

双接收站的有源诱饵极化鉴别

吴盛源, 张小宽, 林存坤, 庄亚强

(空军工程大学防空反导学院, 西安 710051)

摘要 以双接收站雷达为背景,研究了雷达目标和有源诱饵的鉴别方法。提出了双站极化散射矩阵和双站对角极化比的定义,探讨了雷达目标和有源诱饵的极化散射特性;针对极化调制有源诱饵等欺骗性干扰,提出了以双站对角极化比为鉴别量实现对有源诱饵鉴别的新方法,并设计了鉴别算法。对典型雷达目标和有源诱饵的仿真结果表明,该鉴别算法对有源诱饵的正确鉴别概率始终达到 100%,对雷达目标的正确鉴别率达到 90%以上。仿真结果证明了该鉴别算法的可行性和有效性。

关键词 极化鉴别;有源诱饵;极化信息;双站

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2016.03.014

中图分类号 TN973 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2016)03-0073-05

A Discrimination Method of Active Decoy Polarization Based on Two Receiving Stations

WU Shengyuan, ZHANG Xiaokuan, LIN Cunkun, ZHUANG Yaqiang

(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: The methods of distinguishing radar targets and active decoy are studied based on the radar system taking two receiving stations as a background. Firstly, the double-station polarization scattering matrix and the double-station diagonal polarization ratio are defined, and the polarization scattering properties of radar targets and active decoy are studied. Then, a discrimination method is proposed to discriminate the polarization-changed deceptive jamming by using the discriminate parameter of double-station diagonal polarization ratio, and the discrimination algorithm is also designed. The simulation result shows that by using the identification algorithm, the correct identification probability of active decoy is always 100%, and the correct identification probability of a radar target can also be over 90%. The effectiveness and the feasibility of the algorithm are validated.

Key words: polarization discrimination; active decoy; polarization information; double-station

有源诱饵是欺骗性电子干扰的重要形式^[1],它通过复杂的信号调制方式生成诱饵信号干扰雷达,使雷达在目标探测和参数测量时产生误差。目前,抗有源诱饵的常用方法有对消处理、模式识别以及盲分离^[2-4],但这些方法的实际抗干扰效果有限且占

用大量的雷达资源,因此,寻求新的抗有源诱饵的方法显得非常重要。

极化是电磁波的一个重要属性,利用极化信息进行目标识别是雷达领域当前的研究热门^[5-8]。文献^[9]提出了基于修改特征极化状态的雷达目标识

收稿日期: 2015-09-09

基金项目: 国家重点实验室基金(STES20140-2)

作者简介: 吴盛源(1991-),男,福建漳州人,硕士生,主要从事雷达目标特性及其军事应用研究。E-mail:wushy1991@163.com

引用格式: 吴盛源,张小宽,林存坤,等. 双接收站的有源诱饵极化鉴别[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2016,17(3):73-77. WU Shengyuan, ZHANG Xiaokuan, LIN Cunkun, et al. A Discrimination Method of Active Decoy Polarization Based on Two Receiving Stations[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2016, 17(3): 73-77.

别方法;文献[10]利用不同地形线性极化特性的差异,实现了对不同地形的有效识别;文献[11]研究了基于嵌入式超宽带极化信息的自动目标识别;文献[12]和[13]分别讨论了箔条和云层等消极干扰与雷达目标的识别方法;对于有源诱饵等积极干扰与雷达目标的极化鉴别方法,目前很少有文献报道,文献[14]提出基于同极化比和极化起伏等参量的有源诱饵鉴别方法,对固定极化有源诱饵具有有效的鉴别结果。随着电子对抗技术的日趋发展,有源诱饵干扰已经从固定极化方式发展到极化调制方式,诱饵信号不仅能量、波形、速度和加速度等特征参量与目标信号相同,甚至是极化信息也与目标信号类似。此时,文献[14]提出的鉴别方法将失效。文献[15]提出以散射矩阵归一化行列式值为鉴别量,并结合散射矩阵的互易性实现对极化调制有源诱饵鉴别的方法;文献[16]提取了极化特征描述子矢量相似系数和共交极化比2个鉴别量,设计了极化调制假目标的鉴别方案;但是,极化调制有源诱饵和雷达目标的散射矩阵归一化行列式值和共交极化比都是随机数,不能单独用于鉴别雷达目标和有源诱饵,在进行目标鉴别时需要鉴别算法进行改进或引入其他特征量。本文以双接收站雷达为平台,提取能直接用于鉴别雷达目标和极化调制有源诱饵的特征量,继续研究极化调制有源诱饵干扰的对抗方法。

1 目标和有源诱饵双站极化特性表征

1.1 双站极化散射矩阵

双接收站雷达见图1,雷达有1个发射站和2个接收站。本文假设接收站1与发射站在同一位置,接收站2与发射站分开放置, α 为雷达双站角。

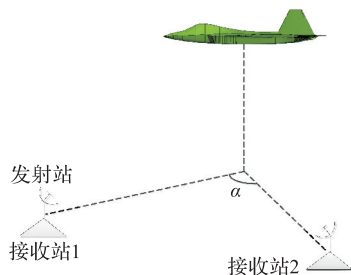


图1 双接收站雷达示意图

Fig.1 Sketch of radar with two receiving stations

2个接收站接收的电磁波可以分别表示为:

$$\mathbf{E}_1^r = \mathbf{E}_{1h}^r \mathbf{h} + \mathbf{E}_{1v}^r \mathbf{v} \quad (1)$$

$$\mathbf{E}_2^r = \mathbf{E}_{2h}^r \mathbf{h} + \mathbf{E}_{2v}^r \mathbf{v} \quad (2)$$

式中: \mathbf{E}^r 表示接收电磁波矢量; \mathbf{h} 和 \mathbf{v} 分别表示一组正交极化基,在本文中, \mathbf{h} 表示水平极化基, \mathbf{v} 表示垂直极化基。

到达两接收站处的散射波都可看成是平面波^[17],因此,可以将2个接收站接收到的雷达目标和有源诱饵的极化信息分别组成一个新的矩阵,称为双站极化散射矩阵。雷达目标和有源诱饵双站极化散射矩阵分别表示为:

$$\mathbf{G}_{\text{目}} = \begin{bmatrix} G_{1h} & G_{2h} \\ G_{1v} & G_{2v} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{D}_{\text{诱}} = \begin{bmatrix} D_{1h} & D_{2h} \\ D_{1v} & D_{2v} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: h 为水平接收通道; v 为垂直接收通道。

1.2 有源诱饵双站极化散射矩阵

当干扰机天线发射极化波时,在水平、垂直极化基 (\mathbf{h}, \mathbf{v}) 下,雷达接收天线处有源诱饵归一化辐射场表示为:

$$\begin{bmatrix} E_h \\ E_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: a 表示诱饵辐射场的归一化水平分量; b 表示诱饵辐射场的归一化垂直分量。

2个雷达接收站接收到的诱饵信号是一样的。因此,诱饵的双站极化散射矩阵为:

$$\mathbf{D}_{\text{诱}} = \begin{bmatrix} a & a \\ b & b \end{bmatrix} \quad (6)$$

当干扰机天线发射圆极化波时,以发射右旋圆极化波为例, E_l 和 E_r 分别是在左、右旋极化基 (\mathbf{l}, \mathbf{r}) 下的极化场分量,则有源诱饵在雷达天线处的归一化辐射场表示为:

$$\begin{bmatrix} E_l \\ E_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

由极化基转换公式^[18],在水平、垂直极化基 (\mathbf{h}, \mathbf{v}) 下有源诱饵辐射场表示为:

$$\begin{bmatrix} E_h \\ E_v \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_l \\ E_r \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} \quad (8)$$

因此,诱饵的双站极化散射矩阵为:

$$\mathbf{D}_{\text{诱}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -j & -j \end{bmatrix} \quad (9)$$

同理,若干扰机天线发射左旋圆极化波,诱饵的双站极化散射矩阵为:

$$\mathbf{D}_{\text{诱}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & j \end{bmatrix} \quad (10)$$

因此,不论干扰机天线发射极化波还是圆极化波,有源诱饵的双站极化散射矩阵中,总有 $D_{1h} = D_{2h}$ 和 $D_{1v} = D_{2v}$ 。

2 极化鉴别量的提取

2.1 双站对角极化比

由1.2节分析可知,有源诱饵信号都是从某一

天线向周围辐射的,当雷达采用双接收站接收时,2个接收站收到诱饵信号的极化信息是一样的,而接收到的目标信号极化信息是不一样的,因此,在雷达目标和有源诱饵的双站散射矩阵中:

$$\begin{cases} G_{1h} \neq G_{2h}, & G_{1v} \neq G_{2v} \\ D_{1h} = D_{2h}, & D_{1v} = D_{2v} \end{cases} \quad (11)$$

定义双站极化散射矩阵中两对角线上元素之和的比值为双站对角极化比,在不考虑噪声的情况下,雷达目标和有源诱饵的双站对角极化比为:

$$R_{目} = \begin{cases} \frac{G_{1h} + G_{2v}}{G_{2h} + G_{1v}}, \frac{G_{1h} + G_{2v}}{G_{2h} + G_{1v}} > \frac{G_{2h} + G_{1v}}{G_{1h} + G_{2v}} \\ \frac{G_{2h} + G_{1v}}{G_{1h} + G_{2v}}, \frac{G_{1h} + G_{2v}}{G_{2h} + G_{1v}} < \frac{G_{2h} + G_{1v}}{G_{1h} + G_{2v}} \end{cases} \quad (12)$$

$$R_{诱} = \begin{cases} \frac{D_{1h} + D_{2v}}{D_{2h} + D_{1v}}, \frac{D_{1h} + D_{2v}}{D_{2h} + D_{1v}} > \frac{D_{2h} + D_{1v}}{D_{1h} + D_{2v}} \\ \frac{D_{2h} + D_{1v}}{D_{1h} + D_{2v}}, \frac{D_{1h} + D_{2v}}{D_{2h} + D_{1v}} < \frac{D_{2h} + D_{1v}}{D_{1h} + D_{2v}} \end{cases} \quad (13)$$

由式(11)~(13)可知,对于诱饵, $R_{诱} = 1$;而对于目标, $R_{目} \geq 1$ 。

利用电磁仿真软件 FEKO 对某型飞机仿真,设置仿真参数为:接收站 1 雷达视线角为俯仰角 -30° ,方位角 0° ,接收站 2 雷达视线角分别为俯仰角 -30° ,方位角 $1^\circ \sim 180^\circ$,频段为 VHF 和 P。将接收站 1 和接收站 2 的电场分量组成 1 个双站散射矩阵,由式(12)求出不同频段下接收站 2 位于不同双站角时目标双站对角极化比,见图 2、图 3。从图中可以看出,雷达目标和有源诱饵的双站对角极化比相差明显,因此,双站对角极化比能作为鉴别量,实现对极化调制有源诱饵的有效鉴别。

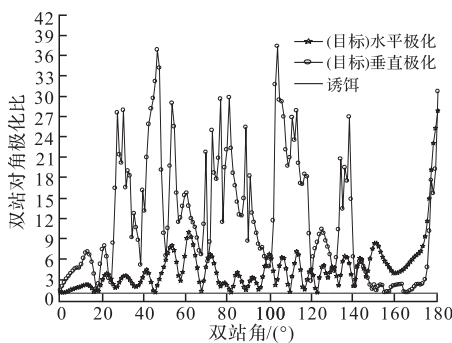


图 2 VHF 频段目标双站对角极化比
Fig.2 Double-station diagonal polarization ratio in the VHF band

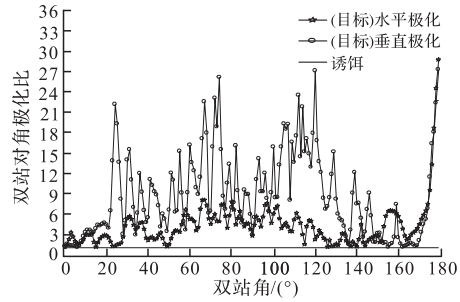


图 3 P 频段目标双站对角极化比
Fig.3 Double-station diagonal polarization ratio in the P band

2.2 双站对角极化比随信噪比变化

设双站极化散射矩阵 4 个元素的噪声服从零均值正态随机分布,方差相互独立且都取值 σ^2 [9]。分别定义 SNR 和 JNR 为目标和诱饵双站散射矩阵总功率与噪声方差之和的比值,即:

$$SNR = \frac{|G_{1h}|^2 + |G_{1v}|^2 + |G_{2h}|^2 + |G_{2v}|^2}{4\sigma^2} \quad (14)$$

$$JNR = \frac{|D_{1h}|^2 + |D_{1v}|^2 + |D_{2h}|^2 + |D_{2v}|^2}{4\sigma^2} \quad (15)$$

诱饵信号通常能够模仿真实的雷达目标信号,因此,本文取信噪比(SNR)与干噪比(JNR)相等。

通过噪声概率密度函数变换获得目标和诱饵的对角极化比的统计分布特性,进而就能求出目标和诱饵的最大概率对角极化比。

目标的双站对角极化比都是大于等于 1 的,因此,对某型飞机目标设置仿真参数:接收站 1 雷达视线角为俯仰角 -30° ,方位角 0° ,接收站 2 雷达视线角分别为俯仰角 -30° ,方位角 $45^\circ, 90^\circ$ 和 135° ,频段为 VHF。则接收站 2 位于不同位置时,雷达目标和有源诱饵的双站对角极化比随信噪比的变化情况分别见图 4 和图 5。

由图可知,诱饵的双站对角极化比小于 1,并随着信噪比的增加趋于 1,而目标的双站对角极化比大于 1,取双站对角极化比的门限值为 1,利用双站对角极化比可实现对有源诱饵的有效鉴别;雷达目标和有源诱饵的双站对角极化比都随着信噪比的增大而增大,目标对角极化比增大的幅度比诱饵的大,提高信噪比有利于实现对有源诱饵的鉴别;不同双站角下目标的双站对角极化比也不同,合理进行雷达布站可以更有效地鉴别有源诱饵。

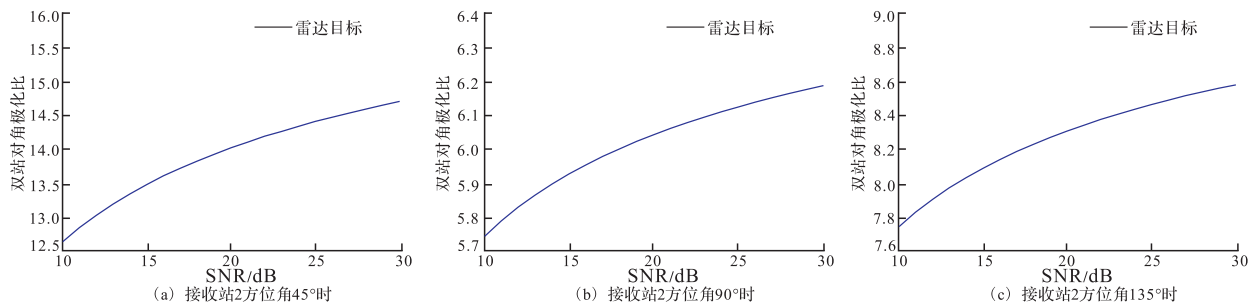


图4 雷达目标双站对角极化比随信噪比变化

Fig.4 Double-station diagonal polarization ratio of target with the change of signal to noise ratio

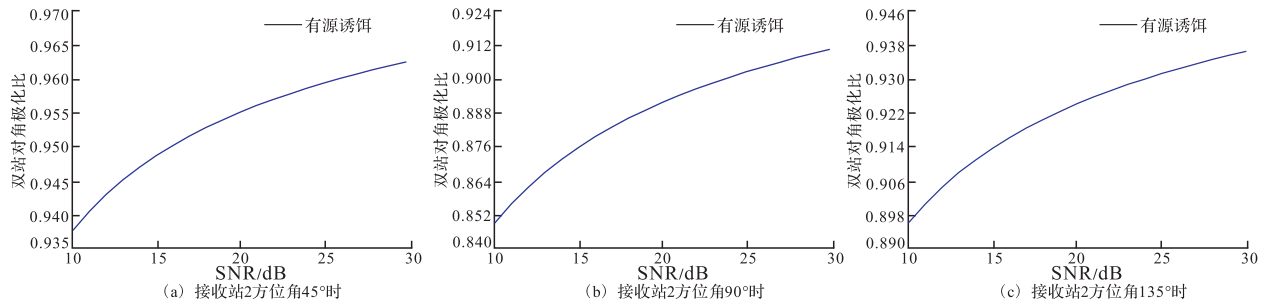


图5 有源诱饵双站对角极化比随信噪比变化

Fig.5 Double-station diagonal polarization ratio of active decoy with the change of signal to noise ratio

3 极化鉴别算法及仿真分析

3.1 极化鉴别算法

通过上节的分析可以看出,极化调制有源诱饵的双站对角极化比恒小于1,而雷达目标的双站对角极化比大于1,它们有较大的差别,为实现对有源诱饵的有效鉴别,设计如下鉴别算法。

$$R \begin{cases} \geq 1 & \text{雷达目标} \\ < 1 & \text{有源诱饵} \end{cases} \quad (16)$$

3.2 仿真分析

为验证噪声存在情况下本文提出极化鉴别算法的鉴别性能,仍以某型飞机目标为研究对象,接收站1雷达视线角设置为:俯仰角分别取 $-10^\circ \sim -70^\circ$,间隔 1° ,方位角 0° ,接收站2雷达视线角设置为:俯仰角与接收站1相同,方位角 $1^\circ \sim 359^\circ$,间隔为 1° 。获得25489个双站散射矩阵,进而求出25489个目标双站对角极化比,代入鉴别算法中进行鉴别,对鉴别效果进行统计,得到目标的鉴别率。表1给出了某型飞机目标和有源诱饵在不同的信噪比条件下鉴别率变化的情况。

由表1可知,采用本文鉴别方法,对有源诱饵的正确鉴别概率始终达到100%;对雷达目标的正确鉴别率也都能达到90%以上;不同的极化方式下雷达目标的正确鉴别率不同,雷达工作在垂直极化工作方式时对该某型飞机有更高的鉴别率;雷达通常在跟踪阶段进行有源诱饵和雷达目标的鉴别,此时

信噪比大于20 dB,垂直极化工作方式的雷达对该隐身飞机的鉴别率大于96.6%,因此本文的鉴别算法能实现对雷达目标和有源诱饵的高效鉴别;

表1 雷达目标和有源诱饵正确判决概率

Tab.1 The correct decision probability of target and active decoy

目标 类型	极化 方式	信噪比/dB				
		10	15	20	25	30
某型飞机	水平	90.2	90.7	90.8	91.9	94.2
	垂直	94.8	95.9	96.6	97.0	97.4
有源诱饵	水平	100	100	100	100	100
	垂直	100	100	100	100	100

4 结语

无论有源诱饵是固定极化还是极化调制,其极化信息在双站雷达中是一样的,而雷达目标的极化信息在不同雷达接收站中具有较大的差异。本文针对这个差异提出了一个有源诱饵鉴别方案,获得高效的鉴别效果。在实际电子对抗中,敌方会施加多种干扰方式,继续探寻一切可用的目标回波信息,寻找能同时对抗多种干扰样式的抗干扰方法,将是下一步工作的重点。

参考文献(References):

- [1] 李永祯,肖顺平,王雪松,等. 雷达极化抗干扰技术[J]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
LI Yongzhen, XIAO Shunping, WANG Xuesong, et

- al. Radar Polarization Anti Jamming Technology [J]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [2] 李云涛, 陈永光, 贾鑫, 等. 多载频 MIMO-SAR 对消处理抗欺骗干扰[J]. 电子学报, 2012, 40(9): 1790-1794.
LI Yuntao, CHEN Yongguang, JIA Xin, et al. Multi-Frequency MIMO-SAR Cancellation for Anti-Deception Jamming [J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(9): 1790-1794. (in Chinese)
- [3] 韩伟, 汤子跃, 朱振波, 等. 基于脉内特征的雷达抗欺骗干扰方法[J]. 雷达科学与技术, 2012, 10(5): 481-485.
HAN Wei, TANG Ziyue, ZHU Zhenbo, et al. A Method against Radar's Deception-Jamming Based on Intra-Pulse Feature [J]. Radar Science and Technology, 2012, 10(5): 481-485. (in Chinese)
- [4] 王小静, 罗双才. 一种基于慢时域盲分离的欺骗干扰抑制方法[J]. 电子信息对抗技术, 2013, 28(2): 42-46.
WANG Xiaojing, LUO Shuangcai. An Approach to the Deception Jamming Suppression Based on Blind Signal Separation in Slow-Time Domain [J]. Electronic Information Warfare Technology, 2013, 28(2): 42-46. (in Chinese)
- [5] TITIN-SCHNAIDER Ceci. Characterization and Recognition of Bistatic Polarimetric Mechanisms [J]. IEEE Transactions on GEO Science and Remote sensing, 2013, 51(3): 1755-1774.
- [6] SANDIRASEGARAM N, LIU C. Analysis of Polarimetric Techniques Using High-Resolution Polarimetry Data in an Automatic Target Recognition Context [J]. IET Radar Sonar Naving, 2011, 5(2): 163-171.
- [7] FAN Xuehua, CHEN Hongbin. Aerosol Type Identification Using Parasol Multichannel Polarized Data [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2014, 7(3): 224-229.
- [8] CLEMENTE Carmine. Multi-Sensor Full-Polarimetric SAR Automatic Target Recognition Using Pseudo-Zernike Moments [C]//International Radar Conference Lille France, 2014: 1-5.
- [9] ALDHUBAIB Faisal, SHULEY Nicholas V. Radar Target Recognition Based on Modified Characteristic Polarization States [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2010, 46(4): 1921-1933.
- [10] LU Xuan, XIAO Zelong, XU Jianzhong. Linear Polarization Characteristics for Terrain Identification at Millimeter Wave Band [J]. Chinese Optics Letters, 2014, 12(10): 101201-(1-4).
- [11] LUI Hoi-Shun, SHULEY Nicholas V. Resonance Based Target Recognition Using Ultrawideband Polarimetric Signatures[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(8): 3985-3988
- [12] SHAO Xianhe, LI Aizi, QIAO Xiaolin. Theoretical Analysis of Polarization Recognition Between Chaff Cloud and Ship [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 16(4): 457-459.
- [13] TANG B, LI H M, SHENG X Q. Jamming Recognition Method Based on the Full Polarization Scattering Matrix of Chaff Clouds [J]. IET Microw Antennas Propag, 2012, 6(13): 1451-1460.
- [14] 张强. 有源诱饵的双极化识别[J]. 电讯技术, 2015, 55(2): 168-174.
ZHANG Qiang. Dual Polarization Identification of Active Decoys [J]. Telecommunication Engineering, 2015, 55(2): 168-174. (in Chinese)
- [15] 王涛, 王雪松, 肖顺平. 随机调制单极化有源假目标的极化鉴别研究[J]. 自然科学进展, 2006, 16(5): 611-617.
WANG Tao, WANG Xuesong, XIAO Shunping. Study on Polarization Discrimination of Random Modulation Active Decoy [J]. Prog Nat Sci, 2006, 16(5): 611-617. (in Chinese)
- [16] 牛朝阳, 盛广铭, 马德宝, 等. 全极化转发式假目标鉴别方案设计[J]. 电子信息对抗技术, 2011, 26(5): 45-51.
NIU Chaoyang, SHENG Guangming, MA Debao, et al. Discrimination Scheme of the Full-Polarization Decoy for Polarimetric Radar [J]. Electronic Information Warfare Technology, 2011, 26(5): 45-51. (in Chinese)
- [17] 黄培康, 殷红成, 许小剑. 雷达目标特性[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
HUANG Peikang, YIN Hongcheng, XU Xiaojian. Radar Target Characteristic [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005. (in Chinese)
- [18] 庄钊文, 肖顺平, 王雪松. 雷达极化信息处理及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
ZHUANG Zhaowen, XIAO Shunping, WANG Xuesong. Radar Polarization Information Processing and Application [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999. (in Chinese)

(编辑:姚树峰)