

doi: 10.7690/bgzd.2013.10.013

# 不同维数据融合方法仿真对比研究

朱捷<sup>1,2</sup>, 洪利华<sup>3</sup>, 王学青<sup>2</sup>

(1. 后勤学院研究生管理大队, 北京 100858; 2. 防空兵学院侦察预警系, 郑州 540052;  
3. 南京军区司令部, 南京 210016)

**摘要:** 为验证不同融合方法的融合效果和系统处理时间及其性能, 采用多雷达系统组网对不同维数据融合处理的映射法、升维法、分维法的融合框架和融合算法进行分析, 并利用计算机仿真方法得出并分析对比数据。仿真结果表明: 3种处理不同维数据融合的方法中, 分维法在融合误差、关联概率方面有明显优势。

**关键词:** 数据融合; 映射法; 升维法; 分维法; 仿真

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Simulation Comparing Study of Fusion Method for Different Dimensional Data

Zhu Jie<sup>1,2</sup>, Hong Lihua<sup>3</sup>, Wang Xueqing<sup>2</sup>

(1. *Administrant Brigade of Postgraduate, Logistics Academy, Beijing 100858, China;*  
2. *Department of Reconnaissance & Early Warning, Air Defense Forces Academy, Zhengzhou 540052, China;*  
3. *Headquarters of Nanjing Military Region, Nanjing 210016, China*)

**Abstract:** For validate fusion efficiency, system processing time and performance of different fusion methods. Use multi radars system network to analyze fusion framework and fusion method of mapping method, lifting dimension method and fraction dimension method. Then adopt computer simulation method to acquire, analyze and compare data. Simulation data shows that among three methods, the fraction dimension method has advantages in fusion error and associated probability.

**Key words:** data fusion; mapping method; lifting dimension method; fraction dimension method; simulation

### 0 引言

对空情报雷达网对不同测量装备体制数据进行数据融合过程中, 往往存在对目标位置的量测数据维数不匹配的问题。其常见的情况为: 两坐标雷达与三坐标雷达同时对目标进行观测时, 所获得的观测信息中, 两坐标雷达不能获得三坐标雷达可测量的高低角坐标信息。

目前对不同维数观测信息进行融合方法主要有: 1) 通过建立状态之间的映射关系, 对不同维目标估计状态进行融合的映射法<sup>[1-3]</sup>; 2) 将三坐标雷达的高低角信息赋予两坐标雷达, 之后再行位置融合并得到系统航迹的升维法<sup>[4]</sup>; 3) 将三坐标雷达的量测数据分解后分别进行相关和融合处理的分维

法<sup>[5]</sup>。笔者利用计算机仿真技术, 模拟了映射法、升维法、分维法对不同维量测数据的融合过程, 并对其融合效果进行了对比和分析。

### 1 算法流程

#### 1.1 映射法融合流程

在出现不同维观测数据时, 融合系统若采用映射法处理观测信息, 则首先将预置的目标高度虚拟信息加入到两坐标雷达的量测数据中, 形成统一的三坐标量测数据。而后量测数据再经过滤波、坐标转换和时间对准等数据预处理过程, 在统一的直角坐标系下完成数据相关判定, 若数据相关则进行航迹融合, 最终形成系统航迹。其流程如图 1 所示。

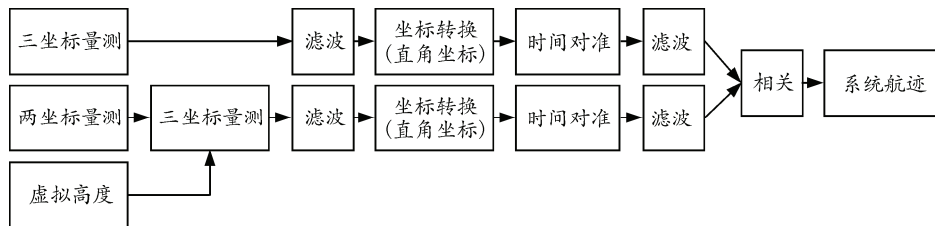


图 1 映射法融合流程

收稿日期: 2013-05-10; 修回日期: 2013-06-12

作者简介: 朱捷(1982—), 男, 河北人, 博士, 讲师, 从事数据处理、计算机仿真研究。

映射法融合的优点是：流程简单，计算量小，且能得到三坐标系统航迹。但由于在两坐标量测数据中加入了外源高度值，使得相关判定受到影响，并且容易产生较大的系统动态误差。

### 1.2 升维法融合流程

如果融合中心处理不同维数据时采用升维法，则将三坐标雷达量测数据中的高度信息删除，所有

的观测数据均在两坐标下进行滤波、预处理并做相关判定。若数据关联，则将三坐标雷达的高度信息经坐标转换和时间对准等预处理后赋给两坐标雷达，之后雷达网内不再存在不同维数据问题，即可按照标准数据融合方法进行处理。

升维法的流程框架如图 2 所示，其优点是能避免产生系统动态误差，不足是数据融合处理过程中的计算量较大。

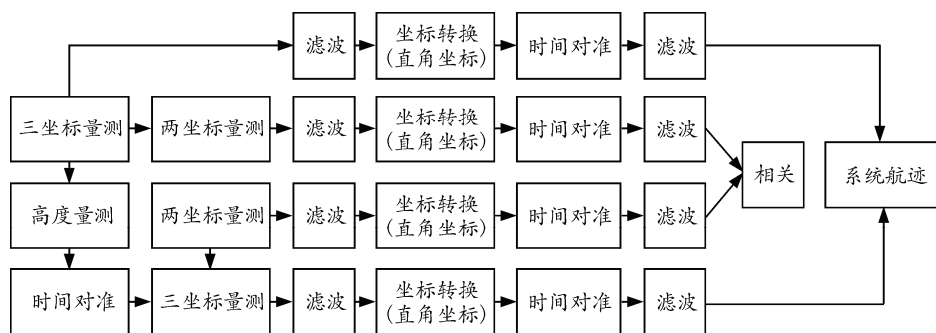


图 2 升维法融合流程

### 1.3 分维法融合流程

分维融合方法首先将目标量测数据统一为两坐标量测数据，经滤波和预处理后，在天球坐标系下进行目标相关判定。若目标相关，则将经过预处理的由三坐标雷达的量测生成的目标地心距离和天球坐标系下的雷达量测数据进行融合，进而得到天球

坐标系下的系统航迹。

分维融合方法在数据关联和航迹合成阶段，引入了天球坐标加地心距离的目标位置表示方法，在数据关联和航迹融合的过程中分别对天球坐标与地心距离进行处理，简化了对不同维观测数据的处理过程。

分维法融合流程框架如图 3 所示。

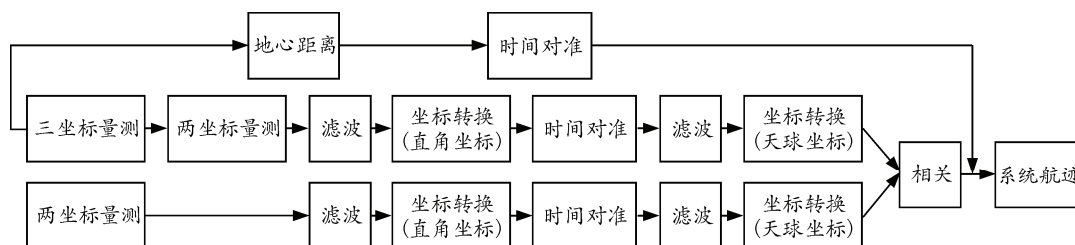


图 3 分维法融合流程

## 2 目标跟踪及关联算法

为了对比 3 种融合方法的融合误差、相关概率和计算量，对于在雷达量测数据融合处理过程的跟踪阶段的滤波算法，笔者统一采用经典的自适应  $\alpha$ - $\beta$  滤波；相关判定算法则使用修正的 K 近邻关联算法。

### 2.1 自适应 $\alpha$ - $\beta$ 滤波算法<sup>[7]</sup>

在自适应  $\alpha$ - $\beta$  滤波算法中，状态估计的一步预测方程为

$$\hat{X}(k+1/k) = \Phi \hat{X}(k/k) \quad (1)$$

则可得目标预测误差方程：

$$\tilde{X}(k+1|k) \triangleq X(k+1) - \hat{X}(k+1|k) = \Phi(k) \tilde{X}(k|k) + W(k) \quad (2)$$

其一步预测协方差为

$$P(k+1/k) \triangleq E[\tilde{X}(k+1|k) \tilde{X}(k+1|k)' | Z^k] = \Phi P(k/k) \Phi^T \quad (3)$$

类似的，预测的观测向量为

$$\hat{Z}(k+1/k) = F[\hat{X}(k+1/k)] \quad (4)$$

状态滤波估值为

$$\hat{X}(k+1/k+1) = \hat{X}(k+1/k) + \mathbf{K}(k+1)(Z'(k+1) - \hat{Z}(k+1/k)) \quad (5)$$

其中增益矩阵  $\mathbf{K}(k+1)$  为:

$$\mathbf{K}(k+1) = \begin{bmatrix} \alpha_{x(k+1)} & 0 & 0 \\ \beta_{x(k+1)} & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{y(k+1)} & 0 \\ 0 & \beta_{y(k+1)} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{z(k+1)} \\ 0 & 0 & \beta_{z(k+1)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$P(k+1/k+1) = A(k+1)P(k+1/k)A^T(k+1) + \mathbf{K}(k+1)R(k+1)\mathbf{K}^T(k+1) \quad (7)$$

其中  $A(k+1) = I - \mathbf{K}(k+1)H(k+1) \quad (8)$

定义  $r$  为目标的机动指数, 其计算公式为:

$$r = \left( \frac{\sigma_w T^2}{2\sigma_n} \right)^2 \quad (9)$$

其中:  $\sigma_w^2$  是机动加速度方差;  $\sigma_n^2$  是观测误差协方差;  $T$  是雷达天线扫描周期。

则  $\alpha(k)$ 、 $\beta(k)$  可以由以下方程确定:

$$\alpha(k) = \frac{r + 4\sqrt{r}}{2} \sqrt{1 + \frac{4}{r + 4\sqrt{r} - 1}} \quad (10)$$

$$\beta(k) = 2(2 - \alpha(k)) - 4\sqrt{1 - \alpha(k)} \quad (11)$$

此时, 若定义残差为:

$$V(k) = Z(k) - \hat{Z}(k+1|k) \quad (12)$$

则  $V(k)$  不仅反映了观测误差的大小, 也反映了目标机动的情况。设残差有  $N$  个采样值, 则可得到  $\sigma_v^2$  的表达式:

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V^2(i) \quad (13)$$

其中,  $N$  为雷达天线扫描周期的滑窗。

这里  $N$  一般选 3~5。将  $\sigma_v^2$  作为  $\sigma_w^2$  带入式 (9), 即可通过目标的机动指数  $r$  得到自适应滤波系数  $\alpha(k)$  和  $\beta(k)$ 。

### 2.2 修正的 K 近邻关联算法<sup>[8]</sup>

修正的 K 近邻算法将检验过程分为关联期、检查期和保持期 3 个关联阶段。由于典型时空信息融合方案具有能将当前检验和历史检验联系起来特性, 笔者选取它作为航迹关联的判定方法。

修正的 K 近邻法基本判定方法为: 设定大于等于 2 的正整数  $N_0$  为关联检验次数。另取正整数  $K$ ,

使得  $[N_0/2] \leq K \leq N_0$ 。如果在  $N_0$  次关联检验中满足条件:  $|u_{ij}(\alpha, l)| < e_\alpha$  和  $|u_{ij}(\delta, l)| < e_\delta$  ( $l=1, 2, \dots, N_0$ ,  $i \in U_1, j \in U_2$ ) 的情况有  $K$  次则可判定两航迹为相关关系, 可进行航迹融合形成系统航迹。

关联期设定为当进入融合传感器的航迹点数在  $N_0$  以内时, 在关联期内, 一旦航迹  $i$  和  $j$  中有大于  $N_0 - k$  个点被判定为不相关, 则可判定航迹  $i$  与  $j$  为不相关航迹, 不再进行相关判定。到关联期结束时 (关联次数  $l=N_0$ ), 若检测航迹相关判定未被确认为不相关, 则进入检验过程的检查期。

航迹关联进入检查期后 (关联次数  $l > N_0$ ), 首先对检查期前 3 个点进行  $\chi^2$  检验。其中根据  $\chi^2$  分布的自由度和显著性水平  $\alpha$  确定的检验门限为  $\delta$ 。若有  $\varpi_{ij}(k) \leq \delta$ , 则  $T_{ij}(k) = T_{ij}(k-1) + 1$ , 否则  $T_{ij}(k) = T_{ij}(k-1) - 1$ 。连续 3 次检验后, 考察  $T_{ij}(k = N_0 + 3)$  的值, 若其等于 3, 则  $i$  与  $j$  成为固定关联对, 航迹退出检查期进入保持期; 若值小于等于 -1, 判定两航迹不相关, 此时应撤销系统航迹, 并再次进入关联期, 重新判断 2 个局部航迹的关联性。值为 1, 则对下 2 个点进行  $\chi^2$  检验, 最后根据  $T_{ij}(k = N_0 + 5)$  的取值作最终的判决。其中  $T_{ij}(N_0) = 0$ , 即在检查期开始的前一时刻的检查质量为零。

若航迹经过检查期判定相关, 则关联检验进入保持期。在保持期内不再进行假设检验。

## 3 仿真实验及结果分析

### 3.1 仿真实验设计

对空情报雷达网分别由 2 部三坐标雷达和 2 部两坐标雷达组成, 分别位于边长为 15 km 的正方形区域的 4 个顶点。三坐标雷达与两坐标雷达各有 1 部位于 0 m 海拔高度, 另 2 部雷达的海拔高度为 100 m。假设三坐标雷达探测距离为 200 km; 扫描周期 10 s, 距离精度 0.1 km; 方位精度 0.5°; 高低角精度 0.25°; 两坐标雷达探测距离 250 km, 扫描周期 15 s, 距离精度 0.5 km; 方位精度 0.5°。

设定飞行器目标航迹分别为:

航线 1: 在 7 km 高度以 600 m/s 的速度作水平飞行。

航线 2: 在 7 km 高度以 600 m/s 的速度水平飞行, 在距离雷达网中心点 50 km 处以 10g 的加速度右转 90° 平飞。

### 3.2 实验结果及分析

对2种不同航迹，雷达捕获目标量测数据后均在融合中心分别采用映射法、升维法和分维法对量测数据进行处理，对整个融合过程进行50次模拟后，所得数据汇总为如表1、图4、图5所示。

表1 不同融合法航迹关联概率及数据处理时间统计结果

航迹种类	融合方法	平均关联概率/%	平均处理时间/s
水平匀速航迹	映射法	93.2	2.891
	升维法	95.24	3.688
	分维法	98.33	3.155
急转航迹	映射法	89.83	2.921
	升维法	91.42	3.915
	分维法	97.87	3.219

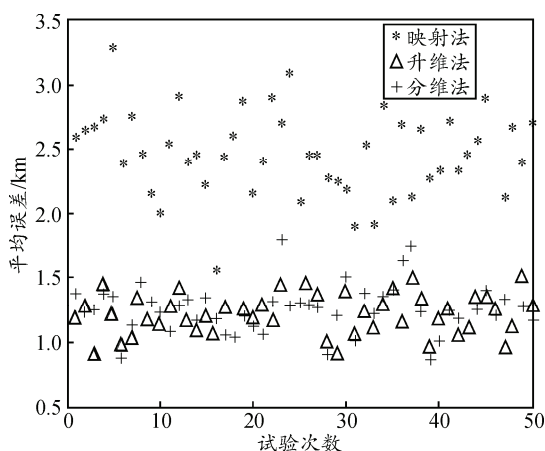


图4 水平匀速航迹融合误差对比

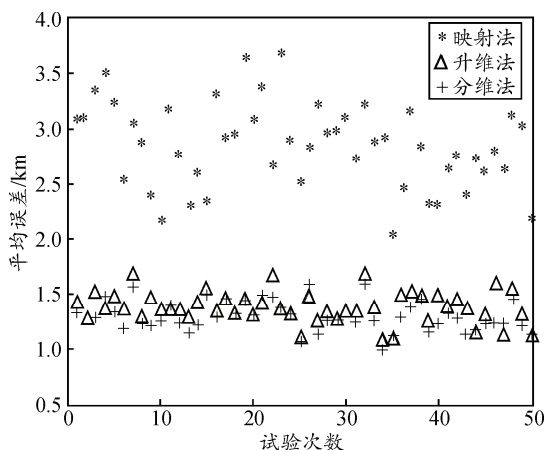


图5 急转航迹融合误差对比

图4和图5分别为2种航迹下3种融合方法所得系统航迹与实验航迹的误差对比图。可以看出，在2种航迹下，相比映射法，分维法与升维法都有较高的精度优势，可以达到较好的融合效果。表1为3种融合方法处理2种不同航迹50次模拟中的航迹关联概率及数据处理时间统计结果。

在平均关联概率方面：对水平匀速目标进行相关判定时，虽然3种融合方法都可以获得较高的关

联概率，但分维法明显优于升维法与映射法。但当目标在空中机动时，分维法仍能保持较高的关联概率，而升维法与映射法则出现了较大幅度的下降。

在数据处理时间方面：映射法的平均处理时间最短，其次是分维法，处理时间最长的是升维法。分维法与升维法相比，虽然大大降低了数据的计算量，但在数据处理时间方面仍低于映射法。

### 4 结束语

笔者介绍了对空情报雷达网处理不同维数据融合的映射法、升维法和分维法的算法流程，初步分析了其各自的优缺点。并利用仿真技术，用3种融合算法对2种典型航迹进行了模拟。对仿真结果中的融合误差、关联概率和计算量进行了统计和分析。结果表明：3种处理不同维数据融合的方法中，分维法在融合误差、关联概率方面有明显优势，虽然计算量较映射法大，但其对机动目标仍能保持较高的关联概率等优点使其综合性能优于其他2种算法。

### 参考文献：

- [1] 徐毓, 李锋. 不同维状态的多传感器航迹融合[J]. 传感技术学报, 2004, 6(2): 200-204.
- [2] 何友, 熊伟. 带反馈分布式不同维传感器状态估计技术[J]. 宇航学报, 2003, 24(6): 574-578.
- [3] 高蕊, 秦超英, 张希彬. 不同维状态的多传感器 MAP 航迹融合方法[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2006, 31(3): 117-120.
- [4] 熊伟, 何友. 集中式多雷达系统维数不匹配处理技术[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(6): 845-848.
- [5] 朱捷, 肖慧鑫, 吴洪基. 基于天球坐标系的异型传感器量测数据分维融合方法[J]. 兵工自动化, 2008, 27(8): 39-41.
- [6] 杨毅, 罗德超. 多尺度分析技术在无线传感器网络节点定位中的应用[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(4): 93.
- [7] 杨万海. 传感器数据融合及其应用[M]. 西安电子科技大学出版社, 2004: 57-59.
- [8] 何友, 王国宏. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000: 127-129.
- [9] 张殿程, 江晶, 陆泳舟. 两坐标与三坐标雷达配准方法及其应用分析[J]. 空军雷达学院学报, 2009, 23(6): 391-394.
- [10] 郝欣. 基于异类传感器的目标联合定位技术[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [11] 熊伟, 孙宇宸, 高峰. 2D雷达与3D雷达航迹关联问题研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2012, 27(2): 191-195.