

雷达辐射源极化特征参数和到达角快速测量方法



苑梦斯¹, 张文旭¹, 孙富礼²

1. 哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001

2. 上海无线电设备研究所, 上海 201109

摘 要: 辐射信号的极化信息可以在一定程度上反应雷达的属性和类别, 对雷达信号分选与识别具有重要意义。针对当前电磁波极化参数测量方法存在数据处理量大、计算耗时长的问题, 本文提出了一种极化特征参数与到达角的快速测量方法。首先构建了辐射源信号在正交极化天线下的响应模型, 进而结合干涉仪测角原理, 通过对各天线通道数据的组合处理, 实现了极化特征参数和到达角的快速测量。试验结果表明, 该方法的极化辅助角测量误差在 1.5° 以内, 极化相位差误差小于 0.2° , 且相较于极化多信号分类算法, 其运算时间缩短了 1.4s。试验结果充分验证了本文所提理论模型和估计方法的有效性和时效性, 为电磁波极化特性的快速测量提供了新的有效途径。

关键词: 极化特征; 参数测量; 到达角; 干涉仪; 雷达侦察

中图分类号: TN971.3

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2024.11.004

极化技术对深入理解雷达功能及电子情报数据分析具有显著意义, 其不仅能够增强对潜在威胁目标信号的可信度, 而且为处理复杂多信号环境提供了新的途径。在电子侦察领域, 利用极化特征有助于从复杂的雷达信号中分辨和识别目标^[1]。因此, 将极化特性应用于雷达领域具有巨大的潜力, 正交极化天线是实现极化分集雷达的技术基础之一, 可发射或接收两个正交极化的电磁波。不同的极化状态会导致目标对电磁波的响应有所不同, 充分利用极化信息可以减弱雷达系统在恶劣电磁环境中的影响, 在抑制有源干扰、环境杂波、反隐身和目标识别等方面具有潜力, 并可有效地提高雷达性能^[2-5]。

目前, 现有的干涉仪天线阵列^[6]通常由多个具有相同极化特性的天线单元组成, 因此无法测量电磁波的极化参数。为了能够测量极化信息, 一般需要两个相互正交的接收天线, 所以可以在干涉仪的基础上增加一个正交极化天线, 但是由于非理想阵元的交叉极化特性不一致, 导致不同单元的主、交叉极化相位方向图不一致, 这种差异会导致接收天线的极化矢量存在一定的相位差, 从而在接收某种极化信号并

进行鉴相处理时引入相位误差, 导致测角精度下降^[7]。

对于极化特征参数的测量, 张梓轩等^[8]利用幅度相位法, 在接收机的基础上再增加一个接收通道, 通过测量两个通道接收信号的幅度和相位来测量辐射源信号的极化信息。徐茂等^[9]虽然引入了天线的极化误差, 但未考虑来波信号在低频段时, 天线的极化特性误差对测向精度的影响。肖雄等^[10]提出了一种基于三正交电偶极子天线多信号分类估计算法, 从而引入了极化信息, 提高了极化参数估计的精度, 但是存在计算复杂度高、耗时长的问题。Chalise 等^[11]将压缩感知算法与极化敏感阵列相结合, 使用最小二乘法得到极化参数, 该方法通过设定离散化空间角度网格来估计入射信号, 但信号实际入射角度可能与网格存在偏差, 导致网格失配问题, 进而影响参数估计性能。而为了解决以上问题, Wagner 等^[12]通过将基于原子范数最小化算法应用到稀疏阵列中, 相比压缩感知类算法达到了更高的性能。

本文设计一种新的极化干涉仪, 采用正交线极化天线。首先对正交极化天线的空间辐射源信号响应原理进行研究, 并构建接收模型。然后利用相位干涉仪测角的算法原

收稿日期: 2024-04-18; 退修日期: 2024-07-26; 录用日期: 2024-09-27

基金项目: 航空科学基金(202200200P6002)

引用格式: Yuan Mengsi, Zhang Wenxu, Sun Fuli. The rapid measurement method of polarization characteristic parameters and arrival angle of radar radiation source[J]. Aeronautical Science & Technology, 2024, 35(11): 27-32. 苑梦斯, 张文旭, 孙富礼. 雷达辐射源极化特征参数和到达角快速测量方法[J]. 航空科学技术, 2024, 35(11): 27-32.

理,对来波信号的极化特征参数和到达角进行测量,最后对该系统的性能进行仿真验证。

1 信号极化特征分析

电磁波的极化方式可以描述电场矢量端点随时间变化形成的空间轨迹的形状和旋向。在直角坐标系中,平面电磁波的电场矢量可分解为水平和垂直两个分量,而这两个分量之间的相互关系即构成了平面电磁波的极化特征。假设一个TEM波沿 z 轴正方向传播,此时电场矢量的瞬时值可以表示为^[13]

$$\mathbf{E}(t, z) = \begin{bmatrix} E_{0x} \cos(2\pi f_0 \cdot t - kz + \varphi_x) \\ E_{0y} \cos(2\pi f_0 \cdot t - kz + \varphi_y) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, f_0 为电磁波频率; k 为相位常数; E_{0x} 和 φ_x 表示 x 轴正方向电场的幅度和相位; E_{0y} 和 φ_y 表示 y 轴正方向电场的幅度和相位。其复矢量可以表示为

$$\mathbf{E}(t, z) = \mathbf{E} \cdot e^{j(2\pi f_0 t - kz)} \quad (2)$$

其中,复电场矢量 $\mathbf{E}$ 用相位描述字可以表示为

$$\mathbf{E} = E_0 \begin{bmatrix} \cos \gamma \\ \sin \gamma e^{j\eta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

用极化比可以表示为

$$\rho = \tan \gamma e^{j\eta} \quad (4)$$

式中, $E_0 = \sqrt{E_{0x}^2 + E_{0y}^2}$, $\tan \gamma = \frac{E_{0y}}{E_{0x}}$ 表示两个方向幅度的比值大小, $\eta = \varphi_y - \varphi_x$ 表示两个方向的相位差值,并且 $\gamma \in [0, \pi/2]$, $\eta \in [-\pi, \pi]$ 。称参数 (γ, η) 这种描述方式为相位描述字, γ 为极化辅角, η 为极化相位差^[14]。

根据麦克斯韦(Maxwell)理论,磁场与电场之间存在一定的关系,所以一般研究只考虑电场矢量,不考虑磁场矢量,由天线方向图得到天线准确的辐射方向。根据天线辐射方向,研究与其垂直的极化平面,然后通过电场的分量计

算得到极化类型。电磁波的极化方式可以由电场矢量端点随时间变化所形成的空间轨迹的形状和旋向来描述,可分为线极化、圆极化和椭圆极化,如图1所示。

针对线极化,当满足 $E_{0x}=0$ 时,电磁波为垂直线极化;而当 $E_{0y}=0$ 时,则表现为水平线极化。当 $\varphi=0, \pm 180^\circ$ 时,且电场矢量的水平分量和垂直分量幅度均不为零时,电磁波则以斜线极化的方式存在,并具有倾角 $\gamma = \arctan(E_{0y}/E_{0x})$ 。

对于圆极化,当垂直分量与水平分量的幅度相等,且两者之间的相位差为 $\pm 90^\circ$ 时,极化椭圆将转变成圆形。当相位差为 90° 时,称之为左旋圆极化;而当相位差为 -90° 时,则被称为右旋圆极化。最后,当垂直分量与水平分量的幅度不相等,即 $E_{0x} \neq E_{0y}$ 时,极化椭圆将成为椭圆形,如图2所示,用相位描述字的方式展示了极化的各个状态^[15]。

2 极化干涉仪接收模型

极化干涉仪的基本原理如图3所示,在干涉仪的基础上增加一个正交极化天线接收辐射源信号,正交极化天线可以是垂直线极化和水平线极化,或者 45° 斜线极化和 135° 斜极化,也可以是右旋圆极化和左旋圆极化。本文采用两个水平线极化天线 H_1 、 H_2 和一个垂直线极化天线 V 按图3所示放置。

可以将雷达辐射源信号分解为垂直线极化分量和水平线极化分量,然后分别被垂直线极化天线和水平线极化天线接收。在理想情况下,天线阵元 H_1 、 H_2 、 V 的极化特征参数可以表示为: $\hat{\mathbf{h}}_{H_1} = \hat{\mathbf{h}}_{H_2} = [1 \ 0]^T$, $\hat{\mathbf{h}}_V = [0 \ 1]^T$ 。然而在实际情况下,由于天线的加工工艺限制,天线位置误差等因素影响,天线实际的极化状态会存在一定的误差,从而偏离原本的极化,因此三个天线阵元的极化特性可以写成

$$\mathbf{h}_{H_1} = \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 e^{j\Delta\theta_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \beta_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

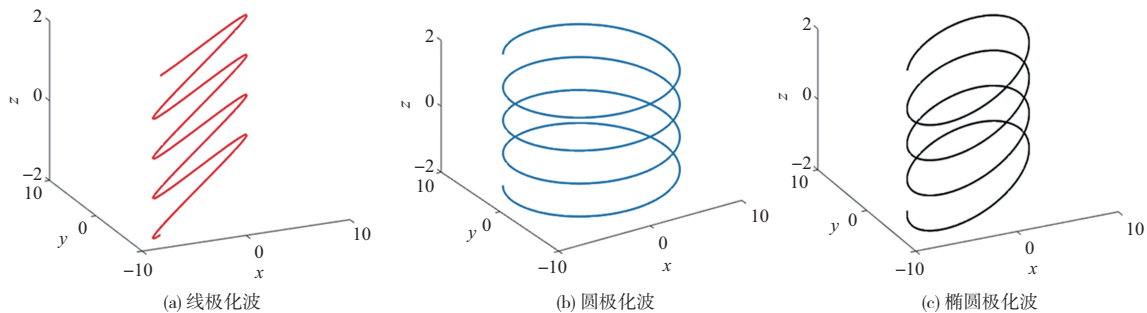


图1 线极化、圆极化、椭圆极化示意图

Fig.1 Schematic diagram of linear, circular and elliptical polarization

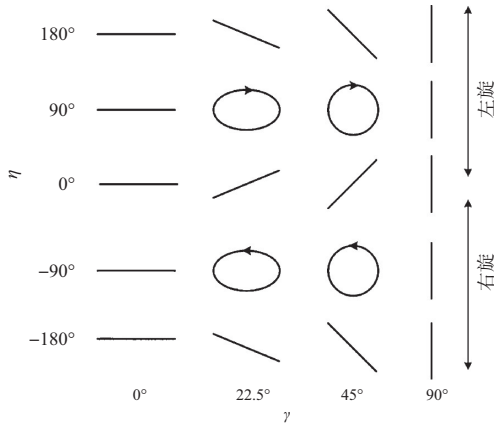


图2 以相位描述字为变量的椭圆极化状态表示

Fig.2 Elliptical polarization state represented by phase descriptor variable

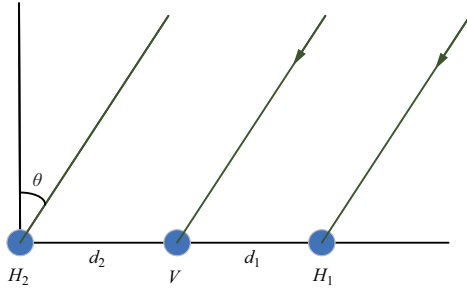


图3 极化干涉仪原理图

Fig.3 Schematic diagram of polarization interferometer

$$\mathbf{h}_{H_2} = \begin{bmatrix} 1 \\ a_2 e^{j\Delta\eta_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{h}_V = \begin{bmatrix} a_3 e^{j\Delta\eta_3} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_3 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, a_i 和 $\Delta\eta_i$, $i=1,2,3$ 分别表示天线阵元 H_1 、 H_2 、 V 正交极化分量的幅度误差和相位误差; β_1 、 β_2 、 β_3 为天线阵元的极化复误差系数, 在工程中可以精确测量。

设辐射源发射信号频率为 ω , 极化特性为 $\mathbf{E}_s = [\cos \gamma \sin \gamma e^{j\eta}]^T$, 因此天线阵元 H_1 、 H_2 、 V 接收到的电场响应分别为

$$E_{H_1} = \mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_{H_1} \quad (8)$$

$$E_{H_2} = \mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_{H_2} \quad (9)$$

$$E_V = \mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_V \quad (10)$$

3 极化特征参数快速测量方法

从式(8)~式(10)可以看出, 辐射源信号的极化特征蕴藏在 $\mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}$ 的幅度和相位之中。为了求得来波信号的极化参数, 将 E_{H_1} 、 E_V 和 E_{H_2} 、 E_V 分别构成两个正交电场矢量, 按照

式(4)的表示形式, 天线阵元之间的电场响应比值为

$$\rho_1 = \frac{E_V}{E_{H_1}} \quad (11)$$

$$\rho_2 = \frac{E_V}{E_{H_2}} \quad (12)$$

$$\rho_3 = \frac{E_{H_2}}{E_{H_1}} \quad (13)$$

以天线 H_1 为基准, 设信号波长为 λ , 入射角为 θ , 将式(8)~式(10)代入式(11)~式(13)可得

$$\rho_1 = \frac{E_V}{E_{H_1}} = \frac{\mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_V}{\mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_{H_1}} \cdot e^{-j \frac{2\pi d_1 \sin \theta}{\lambda}} \quad (14)$$

$$\rho_2 = \frac{E_V}{E_{H_2}} = \frac{\mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_V}{\mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_{H_2}} \cdot e^{-j \frac{2\pi d_2 \sin \theta}{\lambda}} \quad (15)$$

$$\rho_3 = \frac{E_{H_2}}{E_{H_1}} = \frac{\mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_{H_2}}{\mathbf{E}_s^T \cdot \mathbf{h}_{H_1}} \cdot e^{-j \frac{2\pi (d_1 + d_2) \sin \theta}{\lambda}} \quad (16)$$

从而对来波信号极化比和到达角进行计算, 为了方便计算, 令 $d_1 = d_2 = d$, 式(14)和式(15)联立方程可得一元二次方程

$$\begin{aligned} k_1 \rho_s^2 + k_2 \rho_s + k_3 &= 0 \\ k_1 &= 1 - \rho_1 \rho_2 \beta_1 \beta_2 \\ k_2 &= 2\beta_3 - \rho_1 \rho_2 (\beta_1 + \beta_2) \\ k_3 &= \beta_3^2 - \rho_1 \rho_2 \end{aligned} \quad (17)$$

可以解得式(18)两个值

$$\rho_s = \frac{-k_2 \pm \sqrt{k_2^2 - 4k_1 k_3}}{2k_1} \quad (18)$$

其中一个伪根, 分别代入式(16), 可以解出两个到达角 θ_1 和 θ_2 , 此时不能确定哪一个是真实的角度, 但是可以利用相位干涉仪角度计算公式 $\theta = \arcsin(\frac{\lambda}{2\pi d} \Delta\varphi)$ 粗测出一个角度 θ_r , 对比 θ_1 、 θ_2 和 θ_r 之间的差值, 差值小的则是真实的到达角, 即

$$\theta_s = \min |\theta_r - \theta_i|, i=1, 2 \quad (19)$$

由此可以计算出信号的极化相位描述字和到达角

$$\gamma_s = \arctan |\rho_s| \quad (20)$$

$$\eta_s = \arg(\rho_s) \quad (21)$$

$$\theta_s = \arcsin \left(\frac{-\lambda \cdot \arg \left(\frac{\rho_2 (1 + \beta_2 \rho_s)}{\beta_3 + \rho_s} \right)}{2\pi d_2} \right) \quad (22)$$

当天线阵元正交极化分量的幅度误差与相位误差较小时, 本文算法能够精确估计来波极化特征参数和到达角, 具体算法流程如下: (1) 对各个天线阵元的正交极化分量的幅度误差和相位误差进行测量, 从而表示天线阵元的实际状态; (2) 分别测量天线 H_1 、 H_2 和 V 的接收到的电场

响应;(3)按照式(4)将各个天线的电场响应组合构成极化比形式;(4)根据式(18)计算出来波极化状态,得到两个根,然后利用式(19)去除其中的伪根;(5)如果 $\theta_{s_1} < \theta_{s_2}$,则将 ρ_{s_1} 代入式(20)~式(22),否则将 ρ_{s_2} 代入式(20)~式(22)得到信号的极化相位描述字。

4 仿真分析

按照上述方法对不同极化特征的信号进行仿真试验,设极化干涉仪系统如图3所示,由两个水平线极化天线和一个垂直线极化天线组成,且垂直极化天线放置在水平极化天线中间,各天线阵元之间间隔为0.2m,天线阵元 H_1 、 H_2 、 V 的实际误差系数分别设为 $0.1 \cdot e^{j\frac{\pi}{18}}$ 、 $0.1 \cdot e^{-j\frac{\pi}{20}}$ 、 $0.1 \cdot e^{-j\frac{\pi}{24}}$ 。

假设到达角为 20° 的来波信号,选择典型的测试频点400MHz和2GHz,并设置脉宽为 $0.5\mu s$ 。设定来波极化特征首先从水平线极化开始,逐渐过渡至圆极化,并最终变化为垂直极化。这一变化过程如图2所示,即 $\eta=90^\circ$, γ 从 0° 变化到 90° ,间隔 1° ,共计90个极化状态。

仿真结果如图4所示,当频率为2GHz时,到达角的误差最大不超过 5° 。特别值得注意的是,当极化辅角 $\gamma < 80^\circ$ 时,测角误差在 1° 以内。然而,当 γ 达到 90° ,即来波信号完全变为垂直极化时,到达角的误差达到最大值。这是由于来波信号与接收天线的极化特性发生失配,接收天线的交叉极化特性导致对来波信号的测角误差显著增大。

通过分析相位干涉仪的角度计算公式,发现来波信号的频率对测向误差有重要影响。具体来说,频率越低,极化特性引起的测向误差就越大,当来波信号频率为400MHz

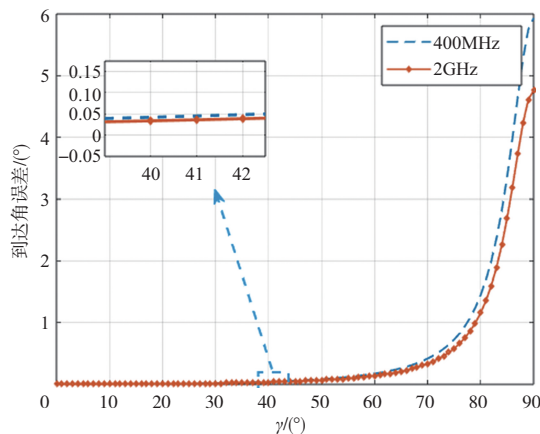


图4 到达角误差

Fig.4 Arrival angle error

时,其测角误差显然大于2GHz时的误差。

图5则展示了本文方法和参考文献[10]方法在测量相位描述字时的误差对比。同样设定 $\eta=90^\circ$, γ 从 0° 变化到 90° ,间隔 1° ,共计90个极化状态,从图5中可以看出,本文方法极化辅角 γ 误差最大不超过 1.5° ,而极化相位差 η 的误差则不超过 0.2° 。参考文献的极化辅角 γ 和极化相位差 η 误差最大不超过 1.1° 和 1.7° ,可以发现本文方法和参考文献[10]方法在测量误差相差不多,但是在运算时间方面,本文方法仅耗时0.014s,参考文献[10]则耗时1.432s,运算耗时缩短了1.4s。

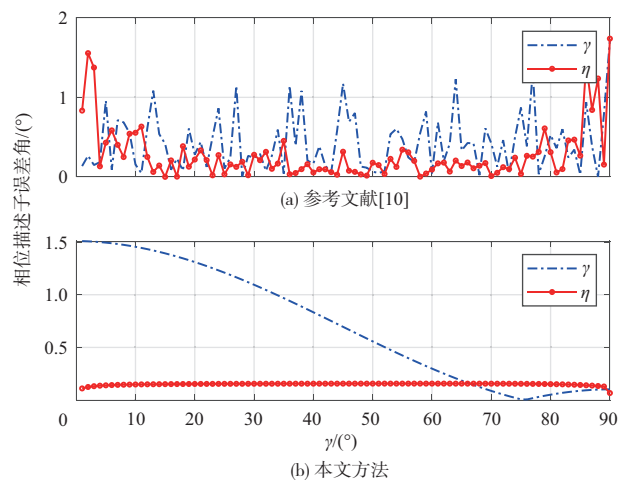


图5 极化相位描述字误差

Fig.5 Polarization phase description word error

图6展示了来波信号遍历各极化状态,即 γ 从 0° 到 90° , η 从 -180° 到 180° ,间隔 1° ,来波信号极化状态和测角误差的关系,从图6中可以看出, γ 接近 90° , η 接近 180° 时,误差逐渐增大,这是由于随着来波信号和接收天线极化失配情况加剧,导致测角误差急剧增大,不仅如此,天线阵元的幅度和相位误差也都影响着来波的测角精度,对于这种情况,在鉴相处理时可以引入相位补偿来改善。

综合来看,本文提出的方法对雷达辐射源信号极化信息的测量是有效的,并且有效地降低了参数测量的运算时间,能够满足实际工程应用的实时性要求。

5 结束语

本文介绍了电磁波的极化特征,对正交极化天线的空间辐射源信号响应原理进行研究,提出了一种新的采用正交线极化天线的极化干涉仪,通过引入相位干涉仪的测角原理,构建雷达辐射源信号极化特征的接收模型,在原有测

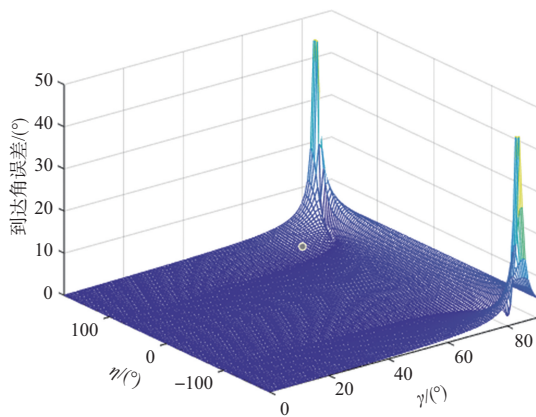


图6 测角误差和信号极化的关系

Fig.6 The relationship between angle measurement error and signal polarization

量到达角的基础上同时能够测得来波信号的极化信息。仿真结果证明,该算法可有效测量来波信号极化特征信息,极化信息的有效测量给雷达信号识别提供了一项重要的分选识别参数。

AST

参考文献

- [1] 李永祯, 苏翔, 张燕琴, 等. 雷达辐射源的极化特征及全极化侦收方法[J]. 航天电子对抗, 2013, 29(1): 45-48.
Li Yongzhen, Su Xiang, Zhang Yanqin, et al. Polarization characteristics of emitter resource and full-polarization reconnaissance method[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2013, 29(1): 45-48. (in Chinese)
- [2] 王立兵, 童俊. 极化通道编码数字阵列雷达系统设计[J]. 现代雷达, 2023, 45(11): 13-19.
Wang Libing, Tong Jun. Design of polarization channel-coded digital array radar system[J]. Modern Radar, 2019, 45(11): 13-19. (in Chinese)
- [3] 李海, 冯开泓, 杨文恒, 等. 机载双极化气象雷达多种降水粒子回波仿真方法研究[J]. 电子与信息学报, 2023, 45(8): 2945-2954.
Li Hai, Feng Kaihong, Yang Wenheng, et al. Study on simulation method of precipitation particle echo of airborne dual-polarization weather radar[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2023, 45(8): 2945-2954. (in Chinese)
- [4] Wang Ming, Luo Xiaoxuan, Dong Jian. Anti-jamming algorithm of polarization-sensitive array based on improved constraint matrix and orthogonal subspace projection[J]. IEEE Sensors Journal, 2023, 23(24): 30835-30846.
- [5] 赵温彤, 王钢林, 唐兴中, 等. X及Ku波段宽带极化转换超表面设计及RCS缩减应用[J]. 航空科学技术, 2024, 35(2): 100-105.
Zhao Yitong, Wang Ganglin, Tang Xingzhong, et al. Design of broadband polarization conversion metasurface for X and Ku bands and RCS reduction applications[J]. Aeronautical Science & Technology, 2024, 35(2): 100-105. (in Chinese)
- [6] 赵楠, 丁剑飞, 周大卫. 超宽带天线极化特性对相位干涉仪测角精度的影响[J]. 电波科学学报, 2019, 34(6): 710-715.
Zhao Nan, Ding Jianfei, Zhou Dawei. The influence of polarization characteristics of the ultra-wideband antenna on the phase interferometer[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2019, 34 (6): 710-715. (in Chinese)
- [7] 戴幻尧, 刘勇, 周瑞, 等. 非理想阵元极化特性对干涉仪测角的影响及修正[J]. 电波科学学报, 2010, 25(3): 519-526.
Dai Huanyao, Liu Yong, Zhou Rui, et al. Effects of imperfect element polarization property on phase interferometer angle measurement performance and calibration [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(3): 519-526. (in Chinese)
- [8] 张梓轩, 齐子森, 许华, 等. 采用极化特征的通信辐射源个体识别方法[J]. 西安交通大学学报, 2023, 57(10): 207-220.
Zhang Zixuan, Qi Zisen, Xu Hua, et al. Individual identification method of communication emitters using polarization feature [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2020, 57(10): 207-220. (in Chinese)
- [9] 徐茂, 马坤涛. 基于非理想阵元相位干涉仪的极化和到达角联合估计[J]. 电子信息对抗技术, 2020, 35(2): 6-8+76.
Xu Mao, Ma Kuntao. Joint estimation of polarization and direction of arrival based on imperfect element phase interferometer [J]. Electronic Information Warfare Technology, 2020, 35(2): 6-8+76. (in Chinese)
- [10] 肖雄, 刘桐辛, 姜春华, 等. 基于三正交电偶极子天线的MUSIC估计算法[J]. 现代电子技术, 2022, 45(23): 1-7.
Xiao Xiong, Liu Tongxin, Jiang Chunhua, et al. MUSIC estimation algorithm based on tri-orthogonal dipole antenna[J]. Modern Electronic Technique, 2002, 45(23): 1-7. (in Chinese)
- [11] Chalise B K, Zhang Y D, Himed B. Compressed sensing based joint DOA polarization angle estimation for sparse array with dual-polarized antennas[C]. 2018 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP). IEEE, 2018:

- 251-255.
- [12] Wagner M, Park Y, Gerstoft P. Gridless DOA estimation and root-MUSIC for non-uniform linear arrays[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2021, 69: 2144-2157.
- [13] 杨美娟,李文龙. 基于极化敏感阵列的加权融合测角方法[J]. 航空科学技术, 2021,32(3):29-33.
- Yang Meijuan, Li Wenlong. Weighted fusion angle measurement method based on polarization sensitive array[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(3):29-33. (in Chinese)
- [14] Qu Mingchao, Si Weijian, Liu Ruizhi. Oblique projection DOA estimation algorithm based on spatial polarization characteristics[J]. IEEE Sensors Journal, 2024, 24(7): 10809-10823.
- [15] Xu Zhongzhou, Fu Chuanshun, He Xiaojun, et al. Analysis on the causes of the decrease of transmitting polarization isolation of shipborne satellite communication antenna[C]. 2021 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE). IEEE, 2021: 1-4.

The Rapid Measurement Method of Polarization Characteristic Parameters and Arrival Angle of Radar Radiation Source

Yuan Mengsi¹, Zhang Wenxu¹, Sun Fuli²

1. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

2. Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 201109, China

Abstract: The polarization information of radiation signals can reflect the attributes and categories of radar to a certain extent, which is of great significance for radar signal sorting and recognition. Aiming at the shortcomings of the method of measuring electromagnetic polarization parameters, such as large amount of data processing and long calculation time, a fast method of measuring polarization characteristic parameters and arrival angle is proposed in this paper. Firstly, the response model of radiation source signal under orthogonal polarized antenna is constructed, and then the polarization characteristic parameters and arrival angle are measured quickly by combining the principle of interferometer angle measurement with the channel data of each antenna. The experimental results show that the polarization magnitude measurement error of this method is less than 1.5° , the polarization phase difference error is less than 0.2° , and the operation time is shortened by 1.4s compared with the polarization multi-signal classification algorithm. The experimental results fully verify the validity and timeliness of the theoretical model and estimation method proposed in this paper, and provide a new effective way for rapid measurement of electromagnetic polarization characteristics.

Key Words: polarization characteristic; parameter measurement; arrival angle; phase interferometer; radar reconnaissance

Received: 2024-04-18; Revised: 2024-07-26; Accepted: 2024-09-27

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China(202200200P6002)