

雷达组网数据融合系统组合失配误差研究

王睿, 张平定, 刘进忙

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:针对雷达组网数据融合系统,提出一种简单、有效的数据配准方法——系统误差序贯估计方法。对减小雷达网内目标分裂,保证多雷达观测的一致性和连续性,都起到了很好的效果。文中给出的仿真结果表明了该方法的可行性。

关键词:系统误差;雷达网;序贯估计

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)01-0056-03

在多雷达组网跟踪系统中,由于存在各种误差源^[1],使各雷达观测数据包含一定的系统误差,导致目标轨迹分裂或在交接处错开,所以在融合处理时必须对这些误差有足够准确的估计。现役雷达网常用的数据配准算法有实时精度控制法(RTQC),但当用于配准计算的数据量较小时,该方法并不能给出正确的结果。文献[2]给出一种采用最小平方配准法(LSRM)实现多部雷达的数据配准,该方法改变了传统方法中求方程精确解的策略,而是改为求方程的最优解。在一定程度上克服了对于数据使用的区域性限制,减少了随机误差对运算结果的影响,使方程的可行性和解的真实性得以改善。但该方法采用的模型过于简单,只对两部雷达的系统误差估计进行了公式推导,当对两部以上的雷达网进行数据校准时,其应用受到一定限制。本文给出一种组网雷达情报的系统误差序贯估计方法,在雷达网中选定一部精度较高的雷达作为主雷达,对主雷达以GPS数据为参照进行数据校准,其它从站的雷达分别与主站采用最小平方配准法(LSRM)进行数据配准,依次序贯进行,从而达到对每部雷达进行系统误差校正的目的。

1 系统误差配准的算法模型

如图1所示,设有A、B两个雷达站在 $T_i(i=1,2,\dots,n)$ 时刻观测到同一批目标P的航迹。A、B两雷达的观测点分别为 P_i^A 和 P_i^B ,极坐标分别为 (P_i^A, θ_i^A) 和 (P_i^B, θ_i^B) ,情报处理中心为S,在同一直角坐标系XSY中的坐标分别为 (X_{SA}, Y_{SA}) 和 (X_{SB}, Y_{SB}) 。以 (x_i^A, y_i^A) 、 (x_i^{SA}, y_i^{SA}) 分别表示 P_i^A 点以A点为中心的直角坐标和在XSY坐标系中的统一直角坐标,以 (x_i^B, y_i^B) 和 (x_i^{SB}, y_i^{SB}) 分别表示 P_i^B 点以B点为中心的直角坐标和在XSY坐标系中的统一直角坐标。选定A雷达为主站,即认为A站的测量值中不含系统误差。设B站测量中含有系统误差,用 ΔR_B 表示测距误差, $\Delta \theta_B$ 表示测角误差与方位标定误差之和, $\Delta x_B, \Delta y_B$ 表示B站原点定位误差。且 $\Delta R_B, \Delta \theta_B, \Delta x_B, \Delta y_B$ 均相对A站而言认为是定值系统误差。

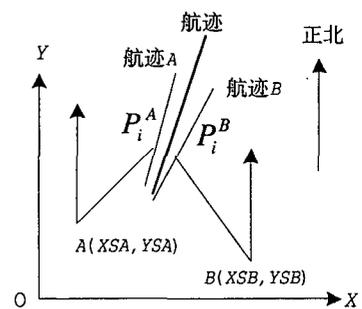


图1 系统误差示意图

$T_i(i=1,2,\dots,n)$ 时刻 P_i^A 和 P_i^B 的坐标表示如下:

$$\begin{cases} x_i^A = P_i^A \sin \theta_i^A \\ y_i^A = P_i^A \cos \theta_i^A \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期:2001-05-18

基金项目:国家高等学校骨干教师资助计划项目资助(GG-810-90039-1003)

作者简介:王睿(1964-),女,陕西三原人,讲师,硕士,主要从事指挥自动化信号、信息处理研究。

$$\begin{cases} x_i^{SA} = x_i^A + X_{SA} = P_i^A \sin\theta_i^A + X_{SA} \\ y_i^{SA} = x_i^A + X_{SA} = P_i^A \cos\theta_i^A + Y_{SA} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_i^B = (R_i^B - \Delta R_B) \sin(\theta_i^B - \Delta\theta_B) \\ y_i^B = (R_i^B - \Delta R_B) \cos(\theta_i^B - \Delta\theta_B) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_i^{SB} = x_i^B + X_{SB} + \Delta x_B \\ y_i^{SB} = y_i^B + Y_{SB} + \Delta y_B \end{cases} \quad (4)$$

令

$$\begin{cases} P_i = x_i^{SB} - x_i^{SA} \\ Q_i = y_i^{SB} - y_i^{SA} \end{cases} \quad (5)$$

设定目标函数

$$f = \sum_{i=1}^n (P_i^2 + Q_i^2) \quad (6)$$

f 表示所有 $T_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 时刻 B 雷达测量点与其配准点 (T_i 时刻主站上的测量点) 距离的平方和。当 f 取得最小值时, B 雷达的测量数据向主站 A 雷达校准, 达到了同一目标观测结果的最佳迭合。即当 $f = f_{\min}$ 时, 下式成立:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial \Delta R_B} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \Delta \theta_B} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \Delta x_B} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \Delta y_B} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

式(7)是一个非线性四元方程组, 可采用拟牛顿法进行求解。

2 系统误差序贯估计法

在雷达网中选定一部精度较高的雷达作为主雷达, 对主雷达以 GPS 数据为参照进行数据校准, 其它从站的雷达分别与主站采用最小平方配准法 (LSRM) 进行数据配准, 依次序贯进行, 从而达到对每部雷达进行系统误差校正的目的。雷达网中以一部主雷达为参照系的数据校准步骤如下:

步骤 1 选主站。选择一部探测范围最大、精度最高的雷达为主雷达 A , 通常主站在情报中心附近;

步骤 2 对主站采用 GPS 数据进行设备校准;

步骤 3 选定一个从站 I , 对在 I 和 A 的公共探测区域内的一条典型航路上的飞行目标进行连续跟踪, 可获得 I 与 A 的观测数据, 记为 I_i 与 A_i ;

步骤 4 对 I_i 与 A_i 的数据进行时间配准后, 用前述的系统误差估计算法, 作为雷达 I 数据校准的依据;

步骤 5 转步骤 3, 直到网内所有雷达均序贯进行一次;

步骤 6 最后, 按步骤 4 中得到的每部雷达的系统误差估值, 对距离、方位及雷达定位数据进行修正。

若主站与从站无公共探测区或公共探测区很小时, 则上述方法存在缺陷。为此, 可采用如下方法进行数据校准。

设雷达网 A, B, C, D 中, A 为主站, B, C, D 为从站, 且 B, C, D 均与 A 有较大范围的重叠探测区域, 以 A 为参照系求得 B, C, D 的相对系统误差。若在距离 A 较远的地方有从站 E 无法与 A 共同观测到典型航路上的同一批目标, 而 E 与临近的 D 站的重叠探测区域很多, 能够共同观测, 则 E 相对于 A 的系统误差求法如下:

1) 在 E 的公共探测区内选一条典型航路上飞行的目标, 使 D, E 对其实施连续跟踪, 得到航迹 D_i 和 E_i ;

2) 按已求得的 D 相对于 A 的系统误差修正 D 的观测航迹 D_i , 修正后的航迹以 D_{ii} 表示;

3) 对 D_{ii} 与 E_i 中的数据进行时间配准后, 采用前述的系统误差估计法进行误差估计, 因为 D_{ii} 在以 A 为主站的参照系中认为是准确的, 所以 D_{ii} 可作为 E 相对于 A 的系统误差。

将 3) 的估计结果作为 E 的相对系统误差估计值, 并把 E 合并到原雷达网中, 即现有雷达网为 ($A, B, C,$

$D、E$), A 为主站, $B、C、D、E$ 为从站, 以 A 为参照系, 可求得 $B、C、D、E$ 的相对系统误差。上述方案不仅克服了主从雷达探测范围不能重叠的制约, 使已有雷达网得以不断扩充, 更重要的是, 按照补充方案, 可以实现既无 GPS 校准设备, 又无较高精度的雷达作为主站的情况下, 可根据已有的雷达网, 建立起多雷达观测一致性更大的雷达网。

3 雷达跟踪数据结果分析

为验证配准算法的有效性, 对上述算法利用模拟数据进行了仿真计算。表 1 给出了两部雷达的模拟数据及配准计算的结果。从计算结果中可看到, 随着点迹数的增加, 配准计算的结果逐渐接近于固定误差, 但略有差异, 这是由于算法模型不准引起的。

表 1 配准误差估计值

点迹数	$\Delta R_A/\text{km}$	$\Delta R_B/\text{km}$	$\Delta \theta_B/(\text{°})$	$\Delta \theta_B/(\text{°})$
7	1.026	1.294	1.298	0.153
9	0.703	1.336	1.284	0.280
11	0.974	1.414	0.767	0.326
13	1.584	1.565	0.460	0.323
15	1.576	1.702	0.316	0.161
17	1.583	1.810	0.231	0.144
19	1.356	1.902	0.128	0.142
21	0.606	2.023	0.318	0.181
23	0.607	2.121	0.317	0.164
25	0.611	2.012	0.323	0.161
27	0.765	2.171	0.259	0.159
29	0.598	2.281	0.166	0.156
31	0.603	2.344	0.161	0.151

4 结论

通过计算机模拟数据及计算, 证明该方法对雷达组网系统配准误差的计算是有效的, 对减小雷达网内目标分裂, 保证多雷达观测的一致性和连续性, 都起到了很好的效果。

参考文献:

- [1] 费利那 A, 斯塔德 F A. 雷达数据处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
 [2] 吴小飞, 王永诚. 用最小平方方法实现多部雷达数据配准[J]. 现代雷达, 1996, 8(6): 28-33.

(编辑: 田新华)

The Study of Combination Error in Radar Fence Data Fusion System

WANG Rui, ZHANG Ping-ding, LIU Jin-mang

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: Aimed at the data fusion system of the radar fence, the paper presents a simple and effective data collocation method—systematic error sequence estimate method. This method has a good effect on reducing the target split within the radar fence and insuring the conformability and continuity of radar observation. The results of simulation indicate that this method is effective.

Key words: systematic error; radar fence; sequence estimate