

基于多元统计分析理论的雷达网航迹 欺骗鉴别方法

孙殿星, 王国宏, 张翔宇

(海军航空工程学院电子信息工程系, 山东烟台 264001)

摘 要: 文章以雷达组网为研究背景,从虚假航迹形成原理出发,针对真假航迹统计特性的差异,提出了一种基于多元统计分析理论的雷达网航迹欺骗鉴别方法.利用电子战飞机(ECAV)编队对雷达网进行航迹欺骗干扰时,由于ECAV编队自身飞行控制等原因,引入一定的随机误差,引起了原有量测误差的变化.本文通过构造一种样本向量,将这种差异加以提取,然后利用似然比检验的方法对虚假航迹进行鉴别.仿真结果证明了该技术的可行性和有效性.

关键词: 雷达网; 航迹欺骗; 似然比检验

中图分类号: TN953.6

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2014)09-1680-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.09.003

Algorithm of Discriminating Phantom Track and Target Track for Radar Network Based on Multivariate Statistical Analysis Theory

SUN Dian-xing, WANG Guo-hong, ZHANG Xiang-yu

(Department of Electronic and Information Engineering, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai, Shandong 264001, China)

Abstract: In the presence of the statistical property of phantom track and target track, an algorithm of discriminating phantom track and target track is proposed, which is based on multivariate statistical analysis theory. The algorithm originates from the generation mechanism of phantom track in the background of radar network. When the phantom track is generated by the ECAVs, the variance of the phantom track is different from the variance of target track because of the random error caused by the ECAVs. A kind of sample vector is constructed to extract the variance then the phantom track is recognized by likelihood ratio tests. Simulation results verify the feasibility and validity of the proposed algorithm.

Key words: radar network; phantom track; likelihood ratio tests

1 引言

随着现代战争中电子对抗的愈加激烈,雷达的生存环境变得十分恶劣,因此学者们对雷达抗干扰技术进行了大量的研究^[1~3].与单部雷达相比,雷达网能够利用多传感器信息融合技术的独特优势,使其具有较强的“四抗能力”及较好的目标探测跟踪性能,但同时应运而生的是针对雷达网的各种干扰技术,尤其是针对雷达网的航迹欺骗干扰技术已成为近年来关注的焦点^[4~13].目前研究大多集中于虚假航迹的生成,根据问题的着眼点不同基本可以分为两大类,一类是从产生虚假航迹的干扰机入手(主要是ECAV),研究ECAV的协同方式、约束条件的影响等;一类是从被干扰的雷达网工作方式入

手,针对具体雷达参数,将距离欺骗和角度欺骗相结合以达到航迹欺骗的效果.但是目前针对雷达网如何鉴别虚假航迹、实现雷达网抗航迹欺骗干扰的研究很少有公开报道,文献[13]针对抗航迹欺骗干扰技术进行了简单的论述,介绍了几种对抗方法,但很大程度上要依靠操作员的经验.本文从虚假航迹的形成机理出发,针对ECAV编队对雷达网实施航迹欺骗干扰的情况,利用ECAV编队在飞行、侦查、定位、协同等环节引入的随机误差,提出了一种基于多元统计分析理论的雷达网抗航迹欺骗干扰方法.

2 鉴别虚假航迹的基本原理

针对雷达网的虚假航迹形成原理如图1所示,三架

电子战飞机分别针对三部雷达进行航迹欺骗干扰. E_1^1 、 E_2^1 、 E_3^1 分别为三架电子战飞机在 t_1 时刻的位置, 形成虚假目标 T_1 ; 飞机沿图中的虚线所标方向运动, 在 t_2 时刻的位置分别为 E_1^2 、 E_2^2 、 E_3^2 , 形成虚假目标 T_2 , 各个时刻的虚假目标点相关联最终形成虚假航迹 L .

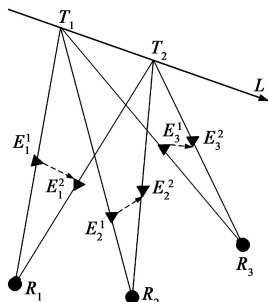


图1 形成虚假航迹示意图

通过上述分析可知, 要利用 ECAV 编队对雷达网进行航迹欺骗干扰, 需满足以下几个条件: 一是需要对所组网雷达 (实施航迹欺骗干扰的对象) 进行全面的侦查, 以获取雷达地理位置、工作参数等信息; 二是需对电子战飞机的飞行路线进行精密的规划; 三是要电子战飞机之间密切协同, 对飞机的飞行状态、干扰机的工作状态进行精确的控制。但是在实际中, 以上三个方面不可能做到完全准确, 其必定会引入一定的量测误差, 同时雷达自身的量测误差一定, 从而虚假航迹量测误差是上述两部分之和, 因此虚假航迹的量测误差不同于真实航迹的量测误差。若能构造某个检验统计量, “提取”出这种差异, 则可以将虚假航迹鉴别出来。

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_t + dX_1 \\ Y_t + dY_1 \\ X_t + dX_2 \\ Y_t + dY_2 \\ X_t + dX_3 \\ Y_t + dY_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \\ X_t \\ Y_t \\ X_t \\ Y_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -r_1\sin\theta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & r_1\cos\theta_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\theta_2 & -r_2\sin\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin\theta_2 & r_2\cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\theta_3 & -r_3\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sin\theta_3 & r_3\cos\theta_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dr_1 \\ d\theta_1 \\ dr_2 \\ d\theta_2 \\ dr_3 \\ d\theta_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中 $dr_1, d\theta_1, dr_2, d\theta_2, dr_3, d\theta_3$, 分别为距离与角度量测误差, 服从零均值高斯分布, 方差分别为 $\sigma_{r1}^2, \sigma_{\theta1}^2, \sigma_{r2}^2, \sigma_{\theta2}^2, \sigma_{r3}^2, \sigma_{\theta3}^2$; 设由雷达自身探测精度所决定的量测误差为 $dr_{11}, d\theta_{11}, dr_{21}, d\theta_{21}, dr_{31}, d\theta_{31}$, 服从零均值高斯分布, 方差分别为 $\sigma_{r11}^2, \sigma_{\theta11}^2, \sigma_{r21}^2, \sigma_{\theta21}^2, \sigma_{r31}^2, \sigma_{\theta31}^2$; 由电子战飞机引入的误差为 $dr_{12}, d\theta_{12}, dr_{22}, d\theta_{22}, dr_{32}, d\theta_{32}$, 服从零均值高斯分布, 方差分别为 $\sigma_{r12}^2, \sigma_{\theta12}^2, \sigma_{r22}^2, \sigma_{\theta22}^2, \sigma_{r32}^2, \sigma_{\theta32}^2$. 由于两种误差产生的原因不同且没有直接的关联性, 所以可认为两种误差是相互独立的, 则有: $\sigma_{ri}^2 = \sigma_{r1i}^2 + \sigma_{r2i}^2, i = 1, 2, 3; \sigma_{\theta i}^2 = \sigma_{\theta1i}^2 + \sigma_{\theta2i}^2, i = 1, 2, 3$. 设总量测误差

3 航迹误差分析

不失一般性, 以三部两坐标组网雷达在 t 时刻的观测为例. 如图 2 所示, R_1, R_2, R_3 为三部两坐标雷达, 以雷达 R_1 为原点建立坐标系, 则三部雷达的坐标分别为 $(0, 0), (x_{R2}, 0), (x_{R3}, 0)$, r_1, r_2, r_3 分别为三部雷达在 t 时刻获得的距离量测, $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 分别为三部雷达在 t 时刻获得的方位量测, T_1, T_2, T_3 分别为三部雷达在 t 时刻确定的目标位置量测, 经关联后确定为来自同一目标, 设其坐标分别为 $(X_t, Y_t), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3)$, 目标真实位置坐标为 (X_t, Y_t) , 从图 2 中可得如下关系式:

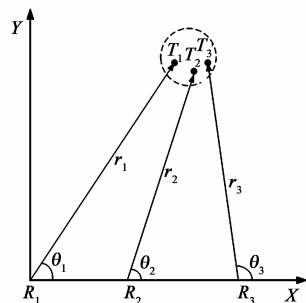


图2 t 时刻三部雷达观测示意图

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ X_3 \\ Y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1\cos\theta_1 \\ r_1\sin\theta_1 \\ r_2\cos\theta_2 + x_{R2} \\ r_2\sin\theta_2 \\ r_3\cos\theta_3 + x_{R3} \\ r_3\sin\theta_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

设 $X_1, Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3$ 的误差分别为 $dX_1, dY_1, dX_2, dY_2, dX_3, dY_3$, 结合式 (1) 则有:

的协方差阵为 Σ , 雷达自身探测精度所决定的量测误差协方差阵为 Σ_1 , 电子战飞机自身引入的量测误差协方差阵为 Σ_2 , 则有: $\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2$.

从上式可知: 若航迹是真实航迹, 则 $\Sigma_2 = 0$, 从而 $\Sigma = \Sigma_1$, 且 Σ_1 是由雷达自身所决定的已知矩阵; 若航迹是虚假航迹, 则 $\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2$, 其中 Σ_2 是正定矩阵, 即航迹的量测误差会增大。

4 构造检验的样本

通过上述分析可知, 如果能够构造出一种检验的样本对量测误差方差阵 Σ 进行检验, 那么虚假航迹的

鉴别就转化为一个假设检验问题:

$H_0: \mathbf{\Sigma} = \mathbf{\Sigma}_1$ (航迹为真实航迹)

$$\mathbf{e} = \begin{pmatrix} X_1 - X_2 \\ Y_1 - Y_2 \\ X_2 - X_3 \\ Y_2 - Y_3 \\ X_3 - X_1 \\ Y_3 - Y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -r_1\sin\theta_1 & -\cos\theta_2 & r_2\sin\theta_2 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & r_1\cos\theta_1 & -\sin\theta_2 & -r_2\cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\theta_2 & -r_2\sin\theta_2 & -\cos\theta_3 & r_3\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & \sin\theta_2 & r_2\cos\theta_2 & -\sin\theta_3 & -r_3\cos\theta_3 \\ -\cos\theta_1 & r_1\sin\theta_1 & 0 & 0 & \cos\theta_3 & -r_3\sin\theta_3 \\ -\sin\theta_1 & -r_1\cos\theta_1 & 0 & 0 & \sin\theta_3 & r_3\cos\theta_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dr_1 \\ d\theta_1 \\ dr_2 \\ d\theta_2 \\ dr_3 \\ d\theta_3 \end{pmatrix} = \mathbf{Q} \begin{pmatrix} dr_1 \\ d\theta_1 \\ dr_2 \\ d\theta_2 \\ dr_3 \\ d\theta_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

显然该向量服从均值向量为 $\mathbf{0}$, 方差阵为 $\mathbf{Q}\mathbf{\Sigma}\mathbf{Q}^T$ 的高斯分布, 其中矩阵 \mathbf{Q} 是随时间变化的矩阵. 若能对式(3)两端同时左乘矩阵 \mathbf{Q} 的逆矩阵, 则可以构造随机向量 \mathbf{e}' , 该向量方差阵为常数矩阵 $\mathbf{\Sigma}$, 即去掉了时间的耦合, 那么每一时刻该向量的取值是均值为零、方差阵为 $\mathbf{\Sigma}$ 正态总体的一个样本, 这样就能用其对假设 H_0 (即航迹的真伪) 进行鉴别, 但是此处 \mathbf{Q} 为奇异矩阵, 因此需要对 \mathbf{e} 进行改造.

设量测 r_3, θ_3 的真值为 r_3^z, θ_3^z , 则:

$$E(r_3 - r_3^z) = 0, E(\theta_3 - \theta_3^z) = 0 \quad (4)$$

鉴于式(3)中矩阵 \mathbf{Q} 的奇异性, 我们将式(3)的两端同时加上向量 $\mathbf{L}_e, \mathbf{L}_e$ 表达式如下:

$$\mathbf{L}_e = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad r_3 - r_3^z \quad \theta_3 - \theta_3^z)^T$$

$$\mathbf{I} = \mathbf{e} + \mathbf{L}_e = \begin{pmatrix} X_1 - X_2 \\ Y_1 - Y_2 \\ X_2 - X_3 \\ Y_2 - Y_3 \\ X_3 - X_1 + r_3 - r_3^z \\ Y_3 - Y_1 + \theta_3 - \theta_3^z \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} r_1\cos\theta_1 - r_2\cos\theta_2 - x_{R2} \\ r_1\sin\theta_1 - r_2\sin\theta_2 \\ r_2\cos\theta_2 + x_{R2} - r_3\cos\theta_3 - x_{R3} \\ r_2\sin\theta_2 - r_3\sin\theta_3 \\ r_3\cos\theta_3 + x_{R3} - r_1\cos\theta_1 + r_3 - r_3^z \\ r_3\sin\theta_3 - r_1\sin\theta_1 + \theta_3 - \theta_3^z \end{pmatrix} \quad (5)$$

这样就可以构造出随机向量 \mathbf{I} , 具体如式(5)所示. 我们将向量 \mathbf{e} 加上向量 \mathbf{L}_e 的目的是使下文中式(6)的矩阵 \mathbf{P} 非奇异, 并且构造随机向量 \mathbf{I} 的方法并不唯一, 但其目的一致: 使矩阵 \mathbf{P} 非奇异, 从而可以通过对 \mathbf{P} 求逆得到式(8)中的样本向量 \mathbf{J} .

由于向量 \mathbf{I} 中各个随机变量都是服从正态分布的, 因此该向量近似服从联合正态分布, 易知其均值向量为 $\mathbf{0}$, 设其方差阵为 \mathbf{R} , 则:

$$\mathbf{R} = \mathbf{P}\mathbf{\Sigma}\mathbf{P}^T \quad (6)$$

$H_1: \mathbf{\Sigma} \neq \mathbf{\Sigma}_1$ (航迹为虚假航迹)

由式(1)、式(2)可以得到如下随机向量 \mathbf{e} :

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -r_1\sin\theta_1 & -\cos\theta_2 & r_2\sin\theta_2 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & r_1\cos\theta_1 & -\sin\theta_2 & -r_2\cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\theta_2 & -r_2\sin\theta_2 & -\cos\theta_3 & r_3\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & \sin\theta_2 & r_2\cos\theta_2 & -\sin\theta_3 & -r_3\cos\theta_3 \\ -\cos\theta_1 & r_1\sin\theta_1 & 0 & 0 & \cos\theta_3 + 1 & -r_3\sin\theta_3 \\ -\sin\theta_1 & -r_1\cos\theta_1 & 0 & 0 & \sin\theta_3 & r_3\cos\theta_3 + 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

从式(7)易知 \mathbf{P} 为非奇异矩阵, 从而可得随机向量 \mathbf{J} :

$$\mathbf{J} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{I} \quad (8)$$

\mathbf{J} 服从均值为 $\mathbf{0}$, 方差阵为 $\mathbf{\Sigma}$ 的正态分布, \mathbf{J} 的每一个取值即为一个样本向量.

在实际应用中因为真实值 r_3^z, θ_3^z 不可能获得, 因此用其估计值代替, 为提高其精度我们采用三部雷达的集中式融合算法, 如下所示^[14]:

状态方程:

$$\mathbf{X}(k+1) = \mathbf{\Phi}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{V}(k) \quad (9)$$

雷达 i 的量测方程:

$$\mathbf{Z}_i(k+1) = \mathbf{H}_i(k+1)\mathbf{X}(k+1) + \mathbf{W}_i(k+1) \quad (10)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k+1) = \hat{\mathbf{X}}(k+1|k) + \sum_{i=1}^3 \mathbf{K}_i(k+1) [\mathbf{Z}_i(k+1) - \mathbf{H}_i \hat{\mathbf{X}}(k+1|k)] \quad (11)$$

$$\hat{\mathbf{X}}(k+1|k) = \mathbf{\Phi}(k)\hat{\mathbf{X}}(k|k)$$

$$\mathbf{K}(k+1) = [\mathbf{K}_1(k+1), \mathbf{K}_2(k+1), \mathbf{K}_3(k+1)]$$

$$\mathbf{P}(k+1|k+1)^{-1} = \mathbf{P}(k+1|k)^{-1} + \sum_{i=1}^3 [\mathbf{P}_i(k+1|k+1)^{-1} - \mathbf{P}(k+1|k)^{-1}]$$

$$\mathbf{P}(k+1|k) = \mathbf{\Phi}(k)\mathbf{P}(k)\mathbf{\Phi}(k)^T + \mathbf{G}(k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{G}(k)^T$$

利用式(11)融合估计的结果计算 r_3^z, θ_3^z , 如下所示:

$$r_3^z \approx [\hat{x}(k+1|k+1)^2 + \hat{y}(k+1|k+1)^2]^{1/2} \quad (12)$$

$$\theta_3^z \approx \begin{cases} \arctg[\frac{\hat{y}(k+1|k+1)}{\hat{x}(k+1|k+1)}], & \frac{\hat{y}(k+1|k+1)}{\hat{x}(k+1|k+1)} \geq 0 \\ \arctg[\frac{\hat{y}(k+1|k+1)}{\hat{x}(k+1|k+1)}] + \pi, & \frac{\hat{y}(k+1|k+1)}{\hat{x}(k+1|k+1)} \leq 0 \end{cases} \quad (13)$$

5 虚假航迹鉴别算法

由上所述,虚假航迹的鉴别问题已经转化成一个假设检验问题,原假设为:协方差阵 $\Sigma = \Sigma_1$. 利用似然比检验方法,修正的似然比为^[15]:

$$\lambda = (N-1) \ln |\Sigma_1| - (N-1)p - (N-1) \ln |S| + (N-1) \text{tr}(\Sigma_1^{-1} S) \quad (14)$$

式中 λ 为修正的似然比, N 为观测的个数(可以根据实际情况在各个时刻上选取), p 为随机向量的维数(此处 $p=6$), S 为观测样本方差阵:

$$S = \frac{1}{N-1} \sum_{a=1}^N (J_a - \bar{J}_a)(J_a - \bar{J}_a)^T \quad (15)$$

$$\bar{J}_a = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N J_a \quad (16)$$

上式 J_a 为第 a 个观测样本,由式(5)、式(7)、式(8)求得.

判别准则为:当 $\lambda \geq \lambda_c$ 时,判定 $\Sigma \neq \Sigma_1$,航迹为虚假航迹;当 $\lambda \leq \lambda_c$ 时,判定 $\Sigma = \Sigma_1$,航迹为真实航迹; λ_c 为门限,其取值随样本容量大小、显著性水平及随机向量的维数 p (即样本向量的维数)变化,具体取值可以查表获得^[15],本文将 $p=6$ 时 λ_c 的部分取值列于附录的表格中,算法流程如下图所示:

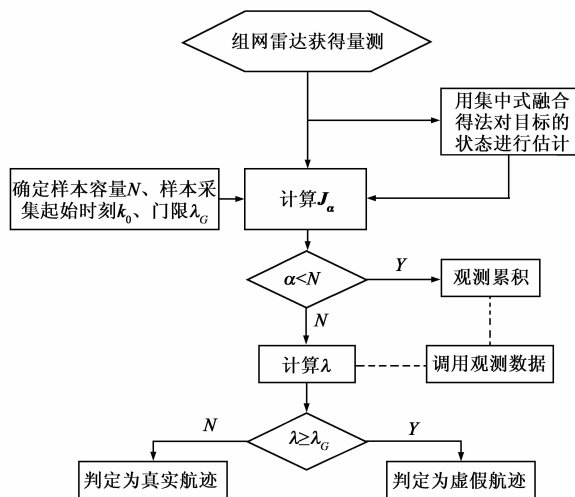


图3 虚假航迹鉴别算法流程

6 仿真分析

6.1 仿真初始条件

不失一般性,考虑三部两坐标雷达组网,以雷达1为原点建立直角坐标系,雷达2的位置坐标是(50km, 0km),雷达3的位置坐标是(120km, 0km),雷达采样周期为1s;拟生成的虚假目标的航迹起始位置为(30km, 100km),其 X 方向速度为380m/s, Y 方向速度为-200m/s,雷达网对其跟踪200s,三部雷达1的测角误差标准

差均为0.1°,测距误差标准差均为100m;由电子战飞机1、2、3所引入的虚假目标位置误差标准差分别为85m、85m、75m;由电子战飞机1、电子战飞机2、电子战飞机3所引入的虚假目标方位角误差标准差分别为0.075°、0.085°、0.075°;取第170s~200s之间的31个样本,检验显著性水平取0.05,蒙特卡洛仿真次数为300次.

6.2 仿真结果与分析

其它参数设定不变,改变雷达1的距离量测误差标准和角度量测误差标准差,仿真结果如图4、图5所示.可见随着雷达方位角量测精度和距离量测精度的下降,虚假航迹的正确鉴别率呈下降趋势,这是由于雷达量测的误差增大会使电子战飞机引入的量测误差相对降低,即雷达量测误差的增大会相对削弱电子战飞机引入量测误差所造成的差异,使区分难度加大.

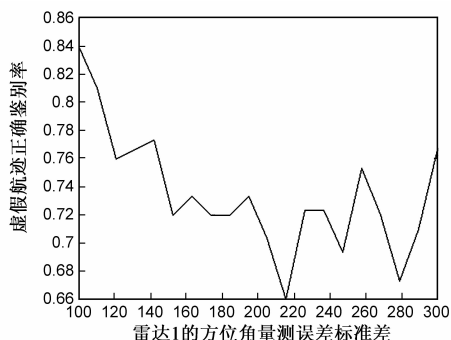


图4 雷达的距离量测误差对虚假航迹鉴别的影响

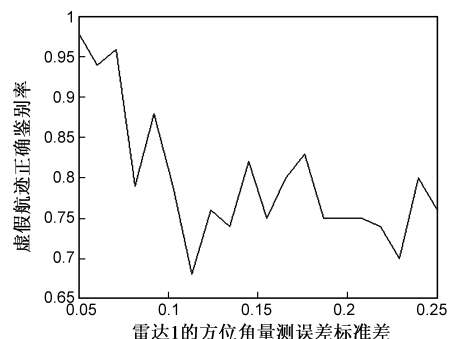


图5 雷达的方位角量测误差对虚假航迹鉴别的影响

电子战飞机引入的位置量测误差和方位角量测误差对虚假航迹鉴别率的影响如图6、图7所示.可知随着电子战飞机引入的量测误差增大,对虚假航迹正确鉴别率呈上升趋势.这是由于在雷达量测误差不变的情况下,电子战飞机引入的量测误差增大,会使真假航迹的差异加大,进而使区分的难度降低,正确鉴别率提高.

改变样本取值的起止时刻,样本容量大小不变为31,仿真结果如图8所示.可见在航迹初始阶段正确鉴别率不高,随着对航迹状态估计的误差逐渐减小,正确

鉴别率显著提高.这是因为在构造样本向量时,用估计值代替式(5)中的方位角、距离真值,随着估计值趋近真值,虚假航迹的鉴别性能得到改善.

仿真初始条件不变,由电子战飞机 1、电子战飞机 2、电子战飞机 3 所引入的虚假目标方位角误差标准差均为 0.085° ;根据不同的样本容量,显著性水平分别取 0.01 和 0.05 两种情况,门限 λ_c 的取值及虚假航迹的正确鉴别率如下表所示:

通过对比表 1 和表 2 中门限 λ_c 的取值及虚假航迹正确鉴别率的仿真结果可知:在显著性水平不变的情况下,随着样本容量的增大,虚假航迹正确鉴别率不断提高;在样本容量、随机向量维数不变的条件下 α 取值越小, λ_c 的取值就越大即门限越高,虚假航迹的正确鉴别率会降低,同时将真实航迹误判为虚假航迹的错误鉴别率(即显著性水平 α 的取值)也会降低;同样 α 取值增大,门限会降低,虚假航迹的正确鉴别率提高,同时将真实航迹误判为虚假航迹的错误鉴别率也会提高.因此,要在提高正确鉴别率的同时减小错误鉴别率,行之有效的方法就是增大样本容量.若样本容量一定,则只能在两者之间进行折中和取舍.

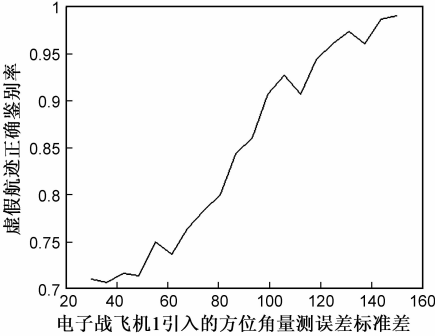


图6 电子战飞机1引入的位置量测误差对虚假航迹鉴别的影响

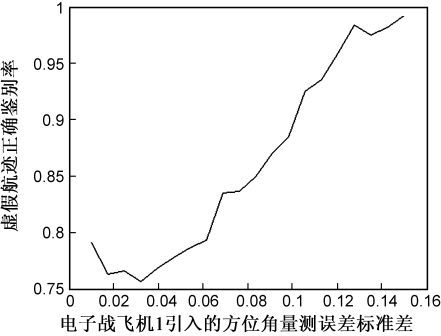


图7 电子战飞机1引入的方位角量测误差对虚假航迹鉴别的影响

表 1 显著性水平 α 取 0.05 时门限 λ_c 取值与虚假航迹正确鉴别率

样本容量	21	25	27	29	31
门限 λ_c	36.87	36.05	35.75	35.49	35.28
虚假航迹正确鉴别率(%)	68.00	76.00	79.67	84.67	88.67

表 2 显著性水平 α 取 0.01 时门限 λ_c 取值与虚假航迹正确鉴别率

样本容量	21	25	27	29	31
门限 λ_c	43.99	42.99	42.63	42.32	42.07
虚假航迹正确鉴别率(%)	44.67	55.33	64.00	67.00	76.00

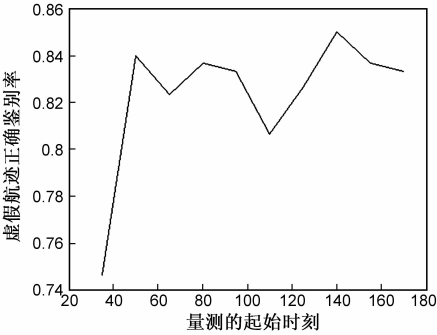


图8 量测的选取对虚假航迹鉴别的影响

7 结论

本文章以雷达组网为研究背景,从虚假航迹形成原理出发,针对真假航迹统计特性的差异,综合运用了多元统计分析理论及集中式状态融合估计技术,提出了一种雷达网抗航迹欺骗干扰方法;进行了仿真实验,实验结果表明该方法能够较好地对虚假航迹进行鉴别;分析了各个参数对虚假航迹正确鉴别率的影响,对实际工程应用具有一定的理论指导意义.

参考文献

[1] 周万幸. 一种新型极化抗干扰技术研究[J]. 电子学报, 2009, 37(3): 454 – 460.
Zhou Wan-xing. Research of a new type techniques for anti-interference using polarization[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(3): 454 – 460. (in Chinese)
[2] 饶彬, 王雪松, 等. 球坐标系下具有抗干扰能力的弹道导弹跟踪算法[J]. 电子学报, 2009, 37(9): 1944 – 1949.
Rao Bin, Wang Xue-song, et al. Ballistic missile tracking algorithm with anti-Jamming capability in spherical coordinates[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(9): 1944 – 1949. (in Chinese)
[3] 李修和, 陈永光, 等. 不同干扰决策准则下的双基地雷达探测能力研究[J]. 电子学报, 2004, 32(12): 2063 – 2066.
Li Xiu-he, Chen Yong-guang, et al. Detecting capability of bistatic radar under different jamming decision criterion[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12): 2063 – 2066. (in Chinese)
[4] 鲁晓倩. 组网雷达航迹干扰研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007. 22 – 51.
[5] Meir Pachter. Concepts for generating coherent radar phantom tracks using cooperating vehicles[A]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit[C]. Providence:

American Institute of Aeronautics and Astronautics,2004. 1113 – 1127.

[6] 范振宇,王磊,等. 多机协同控制下的航迹欺骗技术[J]. 信息与电子工程,2010,8(3):265 – 268.

Fan Zhen-yu, Wang Lei, et al. Technology of track deception for cooperative control of multiple Electronic Combat Air Vehicles[J]. Information and Electronic Engineering, 2010, 8(3): 265 – 268. (in Chinese)

[7] Keith B. Purvis. Feasible flight paths for cooperative generation of a phantom radar track[A]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit[C]. Providence: American Institute of Aeronautics and Astronautics,2004. 1167 – 1186.

[8] Il-hyoung Lee. Cooperative control of multiple electronic combat air vehicles for electronic attack[A]. SICE Annual Conference 2008[C]. Japan: The university Electro-Communications, 2008. 2127 – 2130.

[9] 周续力,张伟. 对组网雷达的多目标航迹欺骗[J]. 火力与指挥控制,2008,33(6):136 – 138.

Zhou Xu-li, Zhang Wei. Multi-target track deception against radar net working system[J]. Fire Control and Command Control,2008,33(6):136 – 138. (in Chinese)

[10] 周续力. 对搜索警戒雷达的距离欺骗和航迹欺骗研究[D]. 太原:中北大学,2008. 35 – 60.

[11] 孙龙祥,赵波,等. 一种具有航迹特征的雷达假目标产生技术[J]. 雷达科学与技术,2005,3(4):198 – 202.

Sun Long-xiang, Zhao Bo, et al. A technique for generating the radar's false target with signature of flight path[J]. Radar Science and Technology, 2005, 3(4): 198 – 202. (in Chinese)

[12] Il-Hyoung Lee. Optimal Phantom tack generation for multiple electronic combat air vehicles[A]. International Conference on Control, Automation and Systems 2008 [C]. Seoul: COEX, 2008. 29 – 33.

[13] 倪建春,王宝. 有源欺骗干扰及雷达反对抗策略研究[J]. 舰船电子对抗,2011,24(3):5 – 8.

Ni Jian-chun, Wang Bao. Research into the active deception jamming and radar counter-countermeasure [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2011, 24(3): 5 – 8. (in Chinese)

[14] 何友,王国宏,等. 信息融合理论及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2010. 251 – 257

[15] T W Anderson. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis[M]. 北京:人民邮电出版社,2010. 330 – 336.

作者简介



孙殿星 男,1983 年 6 月出生,黑龙江伊春人.海军航空工程学院电子信息工程系博士研究生.研究方向为雷达组网.

E-mail: sdxdd. hi @ 163. com



王国宏 男,1963 年 10 月出生,山西沁水人.海军航空工程学院电子信息工程系教授.研究方向为多源信息融合、雷达组网、微弱目标跟踪、系统误差配准等.

附录

修正似然比检验 $\Sigma = \Sigma_1$ 的门限 λ_G 取值表 ($\Pr\{\lambda \geq \lambda_G\} = \alpha, \alpha$ 为显著性水平)

样本容量 \ 显著性水平	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	25	27	29	31
0.05	40.90	40.00	39.30	38.70	38.22	37.81	37.45	37.14	36.87	36.63	36.41	36.05	35.75	35.49	35.28
0.01	49.00	47.80	47.00	46.20	45.65	45.13	44.70	44.32	43.99	43.69	43.43	42.99	42.63	42.32	42.07