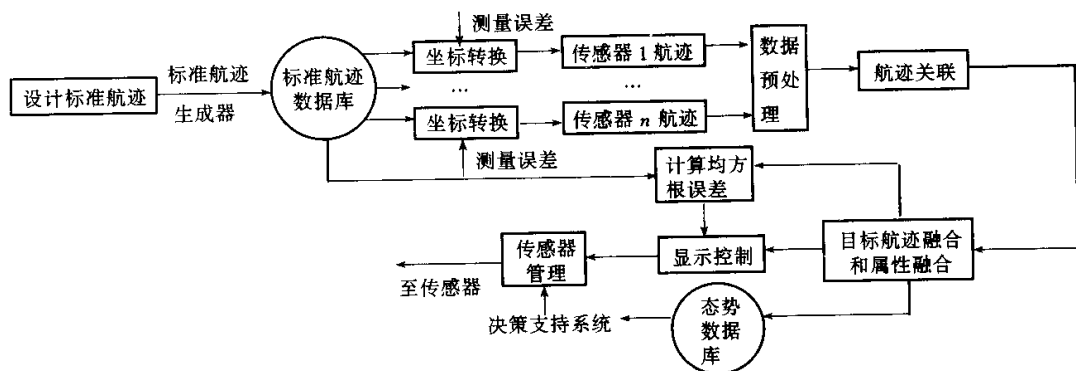


图2 数据融合仿真系统功能框图

### 3 多传感器数据融合仿真系统软件设计

本仿真系统建立在中文 Windows NT 软件平台上,以保证良好的用户界面,使用方便、直观,并能够快速获得仿真结

果。

### 3.1 数据融合仿真系统软件组成

数据融合仿真系统由如下软件组成 (a) 标准航迹生成软件 (b) 传感器目标模拟器软件和界面设置软件 (c) 数据融合处理中心软件, 包括雷达信息处理软件、数据融合软件、多传感器管理软件以及数据融合仿真评价软件 (d) 数据融合显控台、综合空情处理显控台和作战显控台软件 (e) 多传感器管理显控台软件 (f) 网络通信和管理软件 (g) 数据库系统软件。

### 3.2 数据融合处理中心软件组成

按照设计要求, 在中心数据处理计算机上运行的软件分解为系统管理软件、雷达信息处理软件、数据融合软件、多传感器管理软件、数据融合仿真评价软件、网络通信软件以及数据库访问接口软件 7 大部分。

系统管理软件主要进行其它各模块的调度和资源管理。由总控模块、时钟同步模块、数据实时记录模块和实时监测模块等主要模块组成。

雷达信息处理软件主要完成目标数据自动采集、数据预处理和目标航迹同一性认定以及统一航迹编号等。

数据融合软件主要进行数据融合计算, 由数据融合控制模块、算法选择界面模块、数据融合算法模块等主要模块组成。

多传感器管理软件主要进行传感器选择和控制管理计算。

数据融合仿真评价软件主要根据标准航迹与融合航迹进行多传感器数据融合算法的评价。

网络通信软件主要用于数据融合处理中心与其它计算机的通信<sup>[3]</sup>。

数据库访问接口软件主要是完成对数据库的各种操作, 包括数据库读取、写入和修改等。

### 3.3 数据融合处理软件设计

对目标信息的数据融合能够完成同一性认定、位置融合、类型和属性融合, 可以进行各种算法之间的对比和评价, 其算法采用文献[2]的数据融合模型和算法以及其它一些经典算法。

在数据融合算法软件实现中, 采用开放式研制方式。首先建立基本融合算法仿真框架, 然后在此基础上可以不断扩充, 以建立各种算法的模块库。各算法在结构上是相互独立的, 但可以通过共享数据库交换信息。这些算法中包括: 加权最小二乘估计算法、卡尔曼滤波算法、D-S 融合算法、贝叶斯估计算法、类聚分析法、自适应神经-模糊融合算法、熵法以及人工智能法等。

在进行数据融合时, 先进行目标航迹配对和同一性认定处理, 然后进行目标类型融合、属性融合和位置融合以及综合航迹的威胁度计算。

### 3.4 数据融合仿真系统网络时间同步系统设计

在数据融合仿真系统中, 系统时间同步是进行时间对准的基础, 我们采用 Windows NT 系统时钟来完成局域网上所有计算机的时间同步。

软件由两部分组成: 一个是 NCS (Network Clock Synchronization) 本身的时间同步软件, 另一个是系统控制面板上扩充的设置程序。

NCS 服务器能够处于两种工作方式: 一是时间标尺方式, 一是时间接收方式。在时间标尺方式下, NCS 能够以广播方式周期性地给出有关时区和本地时间信息; 在时间接收方式下, NCS 等待时间标尺信息的到达并在必要时校准本地时区和时间。根据 NCS 服务设置的判断逻辑自动实现转换或另一种工作方式。此时, 局域网中总有不超过一个的 NCS 服务处于时间标尺方式。

有 3 种方式实现 NCS 服务的设置: 服务器、自动和客户。服务器和自动方式下的 NCS 服务既可以工作于时间标尺方式, 也可以工作于时间接收方式, 但在服务器方式下 NCS 服务提供的时间标尺工作方式的优先级高于自动方式, 客户方式下的 NCS 服务只能工作在时间接收方式。

### 3.5 数据融合仿真系统显控台软件设计

显控系统是指数据融合仿真系统中所必需的关键设备, 它的主要功能是对全系统的系统工作状态和性能进行实时显示、监测和人工干预控制; 实时记录数据; 现场进行数据的分析和处理; 为系统集成提供调试和系统评估所需要的数据。显控系统是指挥员和数据融合中心操作人员掌握系统工作情况, 进行系统功能设置和指挥控制的主要工具, 同时也是仿真系统的主要评估手段, 对仿真试验过程的显示和数据处理起着重要作用。

数据融合仿真试验台主显控台软件的主要构成见图 3。

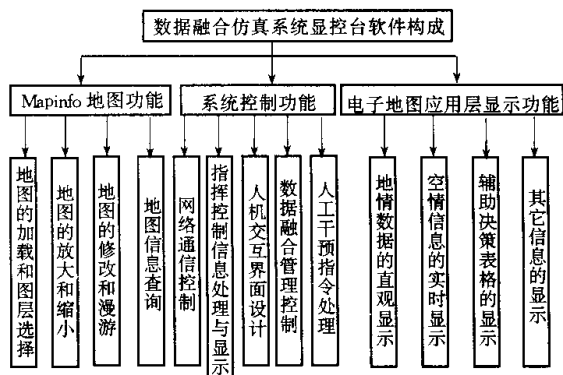


图3 数据融合仿真试验显控台软件结构图

显控台 MapInfo 的地图<sup>[4]</sup>可以实现如下功能。

#### (1) 基础地理信息的显示

利用 MapInfo 的地图功能, 将雷达布阵地区的行政区域在数据融合仿真试验显控系统中表现出来, 并做成可无极放大、无极缩小、漫游、添加、修改的矢量地图。其中各乡镇以不同的颜色区分; 飞机场、公路、桥梁、河道、铁路等均可在图上方便细致地查到; 当整个区域图形显示在视窗上时, 视窗仅可见到较少重要信息, 使图形比较清晰、干净; 逐渐放大时, 图形的信息逐步增多; 将鼠标放置在图中的某些部位片

刻,还会自动出现更详细的信息,譬如被保卫要地的名称、所属乡镇、经纬度、面积等。

### (2) 地情信息的显示

多传感器布阵区中各个传感器的高程、站号、站址、来袭方向等以图层的方式叠加到基础地理信息层上。各雷达站的搜索区、杀伤区远界、杀伤区近界等信息也在电子地图上予以表示。

### (3) 空情信息的动态显示

在数据融合仿真试验的过程中,将飞行目标以动态图层的方式显示在 GIS 的应用层上。在仿真试验过程中,可根据需要在该动态图层上显示出飞行目标的两条完整航迹和误差信息,一条是根据多站信息经多站数据融合算法处理后生成的目标航迹,另一条是由标准航迹数据库产生的精确的基准航迹。这样,就能在仿真试验进行当中,直观地了解融合算法模型的实际效果。

### (4) 目标的表格显示功能

目标指示信息表包含各传感器的目标数据信息,包括目标属性、类型、位置坐标等。指挥员依据目标数据信息表,通过传感器管理显控台进行传感器管理操作控制,实现对各传感器的管理控制。

指挥员还可根据该表以及数据融合结果,判断某个传感器搜索跟踪的目标是否正确,从而命令该传感器是跟踪还是放弃当前目标,重新搜索。

## 4 数据融合仿真系统评价准则和软件

### 4.1 数据融合仿真系统评价准则的建立

建立数据融合仿真系统的目的,是为了进行数据融合结构和算法研究。但要衡量一种数据结构和算法的优劣,必须要有相应的评判标准。根据防空武器系统数据融合的特点,本文在上述数据融合仿真系统的研究基础上,建立了比较简单有效的数据融合评估数学模型,并给出评价准则。

#### 4.1.1 数据融合评估模型

在数据融合仿真系统中,由于目标的标准航迹是已知的,这一前提条件为数据融合仿真系统数学评估方法的模型建立提供了很重要的基础。

本文通过将实际融合的目标航迹数据和其它融合数据与标准航迹进行比较,就可以对融合算法以及仿真系统进行评价。

#### (1) 对单个目标进行数据融合评价的数学模型

假定某个目标标准航迹为

$$\{X_{ii}, Y_{ii}, Z_{ii}; \text{Type}, \text{Attr}\}, i = 1, N$$

其中  $X_{ii}, Y_{ii}, Z_{ii}$ ——目标在  $t_i$  时刻的位置坐标; Type——目标类型; Attr——目标属性。

对应于该目标的标准航迹,经过数据融合后可得到目标在同样时刻的融合航迹,表示为  $\{X'_{ii}, Y'_{ii}, Z'_{ii}; \text{Type}'_{ii}, \text{Attr}'_{ii}\}, i = 1, N$ 。于是可得到目标位置的均方根误差

$$E_X = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X'_{ii} - X_{ii})^2} \quad (1)$$

$$E_Y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y'_{ii} - Y_{ii})^2} \quad (2)$$

$$E_Z = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z'_{ii} - Z_{ii})^2} \quad (3)$$

对于目标类型和属性融合的评价,定义如下阶跃函数

$$\alpha(X, Y) = \begin{cases} 1 & \text{若 } X = Y \\ 0 & \text{若 } X \neq Y \end{cases} \quad (4)$$

于是对于目标类型和属性融合的评价模型可采用正确判断概率表示,公式表达如下

$$P_{\text{Type}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha(\text{Type}'_{ii}, \text{Type}) \quad (5)$$

$$P_{\text{Attr}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha(\text{Attr}'_{ii}, \text{Attr})$$

#### (2) 对多个目标进行综合数据融合评价的数学模型

假如本次数据融合仿真试验目标航迹总数为  $K$  个,而实际数据融合输出的目标航迹总数为  $K'$  个,则目标航迹同一性判断错误率为

$$A = \frac{1}{K} (K' - K) \quad (6)$$

对于同一性判断正确的目标,可以计算数据融合仿真系统对目标航迹融合的综合指标。

假定同一性判断正确的目标数为  $K$ ,目标融合航迹个数为  $N_j, j = 1, K$ ,则对目标位置的综合均方根误差为

$$EX = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^K N_j} \sum_{j=1}^K (N_j E_{Xj})} \quad (7)$$

$$EY = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^K N_j} \sum_{j=1}^K (N_j E_{Yj})} \quad (8)$$

$$EZ = \sqrt{\frac{1}{\sum_{j=1}^K N_j} \sum_{j=1}^K (N_j E_{Zj})} \quad (9)$$

对目标类型和属性融合的综合正确概率为

$$P_{\text{Type}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^K N_j} \sum_{j=1}^K (N_j P_{\text{Type}j}) \quad (10)$$

$$P_{\text{Attr}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^K N_j} \sum_{j=1}^K (N_j P_{\text{Attr}j}) \quad (11)$$

#### 4.1.2 数据融合仿真系统性能评价准则

根据数据融合仿真系统评价数学模型,可以对仿真系统的评价归纳如下准则。

(1) 对目标同一性判断错误率要小,即正确性航迹认定概率要高;

(2) 对目标航迹位置均方根误差要小;

(3) 对目标类型和属性融合正确率要高。

#### 4.2 数据融合效果评价软件

数据融合效果评价软件包括标准航迹存储、数据融合结果处理以及数据融合效果显示三部分。

在实际数据融合仿真系统中,数据融合效果评价软件分别安装在多传感器模拟器、数据融合中心处理计算机以及数据融合显控台上,形成一个功能分布式评价系统。

每次仿真试验产生的标准航迹存放在多传感器模拟器本地数据库中,仿真结果数学处理模块运行在数据融合中心

处理计算机中,数据融合评价结果显示界面在显控台上,信息交换通过局域网来实现。

该软件的核心部分是仿真结果数学处理模块,它用于评价概率时间特性,可以对输入信息源模拟器的输入、输出信息以及目标的融合航迹在硬盘上进行记录,然后通过对数据融合结果和标准的目标航迹信息进行比较,就可以确定数据融合仿真系统对目标航迹融合的时间和概率指标。

#### 参 考 文 献

- 1 王建斌.多传感器数据融合仿真系统研究.优秀科技论文选编.北京:现代防御技术编辑部,2000:58~69.
- 2 王建斌.多站神经-模糊 INTER<sup>3</sup> 数据融合模型研究.中国航天工业总公司二院二部部庆四十周年文集.北京:现代防御技术编辑部,1998:74~86.
- 3 王建斌.TCP/IP 协议在指控系统中的应用.防空导弹总体技术研究与实践.北京:现代防御技术编辑部,1996:203~209.
- 4 MapInfo 中国有限公司.Mapinfo Professional 参考手册.1997.