

基于空基双平台的多目标假点剔除算法

余晓东, 王睿, 岳韶华

(空军工程大学导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要 为解决多目标情况下, 存在虚假定位的问题, 对基于空基双平台的多目标假点剔除算法进行了研究, 给出了基于最小角度门限判决的多目标无源定位算法。首先用“最小距离法”交叉定位算法求出目标位置的估计值, 并算出该估计值相对于观测平台的俯仰角; 其次算出该角度与目标的实测俯仰角的差值; 最后用所得差值和确定的门限进行比较, 将大于门限的目标判为虚假点排除。仿真结果表明: 该方法能大大提高关联正确率, 而且计算量小, 可以满足工程需要。

关键词 无源定位; 最小角度; 假点剔除; 判决门限

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.04.010

中图分类号 TN957 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)04-0044-04

在复杂电磁环境下, 现代作战飞机常常受到各种干扰, 特别是自卫式杂波干扰和欺骗式干扰, 使得飞机在跟踪目标时, 机载雷达常常无法获得目标的距离信息, 仅能提供关于目标的角度信息, 从而无法对目标进行精确定位, 不能对空空导弹给出正确的目标位置指示和引导。因此, 为了提高复杂战场环境下空空导弹的抗干扰能力, 提高现代作战飞机有效攻击目标的能力, 必须采用网络化、多机多平台协同作战模式, 通过对双(多)机信息的融合处理, 从而达到对目标的精确定位^[1-3]。

利用无源探测系统对多目标进行定位和跟踪, 可以充分发挥其隐蔽性好, 提取目标属性信息多等优点, 增强系统在电子战环境下的生存能力和有效工作能力。但是这种方法在监视区域内有多个目标的情况下存在严重的虚假定位问题。用2架侦察机观测, 当空间存在 N 个目标时, 共有 $2N$ 条方向线, 存在 N^2 个交叉点, 其中有 $N(N-1)$ 个交叉点是虚假定位点。采用目标测量数据关联的方法虽然可以解决该问题, 但此方法的计算量随着传感器和目标数量的增多呈指数增长, 且正确关联概率迅速降低^[3-6]。文献[7]提出的最小距离交叉定位法已被证明是一种良好的关联算法。本文利用该关联算法计算全部 N^2 个交叉点相对于主侦察机的俯仰角, 作为假点判断依据, 通过最小角度门限判决来实现交叉定位的快速判断和假点剔除。

1 “最小距离法”交叉定位算法

“最小距离法”交叉定位算法^[7]的思路是: 将2架侦察机的2个角度量测表示到统一的直角坐标系中, 若无误差存在, 这2条射线应该在空间交于一点; 存在误差时, 这2条射线则可能不相交, 此时应用最小二乘原理, 这2条异面射线的公垂线段中点可以看作是目标的估计位置^[8]。

见图1, 我侦察机大地坐标分别为 (B_1, L_1, H_1) 、 (B_2, L_2, H_2) , 两机对目标测量的站心极坐标观测值分别为 (ε_1, β_1) 、 (ε_2, β_2) , 具体算法如下:

1) 将两机大地坐标变换到地心直角坐标 (X_{s1}, Y_{s1}, Z_{s1}) 、 (X_{s2}, Y_{s2}, Z_{s2}) ; 变换公式为:

* 收稿日期: 2010-11-24

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2010JM8013)

作者简介: 余晓东(1989-), 男, 江西九江人, 硕士生, 主要从事防空指挥自动化信息处理研究。

E-mail: agosoa@163.com

$$\begin{cases} X_s = (N_s + H_s) \cos B \cos L \\ Y_s = (N_s + H_s) \cos B \sin L \\ Z_s = (N_s (1 - e^2) + H_s) \sin B \end{cases} \quad (1)$$

式中: $e = \sqrt{1 - b^2/a^2}$ 为地球椭球偏心率, a 、 b 为地球长短半轴(取 $a = 6\,378\,137\text{ m}$, $b = 6\,356\,752\text{ m}$); $N_s = a/\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$ 。

2) 将 r_1 、 r_2 视为参数,若2架侦察机站心坐标的系统误差已校正(即认为两机的3个坐标轴分别平行),则可得到空间的2条直线:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{si} \\ Y_{si} \\ Z_{si} \end{bmatrix} + e_i r_i \hat{\quad}, \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

式中: e_1 、 e_2 分别为角度观测单位矢量。

$$e_i = [\cos \varepsilon_i \sin \beta_i \quad \cos \varepsilon_i \cos \beta_i \quad \sin \varepsilon_i]^T, \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

则这2条直线上2点的距离的平方为:

$$d^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \quad (4)$$

对 d^2 分别求 r_1 和 r_2 的偏导,令其等于0并联立:

$$\begin{cases} \partial d^2 / \partial r_1 = 0 \\ \partial d^2 / \partial r_2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

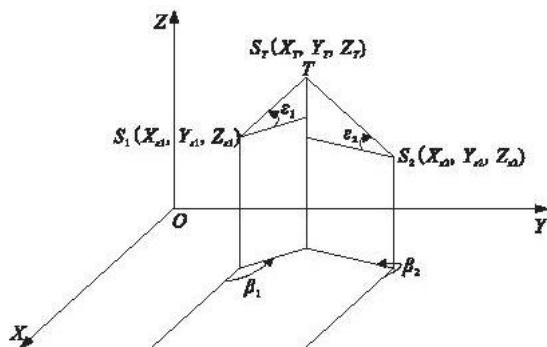


图1 坐标关系图

Fig. 1 Coordinate relation

通过求解上述方程组就得到了这2条直线上距离最近的2个点的坐标参数。解得:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ -r_2 \end{bmatrix} = M^+ \begin{bmatrix} \Delta X_s \\ \Delta Y_s \\ \Delta Z_s \end{bmatrix} = (MM^T)^{-1} M \begin{bmatrix} X_{s2} - X_{s1} \\ Y_{s2} - Y_{s1} \\ Z_{s2} - Z_{s1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中 $M = [e_1 \quad e_2]^T$ 。

于是目标位置的最小二乘估计值为:

$$\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} x_1 + x_2 \\ y_1 + y_2 \\ z_1 + z_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

由于这种算法忽略了2架站心坐标的坐标轴指向误差,当2架距离较近时,这种误差较小,可以忽略;但若2架的距离较远时,这种误差就比较大,因此有必要对其进行修正。

修正算法主要对角度观测单位矢量 e_1 、 e_2 进行修正,使其统一到同一个坐标系下。具体算法如下:

- 1) 利用式(1)将两机大地坐标变换到地心直角坐标;
- 2) 对目标观测单位矢量 e_1 、 e_2 用如下公式进行修正;

$$(e'_i)^T = \begin{bmatrix} -\sin L_i & -\sin B_i \sin L_i & \cos B_i \cos L_i \\ \cos L_i & -\sin B_i \sin L_i & \cos B_i \sin L_i \\ 0 & \cos B_i & \sin B_i \end{bmatrix} (e_i)^T \quad (8)$$

令 $M' = [e'_1 \quad e'_2]^T$ 替换 M 代入式(6)即可。

在式(4)中, r_1 对 β_1 、 ε_1 、 β_2 、 ε_2 求偏导,可得距离解算误差 σ_R 公式为:

$$\sigma_R = \sqrt{(\partial r_1 / \partial \beta_1)^2 \sigma_{\beta_1}^2 + (\partial r_1 / \partial \varepsilon_1)^2 \sigma_{\varepsilon_1}^2 + (\partial r_1 / \partial \beta_2)^2 \sigma_{\beta_2}^2 + (\partial r_1 / \partial \varepsilon_2)^2 \sigma_{\varepsilon_2}^2} \quad (9)$$

式中 σ_{β_1} 、 σ_{β_2} 、 σ_{ε_1} 、 σ_{ε_2} 分别为主、副机测量的 β_1 、 β_2 和高低角 ε_1 、 ε_2 的均方根误差。这样就通过“最小距离法”交叉定位算法得到目标的坐标。

2 基于最小角度门限的假点剔除方法

假定图2表示定位的是2架侦察机与目标俯仰角之间的关系,以1号侦察机为主侦察机,则对于同一目

标 T , 定位估计值相对于主侦察机的俯仰角为 ε_T , 主侦察机测得的实测俯仰角为 ε , 由几何关系可知, 同一目标正确关联时, 定位俯仰角和实测俯仰角之间的差值较小, 且随着目标的移动起伏较小, 2 者差值的绝对值应该在 2 倍的测角误差之内^[9], 即:

$$g = |\varepsilon - \varepsilon_T| \leq 2\Delta \quad (10)$$

式中 Δ 为传感器俯仰角误差。假关联时, 定位俯仰角和实测俯仰角之间的差值较大, 而且随着目标的移动起伏较大, 即使在某一点差值较小, 但随着目标的移动也会发生明显变化。2 者差值的绝对值应该大于 2 倍的测角误差。即:

$$g = |\varepsilon - \varepsilon_T| > 2\Delta \quad (11)$$

最小角度门限判决假点剔除算法就是利用这一特性进行假点剔除。具体方法如下:

- 1) 最小距离交叉定位算法计算依据 2 条目标角度射线定位所得目标的坐标值。
- 2) 根据 1) 所测的目标坐标值计算目标相对主侦察机的俯仰角^[10], 其计算式为:

$$\varepsilon_T = \arcsin \left(\frac{|z_T - z_{S1}|}{\sqrt{(x_T - x_{S1})^2 + (y_T - y_{S1})^2 + (z_T - z_{S1})^2}} \right) \quad (12)$$

3) 根据式(10)计算出定位俯仰角和实测俯仰角之间的绝对差值 g , 并对其进行门限判决, 判决门限由传感器角度测量精度决定, 可设为 2 倍的测角误差, 即 2Δ 。小于给定门限则判断为正确关联点, 大于或等于门限则判断为虚假关联点并剔除。

3 仿真及分析

在同一坐标系下, 1 号侦察机的坐标为(5 km, -5 km, 5 km), 2 号侦察机的坐标为(5 km, 5 km, 5 km), 沿北偏东 45°方向匀速飞行。设传感器方位角、俯仰角测量精度相同, 都为 0.4°。空间存在 4 个辐射源, 采用两种编队方式匀速飞行, 假设 2 架侦察机都能探测到全部目标, 分别进行 1 000 次 Monte Carlo 仿真。

3.1 水平编队目标群

假设目标位置如下: 目标 1(30 km, 2 km, 10 km); 目标 2(30 km, 2 km, (10 + d) km); 目标 3(30 km, 2 km, (10 + 2 d) km); 目标 4(30 km, 2 km, (10 + 3 d) km), d 为目标间距, 目标正确定位概率见表 1。

表 1 水平编队目标正确关联概率

Tab. 1 Correct associated probability of straight arrayed target

d/km	1	3	5	7	9
正确关联概率	0.708	0.864	0.992	0.995	0.998

3.2 十字编队目标群

假设目标位置如下: 目标 1((30 - d) km, 2 km, 10 km); 目标 2((30 + d) km, 2 km, 10 km); 目标 3(30 km, (2 - d) km, 10 km); 目标 4(30 km, (2 + d) km, 10 km), 目标正确定位概率见表 2。

表 2 十字编队目标正确关联概率

Tab. 2 Correct associated probability of crossed arrayed target

d/km	1	3	5	7	9
正确关联概率	0.457	0.598	0.725	0.916	0.994

通过比较表 1、表 2 的结果可以看出, 随着目标间距增大, 正确关联概率增大, 水平编队正确关联概率比十字编队高。总体看来, 文中提出的方法正确关联率比较高, 可以满足实际要求。

4 结束语

在未来信息化战争中, 战场电磁环境将极为复杂, 在各种干扰的影响下, 多数时候只能获得目标的角度

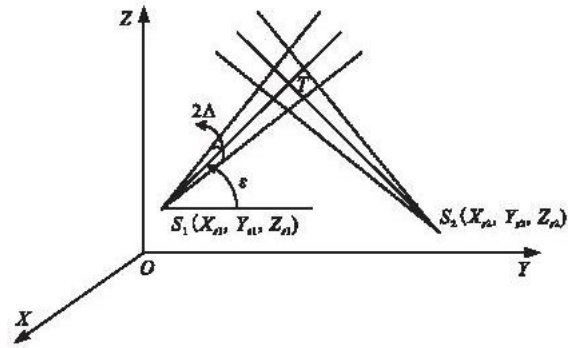


图 2 定位模糊区图

Fig. 2 Fuzzy position area

信息。在多目标情况下利用角度信息定位,就会存在虚假定位的问题。本文提出了一种基于最小角度门限判决的空基双平台多目标交叉定位假点剔除算法,其计算开销非常小,该方法能大大提高关联正确率。

参考文献:

- [1] Dufour F, Mariton M. Tracking a 3D maneuvering target with passive sensors[J]. IEEE trans on AES, 1991, 27(4):481 - 489.
- [2] Claude Jauffret, Denis Pillon. Observability in passive target motion analysis [J]. IEEE trans on AES, 1996, 32(4):1290 - 1300.
- [3] Passerieux J M, Van D Cappel. Optimal observer maneuver for bearing - only tracking[J]. IEEE trans on AES, 1998, 34(3):777 - 788.
- [4] Le Cadre J P, Jauffret C. Discrete - time observability and estimability analysis for bearings - only target motion analysis[J]. IEEE trans on AES, 1997, 33(1):78 - 80.
- [5] Ristic, Arulampalam, Musso. The influence of communication bandwidth on target tracking with angle only measurements from two platforms[J]. Signal processing, 2001, 81(9):1801 - 1811.
- [6] Fogel E, Gavish M. Nth - other dynamics target observability from angle measurements[J]. IEEE trans on AES, 1988, 24(3):305 - 308.
- [7] 姜亦武,王明宇,陈锋莉. 基于距离门限判决的交叉定位假点剔除算法[J]. 现代雷达, 2008, 30(8):46 - 48.
JIANG Yiwu, WANG Mingyu, CHEN Fengli. Algorithm of false location elimination based on range threshold judgment in cross - localization[J]. Modern radar, 2008, 30(8):46 - 48. (in Chinese)
- [8] 胡洪涛,敬忠良. 双平台交叉定位去除虚假点方法研究[J]. 航空电子技术, 2004, 35(12):29 - 32.
HU Hongtao, JING Zhongliang. Study on eliminating false intersection points in two platform cross location[J]. Avionics technology, 2004, 35(12):29 - 32. (in Chinese)
- [9] 修建娟,何友. 两站无源定位系统中的多目标跟踪算法研究[J]. 电子学报, 2002, 30(12):63 - 66.
XIU Jianjuan, HE You. Study on multitarget tracking algorithm in two direction finding location systems[J]. Acta electronica sinica, 2002, 30(12):63 - 66. (in Chinese)
- [10] 张海峰,李宏,吴建民. 一种双平台无源定位去除虚假点的新方法[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(4):256 - 257.
ZHANG Haifeng, LI Hong, WU Jianmin. A new method about eliminating false Intersection points in two platform passive location[J]. Journal of guidance of projectiles rockets and missiles, 2008, 28(4):256 - 257. (in Chinese)

(编辑:田新华)

An Algorithm of Multi - Target Elimination of False Intersection Points Based on Two Airborne Platforms

YU Xiao - dong, WANG Rui, YUE Shao - hua

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

Abstract: This article studies a method of eliminating the false localization of multiple targets on the basis of air based double flat roof, and gives a passive localization method based on min - angle threshold judgment. In this method first the "least distance method" cross - localization algorithm is used to work out the estimation value of the target position, and work out the pitch angle of the value compared with the value of main scout. Then, the D - value between the foregoing value and measured pitch value of main scout is worked out. Finally, by comparing the certain threshold with the D - value, the false dot which exceeds the threshold is eliminated. The result of simulation shows that using the method can enhance the correct probabilities of data association and reduce the calculation times which can meet the need of project.

Key words: passive location; min - angle; eliminating the false localization; threshold judgment