

DOI: 10.7652/xjtuxb201912018

一种对抗欺骗式干扰的组网雷达功率分配方法

于恒力¹, 张林让¹, 刘洁怡¹, 李强¹, 赵珊珊²
(1. 西安电子科技大学雷达信号处理国家重点实验室, 710071, 西安;
2. 南京邮电大学电子与光学工程学院, 210023, 南京)

摘要: 针对现有组网雷达发射站等功率发射信号导致抗欺骗式干扰方法不能获得最高鉴别概率的问题,提出一种对抗欺骗式干扰的组网雷达功率分配方法。首先,在现有组网雷达的参数估计模型中增加了发射站的功率信息,推导了对欺骗距离参数估计的克拉美洛下界(CRLB),计算得到鉴别器中欺骗式假目标的鉴别概率;然后,以最大化假目标鉴别概率为目标,设计功率分配模型,完成欺骗式干扰下组网雷达功率分配方法的设计。仿真实验表明,相比于现有文献中功率平均分配的算法,所提出的功率分配方法可保证将更多的功率资源分配到目标空间角度差异大及回波信号路径损失较低的发射站,有效提高组网雷达系统对假目标的鉴别概率,尤其在系统资源有限的约束下,鉴别概率提高了 10% 以上。

关键词: 组网雷达;欺骗式干扰;功率分配;克拉美洛界;鉴别概率

中图分类号: TN957 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2019)12-0139-07

A Power Allocation Approach of Netted Radars for Anti-Deception Jamming

YU Hengli¹, ZHANG Linrang¹, LIU Jieyi¹, LI Qiang¹, ZHAO Shanshan²
(1. National Laboratory of Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China;
2. College of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: A method of power allocation approach of netted radars for anti-deception jamming is proposed for making full use of the limited resource. Firstly, the Cramer-Rao lower bound of the deception range is derived according to the parameter estimation model of netted radars under the deception jamming, and a theoretical discrimination probability of deception targets is then given. Secondly, a power allocation approach is derived to maximize the discrimination probability of deception targets. Finally, simulation results and a comparison with the equal power allocation method show that the proposed power allocation method allocates more power resources to the transmitting stations with large difference in target space angle and low loss of echo signal path, and the discrimination probability to deception targets is effectively improved, especially, the discrimination probability increases by more than 10% under the constraints of limited system resources.

Keywords: netted radars; deception jamming; power allocation; Cramer-Rao lower bound; discrimination probability

组网雷达系统能够充分发挥多雷达数据融合的优势,利用冗余信息,实现对欺骗式干扰的有效对抗。目前,组网雷达系统抗欺骗式干扰方法中,利用真假目标的空间分布差异及真假目标接收信号矢量之间相关性的差异对欺骗式假目标进行有效识别,并取得了诸多研究成果^[1-7]。文献[8]给出一种典型的基于参数估计的有源假目标鉴别方法,通过组网雷达系统对欺骗式干扰的干扰参数进行联合估计,迭代寻优完成欺骗距离参数的估计,以此估计值对有源假目标进行有效鉴别,仿真验证了该方法的有效性。该模型中假设组网雷达系统总功率恒定,各发射站的发射功率相同。然而在某些应用场景下,比如组网雷达网络能量有限,或者军事应用中低截获需求等^[9],则需要组网雷达系统对各节点雷达功率进行优化,使其在能量限定的情况下发挥出最优的抗干扰性能。

近年来,相关学者对组网雷达系统资源优化问题进行了大量研究,文献[10-13]研究了多站雷达系统对目标进行定位和跟踪过程中的功率分配方法,表明相对于功率均匀分配的情况,通过相应功率分配算法对组网雷达发射站进行最优功率分配后,能够明显提高多站雷达系统对目标的定位及跟踪精度。文献[14]在欺骗式干扰环境下,提出一种针对组网雷达系统的优化布站方法,在利用数据级融合对抗欺骗式干扰的过程中,通过优化布站实现组网雷达被欺骗概率最小化和其覆盖范围最大化,从而达到最优的资源利用方式。文献[15]研究了多目标跟踪下的分布式 MIMO 雷达资源优化问题,计算了在任意雷达布阵形式下系统的最少资源需求量。然而,在现有组网雷达抗欺骗式干扰方法中,尚未考虑通过功率分配方法提高抗干扰性能的问题,因此,研究欺骗式干扰下如何对组网雷达系统进行功率分配具有重要意义。

针对上述问题,本文提出一种欺骗式干扰下组网雷达功率分配方法,首先计算出在联合检测下,对欺骗式干扰的欺骗距离进行参数估计时的克拉美罗下界(CRLB),通过 CRLB 分析得到欺骗式假目标与真目标的鉴别门限,构建鉴别器对欺骗式假目标进行鉴别;在此基础上,以假目标鉴别概率为目标函数对组网雷达系统进行功率分配,得到指定总发射功率情况下,使假目标鉴别概率最大的最优发射站发射功率分配方式;最后,对组网雷达的功率分配方法进行仿真分析。仿真结果表明,本文方法可有效提高组网雷达系统对假目标的鉴别概率。

1 系统数学模型分析

如图 1 所示,组网雷达系统由 M 个发射站和 N 个接收站组成,发射站的位置坐标为 $\mathbf{R}_m^t = [x_m^t, y_m^t]$, $m=1, \dots, M$,接收站的位置坐标为 $\mathbf{R}_n^r = [x_n^r, y_n^r]$, $n=1, \dots, N$ 。每个发射站发射一组正交波形,信号有效带宽为 β_m 。传输信号 $s_m(t)$ 是窄带信号,即 $\frac{\beta_m}{f_c} \ll 1$,其中 f_c 表示信号载频。

假设真实目标位置坐标为 $\mathbf{X}^T = [x, y]$, τ_{mTn} 表示从发射站 m 发射信号照射到目标再反射回到接收站 n 的传输时间

$$\tau_{mTn} = r_{mTn}/c \quad (1)$$

式中: r_{mTn} 为发射站 m 到目标与目标 T 到接收站 n 的距离和。

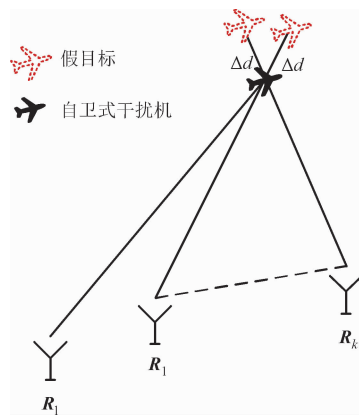


图1 雷达多站系统下欺骗假目标示意图

由于自卫式假目标为干扰机对发射站发射信号的延迟转发,因此对于自卫式假目标 $\mathbf{X}^J = [x^J, y^J]$,传输时间 τ_{mJn}^J 可表示为真目标时延和延迟转发时间的叠加

$$\tau_{mJn}^J = (r_{mTn} + \Delta d)/c \quad (2)$$

式中: Δd 表示干扰机施加的欺骗距离参数。在 $\Delta d = 0$ 时,欺骗式干扰模型也可以表示真实目标回波。因此,可将任意一个接收站 n 中的回波信号统一建模为

$$r_n(t) = \sum_{m=1}^M \sqrt{\alpha_{nm} p_m} h_{nm} s_m(t - \tau_{mJn}^J) + w_{nm}(t) \quad (3)$$

式中: α_{nm} 表示第 m 个发射站发射信号经目标反射后由第 n 个接收站接收时信号强度的衰减; p_m 为第 m 个发射站的发射功率; h_{nm} 为第 m 个发射站与第 n 个接收站间路径中的回波幅度信息; $w_{nm}(t)$ 表示均值为 0 的复高斯白噪声,其自相关函数为 $\sigma_w^2 \delta(\tau)$;

τ_{mm} 表示目标回波信号或干扰信号的时间延迟。

对于真目标和欺骗式假目标而言, Δd 是分辨真假目标的有效参数。真目标其物理位置是空间固定的,不存在欺骗距离, Δd 为 0。然而,对于转发式假目标,干扰机为了对雷达站进行欺骗式干扰,施加了时间延迟, Δd 不为 0。所以,利用组网雷达系统对 Δd 作估计参数可以有效鉴别欺骗式假目标,从而达到抗欺骗式假目标的目的。

2 欺骗距离参数克拉美罗界推导

对于任意一个无偏估计量,克拉美罗下界(CRLB)可以表示其估计方差的最小界限^[16]。对于组网雷达系统而言,真目标及欺骗式干扰的未知参数为 $\theta = [x, y, \Delta d, \mathbf{h}]^T$, 其中 $\mathbf{h} = [h_{11}, h_{21}, \dots, h_{mn}, \dots, h_{MN}]^T$, T 表示矩阵转置符号,则位置参数的无偏估计满足

$$\mathbf{E}_\theta[(\hat{\theta} - \theta)(\hat{\theta} - \theta)^T] \geq \mathbf{J}^{-1}(\theta) \quad (4)$$

式中: $\mathbf{E}_\theta[\cdot]$ 表示 θ 的期望; $\mathbf{J}(\theta)$ 为费谢尔信息矩阵(FIM),具体可表示为

$$\mathbf{J}(\theta) = \mathbf{E}_{r|\theta} \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial \theta} \log p(\mathbf{r} | \theta) \right] \left[\frac{\partial}{\partial \theta} \log p(\mathbf{r} | \theta) \right]^T \right\} \quad (5)$$

式中: $p(\mathbf{r} | \theta)$ 为 θ 条件下,观测量 $\mathbf{r}$ 的联合概率密度函数,未知参数 θ 的克拉美罗界可以定义为

$$\mathbf{C}_{\text{CRLB}} = \mathbf{J}^{-1}(\theta) \quad (6)$$

由式(3)可知,时延参数是目标位置参数(x, y)的确定函数,为了计算简便,定义一个新的未知参数 $\psi = [\tau, \mathbf{h}]^T$, 根据链式法则可以得到

$$\mathbf{J}(\theta) = \mathbf{P} \mathbf{J}(\psi) \mathbf{P}^T \quad (7)$$

式中:矩阵 $\mathbf{J}(\psi)$ 为观测量 $\mathbf{r}$ 在 ψ 条件下的费谢尔信息矩阵,可表示为

$$\mathbf{J}(\psi) = \mathbf{E}_{r|\psi} \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial \psi} \log p(\mathbf{r} | \psi) \right] \left[\frac{\partial}{\partial \psi} \log p(\mathbf{r} | \psi) \right]^T \right\} \quad (8)$$

文献[17]中推导了费谢尔信息矩阵 $\mathbf{J}(\psi)$ 的表达式,这里不再赘述。仿照文献[16],矩阵 $\mathbf{P}$ 的雅可比行列式计算方法为

$$\mathbf{P} = \frac{\partial \psi}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tau}{\partial x} & \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial \tau}{\partial y} & \frac{\partial h}{\partial y} \\ \frac{\partial \tau}{\partial \Delta d} & \frac{\partial h}{\partial \Delta d} \\ \frac{\partial \tau}{\partial h} & \frac{\partial h}{\partial h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tau}{\partial x} & 0 \\ \frac{\partial \tau}{\partial y} & 0 \\ \frac{\partial \tau}{\partial \Delta d} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{3 \times MN} & \mathbf{0}_{3 \times MN} \\ \mathbf{0}_{MN} & \mathbf{I}_{MN} \end{bmatrix}_{(3+MN) \times 2MN} \quad (9)$$

矩阵 $\mathbf{H}$ 为式(2)中的时延量对参数 x, y 和 Δd 的偏导矩阵

$$\mathbf{H} = -\frac{1}{c} \begin{bmatrix} a_{t1} + a_{r1} & a_{t1} + a_{r2} & \cdots & a_{tM} + a_{rN} \\ b_{t1} + b_{r1} & b_{t1} + b_{r2} & \cdots & b_{tM} + b_{rN} \\ -1 & -1 & \cdots & -1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中: $a_{tm} = x_m - x/R_{T_m x}$; $R_{T_m x}$ 为发射站 m 到目标的距离; $b_{tn} = y_m - y/R_{T_n x}$; $a_{tn} = x_n - x/R_{R_n x}$; $R_{R_n x}$ 为接收站 n 到目标的距离; $b_{tn} = y_n - y/R_{R_n x}$ 。

将式(10)和式(11)代入式(9)和式(8),可以得到被估计参数的克拉美罗界为 $\mathbf{C}_{\text{CRLB}}$ 。

取 $\mathbf{C}_{\text{CRLB}}$ 矩阵中左上角 3×3 的矩阵即可得到参数 $x, y, \Delta d$ 的估计精度,经过计算,可表示为

$$[\mathbf{C}_{\text{CRLB}}]_{3 \times 3} = \frac{c^2 \sigma_w^2}{8\pi^2 \beta^2} \mathbf{A}^{-1} \quad (11)$$

矩阵 $\mathbf{A}$ 中各元素具体为

$$\begin{aligned} A_{22} &= \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N p_m \alpha_{nm} |h_{nm}|^2 (b_{tm} + b_{rn})^2 \\ A_{33} &= \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N p_m \alpha_{nm} |h_{nm}|^2 \\ A_{12} &= A_{21} = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N p_m \alpha_{nm} |h_{nm}|^2 (a_{tm} + a_{rn})(b_{tm} + b_{rn}) \\ A_{13} &= A_{31} = -\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N p_m \alpha_{nm} |h_{nm}|^2 (a_{tm} + a_{rn}) \\ A_{23} &= A_{32} = -\sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N p_m \alpha_{nm} |h_{nm}|^2 (b_{tm} + b_{rn}) \end{aligned}$$

由式(11)可以看出, $\mathbf{C}_{\text{CRLB}}$ 矩阵中各元素与各发射站发射功率、各通道回波强度,及目标(或干扰)与各节点雷达的相对位置有关。

3 基于功率分配的假目标鉴别算法

3.1 假目标鉴别算法

对于真目标和欺骗式假目标,参数 Δd 是对其进行分辨的依据,文献[8]已给出一种有效对 Δd 进行参数估计的方法。式(11)中对角线第 3 个元素代表参数 Δd 估计的最小均方误差,记为 $\sigma_{\Delta d}^2$,计算公式为

$$\sigma_{\Delta d}^2 = \frac{c^2 \sigma_w^2}{8\pi^2 \beta^2} \frac{A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21}}{|\mathbf{A}|} \quad (12)$$

式中: $|\mathbf{A}|$ 为矩阵 $\mathbf{A}$ 的行列式。根据奈曼-皮尔逊准则, 将参数 Δd 作为鉴别统计量构建鉴别器, 存在 2 种假设:

(1) 在 H_0 假设下, 欺骗距离为 0, 即该目标为真实目标, 表示为 H_0 ;

(2) 在 H_1 假设下, 欺骗距离不为 0, 即该目标为欺骗式假目标, 表示为 H_1 。

由于估计误差的存在, 可以将欺骗距离 Δd 的估计值看为一个满足如下正态分布的随机变量

$$\Delta \hat{d} \sim N(\Delta d, \sigma_{\Delta d}^2) \quad (13)$$

则鉴别统计量在假设 H_0 和 H_1 条件下的分布函数分别为

$$\left. \begin{aligned} H_0: \Delta \hat{d}^2 / \sigma_{\Delta d}^2 &\sim \chi_1^2 \\ H_1: \Delta \hat{d}^2 / \sigma_{\Delta d}^2 &\sim \chi_1^2(\Delta d^2 / \sigma_{\Delta d}^2) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中: χ_1^2 表示自由度为 1 的卡方分布; $\chi_1^2(\Delta d^2 / \sigma_{\Delta d}^2)$ 表示自由度为 1 的非中心卡方分布。设定期望的真实目标鉴别概率 $Q_{PT} = Q\{H_0 | H_0\}$, 则鉴别器的鉴别门限为

$$\eta = F_{\chi_1^2}^{-1}(Q_{PT}) \quad (15)$$

据此, 可以得到有源假目标的鉴别概率

$$Q_{FT} = Q\{H_1 | H_1\} = 1 - F_{\chi_1^2(\Delta d^2 / \sigma_{\Delta d}^2)}(\eta) \quad (16)$$

式中: $F_{\chi_1^2(\Delta d^2 / \sigma_{\Delta d}^2)}(\eta)$ 为 χ_1^2 分布的累计分布函数。

3.2 组网雷达功率分配方法

由 3.1 节分析可知, 有源假目标的鉴别概率与组网雷达系统中各发射站的发射功率有关, 因此, 可将式(16)作为功率分配算法的代价函数, 通过对发射站的发射功率进行最优功率分配, 使组网雷达系统对假目标鉴别概率最高, 优化模型可表示为

$$\left. \begin{aligned} \max \quad & Q_{FT}(p_k) \\ \text{s. t.} \quad & P_{kmin} \leq p_k \leq P_{kmax}, \quad k = 1, 2, \dots, M \\ & \mathbf{1}^T \mathbf{P}_k = \mathbf{P}_{total} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

式中: $\mathbf{1}^T = [1, 1, \dots, 1]_{1 \times M}$; $\mathbf{P}_{total}$ 表示发射站的总发射功率; P_{kmin} 和 P_{kmax} 分别表示第 k 部发射站发射功率的下限及上限。具体功率分配步骤如下。

步骤 1 初始化发射功率矩阵 $\mathbf{P}_{average} = \mathbf{P}_{total} / M$, 并计算此时的假目标鉴别概率 $Q_{PT}(\mathbf{P}_{average})$ 。

步骤 2 选择第 i ($i=1, 2, \dots, M$) 个发射站, 降低其功率 $p_i^- = p_i - \Delta p$, 同时, 增加第 j 个发射站的发射功率 $p_j^+ = p_j + \Delta p$ ($j \neq i$) 组成临时功率分配矩阵 $\mathbf{P}_{i_temp}$, 并计算其相应的 $Q_{FT}(\mathbf{P}_{i_temp})$, 遍历寻找使 $Q_{FT}(\mathbf{P}_{i_temp})$ 最大的 p_j^+ 。

步骤 3 判断: 如果 $i=j$, 则保持临时功率分配矩阵

不变; 如果 $i \neq j$, 则使用 p_i^- 和 p_j^+ 更新功率分配矩阵。

步骤 4 如果有任意发射站发射功率不满足 $P_{kmin} \leq p_k \leq P_{kmax}$, 或全部发射站遍历结束, 整理功率分配矩阵, 结束算法。

以上功率分配方法可以表述为: 在保证发射站总发射功率恒定的前提下, 通过计算各发射站发射功率增减对假目标鉴别概率的影响, 寻找对提高鉴别概率贡献大的发射站, 将更多的功率资源分配其中, 以提高假目标鉴别概率。

4 仿真实验与分析

为验证功率分配算法的有效性, 并进一步分析不同参数对功率分配结果的影响, 以一个由 5 部发射站和 5 部接收站组成的组网雷达系统为例进行仿真实验, 5 部发射站(T1~T5)的位置分别为(1,1)、(2,0)、(-2,0)、(0,2)、(1.5,0) km, 5 部接收站(R1~R5)的位置分别为(-1.8,0)、(1.8,0)、(0.2,0.2)、(0,1.8)、(0,-2) km, 设真实目标的位置坐标为[12,15]km。实验中, 各发射站除了发射功率外其他发射参数相同, 载频为 2 GHz, 有效带宽为 0.5 MHz。

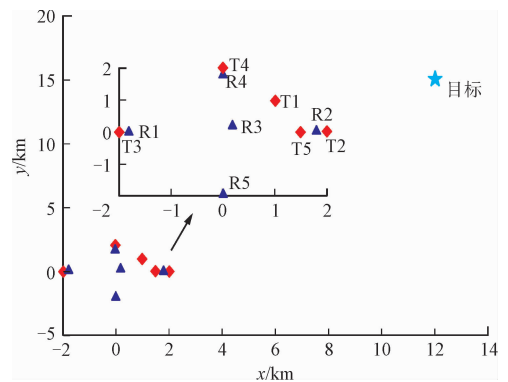


图2 节点雷达与目标的位置信息

设欺骗式假目标的欺骗距离为 1 km, 为了分析通道反射系数对功率分配结果的影响, 设定 2 种不同的反射系数模型: 第 1 种模型假设各发射站入射角度差异带来的目标 RCS 起伏可以忽略, 即目标在各个通道的反射系数相同, 设定 $\mathbf{h}_1 = [0.5, \dots, 0.5; \dots; 0.5, \dots, 0.5]$, 此时, 功率分配方式只与目标及各节点雷达的位置有关; 第 2 种模型假设由于发射站位置不同, 带来的目标 RCS 强度等因素的不同而导致各个通道反射系数不同。

设定 $\mathbf{h}_2 = [h_{2_1}; h_{2_2}; h_{2_3}; h_{2_4}; h_{2_5}]$, 假设 $\mathbf{h}_{2_1} = [0.75, 0.5, 0.55, 0.65, 0.5, 0.45, 0.35]$

$$\begin{aligned}h_{2_2}&=[0.2,0.15,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1] \\h_{2_3}&=[0.75,0.5,0.55,0.65,0.5,0.45,0.35] \\h_{2_4}&=[0.2,0.15,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1] \\h_{2_5}&=[0.75,0.5,0.55,0.65,0.5,0.45,0.35]\end{aligned}$$

分别在 2 种不同的场景下对 2 种抗欺骗式假目标鉴别算法进行仿真实验,预设的真目标鉴别概率 P_{PT} 为 99.9%,不同条件下均通过 1 000 次 Monto Carlo 仿真实验,统计其平均得到假目标鉴别概率。实际中,目标的 RCS 会随着姿态的起伏而变化,尤其是运动目标在飞行过程中,雷达照射视角的变化带来 RCS 较大的变化,工程中施威林(Swerling)起伏模型可以作为目标 RCS 的统计模型,然而无法提供目标在特定环境中 RCS 的准确预测值。针对这一问题,文献[18]给出了一种用于雷达资源管理的目标雷达成面积预测算法:首先通过回波处理获取目标 RCS 的测量值,进而通过概率密度转移函数对下一时刻的 RCS 进行预测。因此,在实际中,可以通过类似方法对目标 RCS 进行预测^[19-20],进而根据预测结果对组网雷达进行功率分配。

本文首先在相同信噪比下对不同反射系数模型条件下对文献[8]有源假目标鉴别算法和本文所提出算法进行仿真,得到了功率分配结果及相应的假目标鉴别概率 Q_{FT} ,然后在不同信噪比下,分析了 2 种反射系数模型下 2 种算法对假目标鉴别概率 Q_{FT} 。

4.1 仿真实验 1

分别用文献[8]算法(各发射站平均分配功率)和本文所提算法进行仿真实验,表 1 和表 2 分别给出了 h_1 和 h_2 模型下功率分配结果及 2 种算法得到的假目标鉴别概率,其中:各节点雷达最低发射功率设定为 30 W,信噪比为 5 dB。

表 1 h_1 模型下功率分配结果

发射站总 功率/W	鉴别概率/%		功率分配结果/W
	文献[8]	本文算法	
500	97.46	99.55	[68,140,232,30,30]
300	77.95	88.55	[30,78,132,30,30]

表 2 h_2 模型下功率分配结果

发射站总 功率/W	鉴别概率/%		功率分配结果/W
	文献[8]	本文算法	
500	97.43	99.90	[144,30,222,30,74]
300	77.86	92.56	[80,30,122,30,38]

从表 1 和表 2 的仿真结果可以看到,在 2 种场

景下,通过功率分配算法对组网雷达系统的发射站进行功率分配,能够有效地提高组网雷达系统对假目标的鉴别概率,尤其当发射站的总功率不充裕时,本算法对假目标的鉴别概率更明显,从而验证了本文所提出的组网雷达功率分配方法的有效性。

通过表 1 的仿真结果可以看出,在各通道反射系数相同的条件下,本文所提出的功率分配算法倾向于将组网雷达系统的发射功率分配到发射站 1、发射站 2 及发射站 3,这是因为,发射站 2 和发射站 3 组成的“孔径”最大,可以得到相对探测区域的最大空间角度差异,而空间角度的差异越大,数据融合对欺骗式假目标的鉴别效果越好。因此其获得的功率资源更多。

当反射系数模型改变后,通过表 2 的仿真结果可以看出,发射站 2 及发射站 4 对应的反射系数较其他发射站低,意味着其信号路径损失更严重,通过表 3 可以看出,在这种情况下,大部分功率资源更倾向于分配到信号反射系数更高的发射站 1、发射站 3 及发射站 5。

4.2 仿真实验 2

本实验主要为了验证本文所提算法与现有算法相比的优势。采用本文方法与文献[8]方法仿真对比其组网雷达系统对假目标的鉴别性能。图 3 和图 4 分别给出了 h_1 和 h_2 条件下有源假目标鉴别概率随信噪比的变化曲线,仿真中设定的组网雷达总功率为 500 W。图 5 给出了 h_1 条件下本文算法得到的假目标鉴别概率随着延时距离的变化曲线。

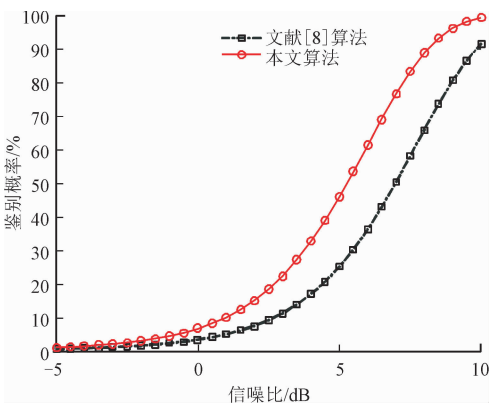


图 3 h_1 模型下有源假目标鉴别概率

从图 3、图 4 的仿真结果可以看出,在 2 种条件下,随着信噪比的提高,文献[8]算法和本文算法对有源假目标的鉴别概率变大,因为在联合检测下,较高的 SNR 会带来估计精度的提高。同时可以看出,组网雷达系统通过本文提出的功率分配方法进行资

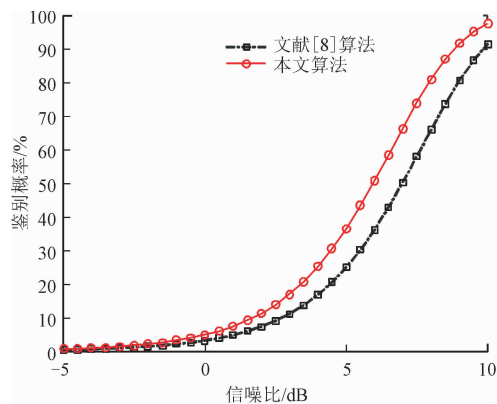


图4 h_2 模型下有源假目标鉴别概率

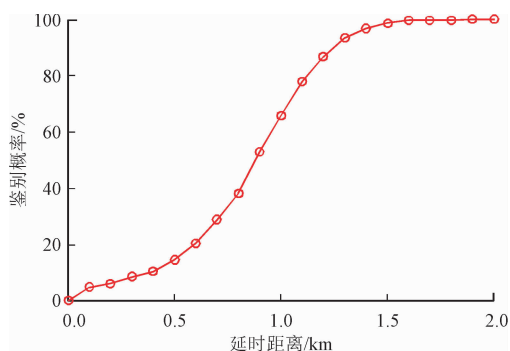


图5 有源假目标鉴别概率与延时距离的关系曲线

源分配后,能够明显提升对有源假目标的鉴别概率。从图5可以得到:随着延时距离的增加,假目标鉴别概率逐渐提高,这是因为随着欺骗距离的增加,假目标鉴别统计量的非中心参数增大,与真目标差异增加,因此欺骗式干扰被判别的有效性增加。

仿真实验表明:在组网雷达系统通过估计欺骗距离参数来鉴别欺骗式假目标的过程中,假目标鉴别概率受发射站发射功率分配方式的影响,发射站功率平均分配并不是最优选择,而本文所提出的功率分配方法可保证更多的功率资源分配到对目标空间角度差异大及回波信号路径损失较低的发射站中,相较于现有算法,本文所提方法能够有效提高假目标的鉴别概率。

5 结束语

本文首先分析了现有组网雷达系统鉴别欺骗式假目标算法存在的问题。在此基础上,提出了一种欺骗式干扰下组网雷达系统功率分配方法。通过理论分析得到假目标鉴别概率,并以此为目标函数对发射站发射功率进行功率分配。仿真实验证明了本文方法能够明显提高假目标鉴别概率,尤其在组网雷达系统功率不充裕时,提升效果更加明显。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] ZHAO Shanshan, ZHANG Linrang, ZHOU Yu, et al. Signal fusion-based algorithms to discriminate between radar targets and deception jamming in distributed multiple-radar architectures [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(11): 6697-6706.
- [4] 刘洁怡,张林让,赵珊珊,等.一种考虑站址误差的抗欺骗式假目标方法[J].西安交通大学学报,2017,51(6):54-58.
LIU Jieyi, ZHANG Linrang, ZHAO Shanshan, et al. A method against deception-false-target jamming based on position error [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2017, 51(6): 54-58.
- [5] ZHAO Shanshan, ZHANG Linrang, ZHOU Yu, et al. Discrimination of active false targets in multistatic radar using spatial scattering properties [J]. IET Radar Sonar Navig, 2016, 10(5): 817-826.
- [6] YU Hengli, ZHANG Juan, ZHANG Linrang, et al. Polarimetric multiple-radar architectures with distributed antennas for discriminating between radar targets and deception jamming [J]. Elsevier Digital Signal Processing, 2019, 90: 46-53.
- [7] 王国宏,吉喆.基于多重判别的雷达网距离向多干扰目标鉴别[J].系统工程与电子技术,2017,39(1):40-48.
WANG Guohong, JI Zhe. Multi-range-false-target jamming for radar network based on multiple discriminations [J]. Systems Engineering and Electronics, 2017, 39(1): 40-48.
- [8] ZHAO S S, LIU Z W. Deception parameter estimation and discrimination in distributed multiple-radar architectures [J]. IEEE Sensors Journal, 2017, 17(19): 6322-6330.

- [9] LI Qiang, ZHANG Linrang, ZHOU Yu, et al. Discrimination of active false targets based on Hermitian distance for distributed multiple-radar architectures [J]. IEEE Access, 2019, 7: 71872-71883.
- [10] YAN J K, JIU B, LIU H W, et al. Prior knowledge based simultaneous multibeam power allocation algorithm for cognitive multiple targets tracking in clutter [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2015, 63(2): 512-527.
- [11] YAN J K, LIU H W, et al. Power allocation algorithm for target tracking in unmodulated continuous wave radar network [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(2): 1098-1108.
- [12] 严俊坤, 纠博, 刘宏伟, 等. 一种针对多目标跟踪的多基雷达系统目标跟踪的功率分配算法 [J]. 电子与信息学报, 2013, 35(8): 1875-1881.
YAN Junkun, JIU Bo, LIU Hongwei, et al. Joint cluster and power allocation algorithm for multiple targets tracking in multistatic radar systems [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(8): 1875-1881.
- [13] HANA G, ATHINA P P, VINCENT P. Sensor selection in distributed multiple-radar architectures for localization: a knapsack problem formulation [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60(1): 247-259.
- [14] 刘洁怡, 张林让, 赵珊珊, 等. 欺骗式干扰下组网雷达优化布站方法分析与仿真 [J]. 电子科技大学学报, 2017, 46(4): 513-519.
LIU Jieyi, ZHANG Linrang, ZHAO Shanshan, et al. Analysis and simulation of optimal deployment for netted radar under deception jamming [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2017, 46(4): 513-519.
- [15] 宋喜玉, 任修坤, 郑娜娥, 等. 多目标跟踪下的分布式 MIMO 雷达资源联合优化算法 [J]. 西安交通大学学报, 2018, 52(10): 110-115.
SONG Xiyu, REN Xiukun, ZHENG Na'e, et al. A joint resource optimization algorithm of distributed MIMO radar systems for multiple targets tracking [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2018, 52(10): 110-115.
- [16] HANA G, ALEXANDER M H, RICK S B. Target localization accuracy gain in MIMO radar-based systems [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2010, 56(6): 2783-2803.
- [17] HANA G, ATHINA P P, VINCENT P H. Power allocation strategies for target localization in distributed multiple-radar architectures [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59(7): 3226-3240.
- [18] 秦童, 戴奉周, 刘宏伟. 一种用于雷达资源管理的目标雷达截面积预测算法 [J]. 电子与信息学报, 2015, 37(8): 1849-1854.
QIN Tong, DAI Fengzhou, LIU Hongwei. Radar cross section prediction method for radar resource management [J]. Journal of Electronic and Information Technology, 2015, 37(8): 1849-1854.
- [19] 张政超, 李文臣, 袁翔宇, 等. 一种基于艇载测量系统的目标 RCS 动态测量方法 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2015, 10(5): 551-556.
ZHANG Zhengchao, LI Wenchen, YUAN Xiangyu, et al. A dynamic measurement method of target's RCS based on measure system on airship [J]. Journal of China Academy of Electronic Science, 2015, 10(5): 551-556.
- [20] 张浙东, 黎鑫, 张金鹏, 等. 基于姿态修正的目标 RCS 动态测量方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(6): 1242-1248.
ZHANG Zhedong, LI Xin, ZHANG Jinpeng, et al. Dynamic measurement method of target RCS based on attitude correction [J]. Systems Engineering and Electronics, 2019, 41(6): 1242-1248.

[本刊相关文献链接]

- 刘明骞, 高晓腾, 张俊林. 多类型的雷达有源干扰感知新方法. 2019, 53(10): 103-108, 121. [doi:10.7652/xjtuxb201910014]
- 赵玮, 郑博, 张衡阳, 等. 带有时间约束的机载自组网自适应退避算法. 2018, 52(4): 158-164. [doi:10.7652/xjtuxb201804023]
- 杨少奇, 田波, 周瑞钊. 应用双谱分析和分形维数的雷达欺骗干扰识别. 2016, 50(12): 128-135. [doi:10.7652/xjtuxb201612020]
- 樊书辰, 水鹏朗. 形态学边缘信息引导的区域合并合成孔径雷达图像分割算法. 2019, 53(10): 24-30, 47. [doi:10.7652/xjtuxb201910004]

(编辑 刘杨)