

DOI: 10.7652/xjtuxb201706009

一种考虑站址误差的抗欺骗式假目标方法

刘洁怡, 张林让, 赵珊珊, 张娟, 于恒力

(西安电子科技大学雷达信号处理国家重点实验室, 710071, 西安)

摘要: 针对现有数据融合算法中,组网雷达各节点雷达忽略自身站址误差而导致抗干扰性能降低的问题,提出一种考虑站址误差的抗欺骗式假目标方法。首先,通过增加量测过程中可能产生的各节点雷达的站址误差变量,改进融合算法的误差协方差矩阵;然后,利用改进后的算法计算各节点雷达对应量测目标之间的马氏距离,判断目标的空间相关性;最后,利用空间相关性的差异,对真假目标进行有效鉴别。仿真结果表明:该方法能够将组网雷达对真目标检测概率稳定在99%以上;在站址误差为60 m的条件下,组网雷达对假目标的虚警概率可降低10%以上。

关键词: 组网雷达;数据融合;欺骗式干扰;站址误差;空间相关性

中图分类号: TN973 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2017)06-0054-05

A Method Against Deception-False-Target Jamming Based on Position Errors

LIU Jieyi, ZHANG Linrang, ZHAO Shanshan, ZHANG Juan, YU Hengli

(National Laboratory of Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: A method against deception-false-target jamming based on position errors is proposed to solve the problem that the anti-jamming performance of the existing data fusing algorithm is decreased by ignoring the position error of each radar node in the netted system. Firstly, the method improves the error covariance matrix by increasing variables of position error for each radar node. Then, an updated algorithm is applied to calculate the Markov distance between targets to judge the spatial correlation. Finally, the differences between spatial correlations are utilized to discriminate targets. Simulation results show that the identification rate of the proposed method is stable and is over 99% for true targets. When the position error is more than 60 m, the false-alarm probability of the netted system decreases by over 10% for false targets.

Keywords: netted radar; data fusion; deception jamming; position error; spatial correlation

随着现代电子战争日趋激烈,有源欺骗式干扰技术因具有成本低、性价比高的特点而被广泛应用,这对雷达系统的工作性能和生存能力构成了严峻的挑战和威胁^[1-7]。有源欺骗式干扰主要通过数字射频存储器(DRFM)对真实信号进行截获、存储和转发,精确模仿雷达波形,在真实目标附近产生时域、频域和空域特征都十分相似的假目标,以迷惑和扰

乱雷达对真实目标的探测,严重影响了雷达对真实目标的跟踪精度,同时消耗雷达系统资源。因此,如何有效对抗这种高度欺骗性假目标是亟待解决的问题,对提高雷达探测和跟踪能力具有重要意义。

针对有源欺骗式干扰的对抗,现有组网雷达系统采用点迹信息抗干扰方法,主要是基于真目标空间相关、假目标空间不相关的特点,剔除有源假目

收稿日期: 2016-11-12。 作者简介: 刘洁怡(1991—),女,博士生;张林让(通信作者),男,教授,博士生导师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61301281)。

网络出版时间: 2017-03-13

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20170313.2132.014.html>

标。文献[8]提出可利用异地配置的主/被动雷达中被动雷达的量测信息抗欺骗式干扰,但异构雷达对雷达类型要求较为苛刻。文献[9]提出一种自适应门限同源检验进行假目标鉴别的方法,但在远场区域对假目标的误鉴别概率过高。针对此问题,文献[10]提出一种联合利用目标位置信息和速度量测进行有源假目标鉴别的方法。不同于上述点迹关联鉴别假目标的方法,文献[11]利用相同原理通过进行航迹关联来鉴别有源假目标。然而,现有文献均忽略了真实作战环境中,雷达系统的平台是不断运动的,并非静止状态。具体表现为雷达系统载体的姿态随海浪、气流等不停变化,即雷达的站址位置是动态变化的。由于在动态过程中对雷达站位置的测量误差较大,组网中各雷达间的空间对齐存在一定困难,从而将影响到协同抗干扰的性能,因此需要分析雷达平台定位误差对协同抗干扰性能的影响并提出相应的补偿方法。

基于以上问题,本文提出一种考虑站址误差的抗欺骗式假目标方法,在现有模型的基础上加入雷达站的站址误差变量,使模型适用于更多作战环境,提升参考真实性。通过仿真验证,可以得出本文提出的算法较以往算法,真目标的鉴别概率和假目标的被欺骗概率均有升高,可为真实作战条件提供更准确的检测性能。

1 组网雷达系统及数据模型

组网雷达系统由 N 部节点雷达组成,其中第 i 个节点雷达的空间位置可表示为 $\mathbf{R}_i = [x_i, y_i, z_i]^T$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$,且所有节点雷达同时对空域中的目标所在区域进行探测。对于第 i 个节点雷达,在以自身为原点的极坐标中检测到真实目标的参数为 $\mathbf{Z}_i = [r_i, \theta_i, \varphi_i]^T$,其中 r_i, θ_i, φ_i 分别表示节点雷达距目标的径向距离、方向角和俯仰角。自卫式干扰机为掩护真实目标,复制接收到的雷达信号,在被保护的真正目标周边产生单个或多个与真实回波具有不同时延的假目标回波,即可表示为在真实目标与雷达连线的延长线上产生虚假目标,从而达到对各节点雷达实施距离欺骗式干扰的目的。真实战场环境中,由于组网雷达中各节点雷达对自身定位存在误差,将自身雷达站位置由 $\mathbf{R}_i$ 误定位至 $\mathbf{R}'_i$,使得相对应的距离欺骗式假目标位置偏离预判位置,具体分布如图 1 所示。

由于各节点雷达对不同目标的量测数据不同步,因此在组网雷达数据融合中心进行点迹信息融

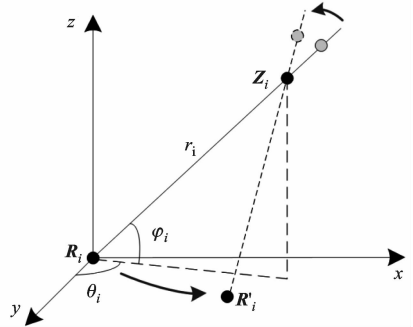


图 1 组网雷达分布及真假目标信息图

合之前,可以通过外推的方法,对回波数据进行时间对齐。时间对齐之后,需要对目标回波数据进行空间对齐,即将组网雷达中各节点雷达的量测数据转换到一个统一的直角坐标系中。对于第 i 个节点雷达,真实目标 $\mathbf{Z}_i$ 变换后的统一坐标为 $\mathbf{Z}_{ii} = [x_{ii}, y_{ii}, z_{ii}]^T$,三维坐标具体表示为

$$\begin{cases} x_{ii} = r_i \cos \theta_i \cos \varphi_i + x_i \\ y_{ii} = r_i \sin \theta_i \cos \varphi_i + y_i \\ z_{ii} = r_i \sin \varphi_i + z_i \end{cases} \quad (1)$$

由于雷达站对自身的定位误差趋于 0,因此空间对齐后,推导节点雷达 i 对目标的定位误差^[12]可用微分方式表示,具体表示为

$$\begin{bmatrix} dx_{ii} \\ dy_{ii} \\ dz_{ii} \end{bmatrix} = \mathbf{C} \begin{bmatrix} dr_i \\ d\theta_i \\ d\varphi_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dx_i \\ dy_i \\ dz_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i \cos \varphi_i & -r_i \sin \theta_i \cos \varphi_i & -r_i \cos \theta_i \sin \varphi_i \\ \sin \theta_i \cos \varphi_i & r_i \cos \theta_i \cos \varphi_i & -r_i \sin \theta_i \sin \varphi_i \\ \sin \varphi_i & 0 & r_i \cos \varphi_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

由式(2)可以得出,对目标进行空间对齐后,目标定位误差 $\boldsymbol{\delta}_{ii} = [dx_{ii}, dy_{ii}, dz_{ii}]^T$,主要由雷达站对目标的量测误差 $\boldsymbol{\delta}_{Z_i} = [dr_i, d\theta_i, d\varphi_i]^T$ 和雷达站对自身定位产生的站址误差 $\boldsymbol{\delta}_{R_i} = [dx_i, dy_i, dz_i]^T$ 组成。其中,量测误差主要分为测距误差和测角误差,测距、测角误差均服从均值为 0 的高斯分布^[13-14]。站址误差是由于雷达站对自身定位不准确而产生的,站址误差服从均值为 0 的高斯分布^[13]。由于目标的定位误差与量测误差、站址误差之间呈线性关系,高斯分布仍然有效。因此,定位误差是服从均值为 0 的高斯分布随机变量。定位误差协方差矩阵为

$$\mathbf{P}_i = E[\boldsymbol{\delta}_{ii} \boldsymbol{\delta}_{ii}^T] = \mathbf{C} E[\boldsymbol{\delta}_{Z_i} \boldsymbol{\delta}_{Z_i}^T] \mathbf{C}^T + E[\boldsymbol{\delta}_{R_i} \boldsymbol{\delta}_{R_i}^T] \quad (4)$$

具体表示为

$$\left. \begin{aligned} \delta_{Z_i} \delta_{Z_i}^T &= \text{diag}[\sigma_{r_i}^2, \sigma_{\theta_i}^2, \sigma_{\varphi_i}^2] \\ \delta_{R_i} \delta_{R_i}^T &= \text{diag}[\sigma_{x_{s_i}}^2, \sigma_{y_{s_i}}^2, \sigma_{z_{s_i}}^2] \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中: $\sigma_{r_i}^2$ 、 $\sigma_{\theta_i}^2$ 、 $\sigma_{\varphi_i}^2$ 分别表示距离、方向角、俯仰角的量测精度; $\sigma_{x_{s_i}}^2$ 、 $\sigma_{y_{s_i}}^2$ 、 $\sigma_{z_{s_i}}^2$ 分别表示三坐标雷达对不同坐标的站址误差精度; $E[\cdot]$ 表示取期望。定义

$$\mathbf{P}_i = \begin{bmatrix} \sigma_{x_i}^2 & \sigma_{x_i} \sigma_{y_i} & \sigma_{x_i} \sigma_{z_i} \\ \sigma_{x_i} \sigma_{y_i} & \sigma_{y_i}^2 & \sigma_{y_i} \sigma_{z_i} \\ \sigma_{x_i} \sigma_{z_i} & \sigma_{y_i} \sigma_{z_i} & \sigma_{z_i}^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中

$$\sigma_{x_i}^2 = (\cos^2 \theta_i \cos^2 \varphi_i \sigma_{r_i}^2 + r_i^2 \sin^2 \theta_i \cos^2 \varphi_i \cdot \sigma_{\theta_i}^2 + r_i^2 \cos^2 \theta_i \sin^2 \varphi_i \sigma_{\varphi_i}^2) + \sigma_{x_{s_i}}^2 \quad (7)$$

$$\sigma_{y_i}^2 = (\sin^2 \theta_i \cos^2 \varphi_i \sigma_{r_i}^2 + r_i^2 \cos^2 \theta_i \cos^2 \varphi_i \cdot \sigma_{\theta_i}^2 + r_i^2 \sin^2 \theta_i \sin^2 \varphi_i \sigma_{\varphi_i}^2) + \sigma_{y_{s_i}}^2 \quad (8)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = (\sin^2 \varphi_i \sigma_{r_i}^2 + r_i^2 \cos^2 \varphi_i \sigma_{\varphi_i}^2) + \sigma_{z_{s_i}}^2 \quad (9)$$

$$\sigma_{x_i} \sigma_{y_i} = 0.5 \sin 2\theta_i (\cos^2 \varphi_i \sigma_{r_i}^2 - \cos^2 \varphi_i r_i^2 \sigma_{\theta_i}^2 + r_i^2 \sin^2 \varphi_i \sigma_{\varphi_i}^2) \quad (10)$$

$$\sigma_{x_i} \sigma_{z_i} = 0.5 \cos \theta_i \sin 2\varphi_i (\sigma_{r_i}^2 - r_i^2 \sigma_{\varphi_i}^2) \quad (11)$$

$$\sigma_{y_i} \sigma_{z_i} = 0.5 \sin 2\varphi_i (\sin \theta_i \sigma_{r_i}^2 - r_i^2 \cos \theta_i \sigma_{\theta_i}^2) \quad (12)$$

针对真实战场环境中多假目标导致组网雷达系统出现的组合爆炸问题,可应用最近邻关联的方法判别所有可能的关联量测序列,得到欧式距离最近的组合进行假设检验。

2 数据融合算法

基于真目标空间相关,而假目标空间不相关的特点,对得到的任意两组量测值 $\mathbf{Z}_j$ 和 $\mathbf{Z}_k$ 进行假设检验,假设条件 H_0 表示两量测值 $\mathbf{Z}_j$ 和 $\mathbf{Z}_k$ 均对应真实目标;假设条件 H_1 表示其对立假设,即两量测值 $\mathbf{Z}_j$ 和 $\mathbf{Z}_k$ 中至少一个对应欺骗式假目标。

在 H_0 成立的条件下,对于两个相互独立的雷达站,每个雷达站对目标位置的定位误差均服从均值为 0 的高斯分布^[10],其方差为 $\mathbf{P}$ 。真实情况中,无论站址误差还是量测误差都是非线性的变换方式,并不能线性相加。为了方便分析推导,在工程实践过程中均假定各误差服从线性变换^[9-11]。从而,任两节点雷达量测值误差之差 $\Delta \mathbf{R}_{jk} = \delta_{Z_j} - \delta_{Z_k} \sim N(0, \mathbf{\Sigma}_{jk})$ 也近似服从 0 均值的高斯分布。其中, $\mathbf{\Sigma}_{jk}$ 的定义如下

$$\mathbf{\Sigma}_{jk} = E\{[\delta_{Z_j} - \delta_{Z_k}][\delta_{Z_j} - \delta_{Z_k}]^T\} = \mathbf{P}_j + \mathbf{P}_k \quad (13)$$

由于量测误差和站址误差都是近似高斯分布,所以估计值 $\mathbf{\Sigma}_{jk}$ 可能会出现误差,但本文假设的理想条件下,点迹关联、多站数据融合处理方法均未考虑

估计值出现的误差。

选择两雷达量测值之间的马氏距离 d_{jk} 为统计检验量,其中 $d_{jk} = (\mathbf{Z}_{tj} - \mathbf{Z}_{tk})^T \mathbf{\Sigma}_{jk}^{-1} (\mathbf{Z}_{tj} - \mathbf{Z}_{tk})$, 近似服从 χ^2 分布,即在 H_0 成立的条件下,马氏距离服从 χ^2 分布。据此可对 H_0 进行假设检验,假设检验模型如下

$$\left. \begin{aligned} d_{jk} &\leq \zeta, & H_0 \text{ 成立} \\ d_{jk} &> \zeta, & H_1 \text{ 成立} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

即若 $d_{jk} \leq \zeta$ 成立,则接受 H_0 , 否则接受 H_1 。其中,在保证真实目标的误判概率小于等于 α ($P(H_1 | H_0) \leq \alpha$) 的条件下,检测门限 ζ 是由假设检验的显著性水平 α 决定的, $\delta = \chi_{1-\alpha}^2(\epsilon)$, ϵ 为量测数据维度,对于本文提出的三坐标组网雷达系统, $\epsilon = 3$ 。

在节点雷达数大于 2 的情况下,每 2 部雷达均对假目标进行鉴别,然后对所有的判别结果进行融合处理,得到最终的鉴别结果。判决融合算法可以选择取与、取并法则或利用 K/M 法则实现折中。一般采用最严格的取与法则进行判决融合,即当且仅当所有融合结果均判断其为假目标时,则该目标为假目标。这种判决融合方法可以最大限度的保证真实目标的识别概率。

从式(7)~(9)可得,本文算法在定位误差协方差矩阵的对角项上均添加站址误差项。将本文算法与文献[10]算法进行对比可以得出,文献[10]算法在建模过程中忽略了站址误差的存在,使得误差协方差矩阵的参数值低于真实情况。参考马氏距离计算方法,错误降低的误差协方差矩阵会反比增加两量测值 $\mathbf{Z}_j$ 和 $\mathbf{Z}_k$ 之间的马氏距离,进而影响节点雷达对目标的计算精度,最终导致现有算法对真目标的识别概率和假目标的欺骗概率整体降低。所以,基于站址误差的融合算法更符合真实场景,在减少由组网雷达对真目标鉴别概率降低而产生的资源消耗的同时,降低了由于对组网雷达被欺骗概率的误判而带来的虚警。

3 仿真实验

仿真场景设置为:3 个三坐标雷达作为节点雷达的组网模型,设置 1 个真目标,对每个雷达站均设置一个欺骗距离为 Δd 的假目标。各节点雷达信息如表 1 所示,表中假设节点雷达对自身的站址误差在空间 3 个维度相同,即 $\sigma_s^2 = \sigma_{x_{s_i}}^2 = \sigma_{y_{s_i}}^2 = \sigma_{z_{s_i}}^2$ 。

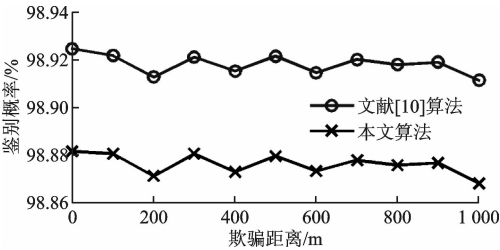
将真目标设置于抗干扰性能较优位置[50 km, 50 km, 1 km]^[10]。对该位置点进行 10 万次 Monte

表 1 各节点雷达参数信息表

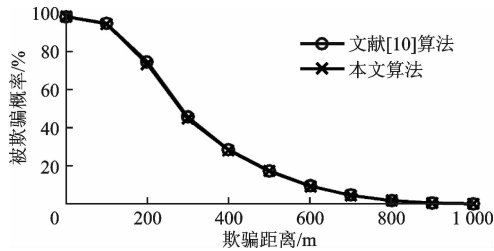
节点雷达	$[x_i, y_i, z_i]/\text{km}$	测距精度/m	测角精度/rad
R_1	$[0, 0, 0]$	50	0.001
R_2	$[50, 0, 0]$	50	0.001
R_3	$[100, 0, 0]$	50	0.001

Carlo 仿真实验,比较分析不同欺骗距离下,本文算法和文献[10]算法得到的真目标的鉴别概率和组网雷达被欺骗概率。仿真实验中,假设检验模型中显著性水平 $\alpha=0.01$,检测门限 $\zeta=11.34$ 。

对舰艇编队组网雷达而言,站址误差基本在 10 m 左右^[15],即站址误差服从均值为 0、方差为 10 m 的正态分布, $\sigma_s^2=10\text{ m}$ 。图 2 为站址误差为 10 m 时本文算法和文献[10]算法的抗干扰性能对比。由图 2 可知,当欺骗距离为 300 m 时,与文献[10]算法相比,本文算法的真目标鉴别概率提升了 1%,达到预设的 99%,组网雷达被欺骗概率上涨 1.46%,防止了虚警的产生。仿真实验得出,仅在较小误差的情况下,本文算法相比文献[10]算法也有一定的改进意义。



(a) 真目标鉴别概率

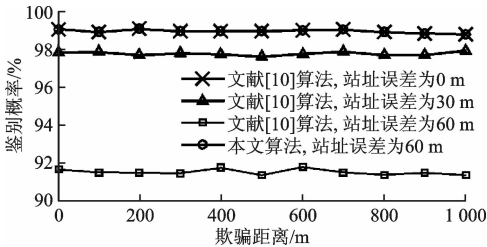


(b) 组网雷达被假目标欺骗概率

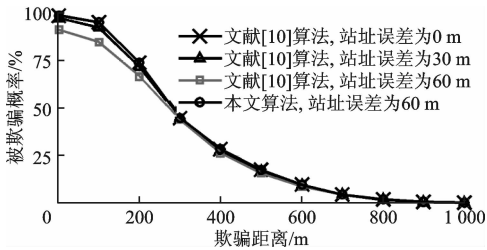
图 2 $\sigma_s^2=10\text{ m}$ 时两种算法的抗干扰性能对比

对于飞机编队等高速行驶的组网雷达系统,由载体受运动状态及外在环境的共同影响,相比其他组网雷达系统,站址误差变化幅度比较大^[16-17]。图 3 为不同站址误差下两种算法的性能对比。如图 3a 所示,随着站址误差的增大,文献[10]算法中真目标鉴别概率在不断降低,而本文算法可以保证站址误差为 60 m 时,真目标的鉴别概率与没有站址误差时几乎相同。由图 3b 可知,随着站址误差的增大,

各节点雷达对自身定位的误差增加,导致组网雷达被欺骗概率错误降低,虚警概率增大,而本文算法避免了虚警的产生,可提升组网雷达对假目标的警戒。



(a) 真目标鉴别概率



(b) 组网雷达被欺骗概率

图 3 不同站址误差情况下两种算法的仿真结果

由图 2、图 3 可以得出,对真目标的鉴别概率,仿真实验预设置为 99%,由于站址误差的影响,目标鉴别概率无法达到预设要求,但本文算法可对现有算法进行补偿,保证真实目标鉴别达到预设的 99%。在组网雷达的被欺骗概率方面,本文算法降低了因误判带来的虚警,提升了抗干扰能力。

仿真实验可以得出,在组网雷达抗欺骗式干扰的过程中,真实目标的鉴别概率和组网雷达的被欺骗概率均受到各节点雷达的站址误差影响。随着误差值的不断变大,电子战中组网雷达的鉴别及抗干扰能力受到巨大冲击。虽然随着欺骗距离的不断增大,算法的被欺骗概率不断下降,最终不再受站址误差项影响,但在近场区域,本文算法修正了现有文献算法中错误降低的真目标鉴别概率和组网雷达被欺骗概率,减少了军事资源不必要的消耗。

4 结束语

针对欺骗假目标干扰,现有模型忽略了真实情况中各节点雷达存在的站址误差,从而影响组网雷达对目标的抗干扰性能。本文提出一种考虑站址误差的抗欺骗式假目标方法,通过改善组网雷达中各节点雷达之间的数据融合算法,进而影响了量测值之间的马氏距离,提高了组网雷达对真目标的鉴别概率和被欺骗概率,在提升模型真实性和实用性的同时,减少不必要的资源浪费。最后通过仿真实验

验证了文章提出理论分析的正确性。

参考文献:

- [1] STAVROULAKIS P, FARSARIS N, XENOS T D. Anti-jamming transmitter independent radar networks [C]// International Conference on Signal Processing, Communications and Networking. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 269-273.
- [2] LI Nengjing, ZHANG Yiting. A survey of radar ECM and ECCM [J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1995, 31(3): 1110-1120.
- [3] AKHTAR J. Orthogonal block coded ECCM schemes against repeat radar jammers [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2009, 45(3): 1218-1226.
- [4] RAO Bin, XIAO Shunping, WANG Xuesong, et al. Maximum likelihood approach to the estimation and discrimination of exoatmospheric active phantom tracks using motion features [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2012, 48(1): 794-818.
- [5] HUANG Can, CHEN Zhuming, DUAN Rui. Novel discrimination algorithm for deceptive jamming in polarimetric radar [C]// Proceedings of the 2012 International Conference on Information Technology and Software Engineering. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2013: 369-365.
- [6] GRECO M, GINI F, FARINA A. Radar detection and classification of jamming signals belonging to a cone class [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(5): 1984-1993.
- [7] BANDIERA F, FARINA A, ORLANDO D, et al. Detection algorithms to discriminate between radar targets and ECM signals [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(12): 5984-5993.
- [8] 李世忠, 王国宏, 徐海全, 等. 异地配置的主/被动雷达抗多假目标干扰 [J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(5): 10-13.
LI Shizhong, WANG Guohong, XU Haiquan, et al. Study on algorithm against multi-false-target deception jamming for active/passive radar at different sites [J]. Fire Control & Command Control, 2013, 38(5): 10-13.
- [9] 赵艳丽, 王雪松, 王国玉, 等. 多假目标欺骗干扰下组网雷达跟踪技术 [J]. 电子学报, 2007, 35(3): 454-458.
ZHAO Yanli, WANG Xuesong, WANG Guoyu, et al. Tracking technique for radar network in the presence of multi-range-false-target deception jamming [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(3): 454-458.
- [10] 赵珊珊, 张林让, 周宇, 等. 组网雷达点迹信息融合抗假目标干扰方法 [J]. 电子科技大学学报, 2014, 43(2): 207-211.
ZHAO Shanshan, ZHANG Linrang, ZHOU Yu, et al. Measurement fusion method against false-target jamming for radar network [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2014, 43(2): 207-211.
- [11] 赵艳丽, 陈永光, 蒙洁, 等. 分布式组网雷达抗多假目标欺骗干扰处理方法 [J]. 电光与控制, 2011, 18(3): 25-30.
ZHAO Yanli, CHEN Yongguang, MENG Jie, et al. A data processing method against multi-false-target deception jamming for distributed radar network [J]. Electronics Optics & Control, 2011, 18(3): 25-30.
- [12] 杨林, 徐晖. T/R-R 型双基地系统识别欺骗式假目标 [J]. 国防科技大学学报, 1997, 19(5): 1-7.
YANG Lin, XU Hui. Identification method of false-targets in T/R-R bistatic radar system [J]. Journal of National University of Defense Technology, 1997, 19(5): 1-7.
- [13] 孙仲康. 单多基地有源无源定位技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1996: 24-117.
- [14] 王德纯. 精密跟踪测量雷达技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 89-135.
- [15] 孙国政, 李景岩. 组网雷达站址误差对系统定位精度的影响 [J]. 舰船电子对抗, 2015, 38(5): 30-33.
SUN Guozheng, LI Jingyan. Influence of netted radar position error on system locating accuracy [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2015, 38(5): 30-33.
- [16] 王国宏, 杨忠, 吴健平. 雷达站址误差对多机协同航迹欺骗干扰的影响分析 [J]. 海军航空工程学院学报, 2015, 30(6): 501-504.
WANG Guohong, YANG Zhong, WU Jianping. Influence analysis of radar location error on multi-aircraft cooperative track deception [J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2014, 30(6): 501-504.
- [17] GASS J H, NONEAKER D L, PURSLEY M B. A comparison of slow-frequency-hop and direct-sequence spread-spectrum packet communications over doubly selective fading channels [J]. IEEE Transactions on Communications, 2002, 50(8): 1236-1239.

(编辑 刘杨)