

考虑天线极化特性的 ASLC 系统性能分析

陶建锋, 李兴成, 黄学宇

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要:交叉极化响应使得雷达的天线方向图具有复杂的极化结构,为了研究雷达天线极化特性对天线自适应旁瓣对消系统性能的影响,在干扰为任意极化的情况下,从主辅通道幅相特性出发,分析了天线极化特性对自适应旁瓣对消系统主辅通道幅相特性的影响,进而研究了极化干扰条件下的自适应旁瓣对消系统工作性能。仿真分析表明,由于主辅天线极化特性的不一致,最终将导致自适应旁瓣对消系统通道幅相不一致,特别是当干扰方实施交叉极化干扰时,主辅通道幅相不一致最严重,系统工作性能显著下降,干扰对消比最差。因此,为了得到较好的旁瓣对消效果,除了对自适应旁瓣对消系统通道幅相特性有一定的要求以外,对于雷达天线的极化特性也应有所要求。

关键词:自适应旁瓣对消器;交叉极化;幅相不一致;干扰对消

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.02.009

中图分类号: TN972 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)02-0038-04

任何天线都存在不同程度的正交极化耦合度,也就是说,在接收主极化电磁信号时,还会接收交叉极化电磁信号分量。文献[1]最早讨论了交叉极化对自适应阵的影响,此外,文献[2-3]也在假设交叉极化引入误差固定的前提下,对交叉极化对自适应阵列性能的影响进行了仿真,结论为阵列的自由度要降低一半。文献[4-10]重点分析了极化干扰对 ASLC 系统及自适应阵的影响。本文在干扰为任意极化的情况下,从主辅通道幅相特性出发,系统分析了天线极化特性对自适应旁瓣对消器(Adaptive Side-lobe Canceller, ASLC)工作性能的影响,得出了重要结论。

1 ASLC 系统工作原理

设主天线方向图函数为 $F_M(\theta)$, 辅助天线方向图函数均为 $F_A(\theta)$, 系统具有 L 个辅助通道, 主、辅阵列接收的快拍数据可表示为:

$$V_M(t) = F_M(\theta)s(t) + n_M(t) \quad (1)$$

$$V(t) = F_A(\theta)s(t)\mathbf{a}_A(\theta) + \mathbf{n}(t) \quad (2)$$

式中: $\mathbf{a}_A(\theta) = [e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}d_1\sin\theta}, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}d_2\sin\theta}, \dots, e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}d_L\sin\theta}]^T$, d_i 为第 i 个辅助天线相位中心与主天线相位中心之间的距离; $s(t)$ 为信号复包络; $n_M(t)$ 、 $\mathbf{n}(t)$ 分别为主辅通道噪声。

ASLC 系统权值方程为:

$$M\mathbf{W} = \mu\mathbf{R} \quad (3)$$

式中: $M = E\{\mathbf{V}^* \mathbf{V}^T\}$ 为辅助通道干扰相关矩阵; $\mathbf{R} = E\{V_M \mathbf{V}^*\}$ 为各辅助通道与主通道的干扰相关矩阵; \mathbf{W} 为辅助通道自适应加权系数; μ 为任意常数。ASLC 系统的干扰对消比(Cancellation Ratio, CR)定义为:无期望信号条件下没有辅助通道时系统输出功率与有辅助通道时系统输出功率之比^[5]。即:

* 收稿日期:2008-11-21

作者简介:陶建锋(1963-),男,河南通许人,教授,主要从事雷达系统仿真教学和研究。E-mail:tifool@sina.com

$$C_R = \frac{E\{|V_M|^2\}}{P_{\text{res}}} = \frac{E\{|V_M|^2\}}{E\{|V_M - \mathbf{W}^T \mathbf{V}|^2\}} = \frac{E\{|V_M|^2\}}{E\{|V_M|^2\} - \mathbf{R}^H \mathbf{M}^{-1} \mathbf{R}} \quad (4)$$

式中 $P_{\text{res}} = E\{|V_M - \mathbf{W}^T \mathbf{V}|^2\}$ 为干扰对消剩余。

2 考虑天线极化特性的信号模型

不失一般性,设某单辅助通道 ASLC 系统各天线主极化为水平极化,记主天线主极化与交叉极化方向图分别为 F_{MH} 、 F_{MV} ,辅助天线主极化与交叉极化方向图分别为 F_{AH} 、 F_{AV} ,设干扰信号极化矢量为(为简单起见,略去时间项和空间项):

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} J_H \\ J_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y \cos \varepsilon \\ y \sin \varepsilon \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: ε 为干扰极化角; y 为干扰信号,则主辅天线接收到的 θ 方向的干扰信号为:

$$X_M = [F_{MH}(\theta), F_{MV}(\theta)] \mathbf{J} \quad (6)$$

$$X_A = [F_{AH}(\theta) e^{-j\varphi}, F_{AV}(\theta) e^{-j\varphi}] \mathbf{J} \quad (7)$$

式中 $\varphi = 2\pi \left(\frac{d}{\lambda} \right) \sin \theta$, d 为主辅天线等效相位中心间距,设干扰信号功率为 P ,且:

$$F_{MV}(\theta)/F_{MH}(\theta) = \rho_M e^{j\eta_M} \quad (8)$$

$$F_{AV}(\theta)/F_{AH}(\theta) = \rho_A e^{j\eta_A}$$

定义 $\gamma_M = \rho_M e^{j\eta_M}$, $\gamma_A = \rho_A e^{j\eta_A}$ 分别为主辅天线在 θ 方向的极化抑制比(电压)。

辅助天线接收的信号为:

$$X_A = \sqrt{P} F_{AH}(\theta) (\cos \varepsilon + \gamma_A \sin \varepsilon) e^{-j\varphi} y \quad (9)$$

主天线信号为:

$$X_M = \sqrt{P} F_{MH}(\theta) (\cos \varepsilon + \gamma_M \sin \varepsilon) y \quad (10)$$

如果干扰极化角 ε 为固定值,天线的交叉极化方向图也是固定的,那么天线极化特性的影响转化为固定的幅相误差,如果 ε 是变化的,则天线极化特性的影响转化为随机的幅相误差,而幅相误差将直接导致系统对消性能的下降。

3 仿真结果及分析

设 $\rho_M = 10^{-1.5}$, $\eta_M = 32^\circ$, $\rho_A = 10^{-2.0}$, $\eta_A = 25^\circ$,空间只有一个干扰, $F_{MH}(\theta) = F_{AH}(\theta) = 13$ dB,干噪比为 30 dB,天线相位中心间距为 5 倍波长,快拍数设为 100,不考虑固定相移 φ 的影响,图 1 为主辅通道等效幅相随 ε 变化曲线,由图 1 可知,除了在干扰为交叉极化时 ($\varepsilon = 90^\circ, 270^\circ$),主辅通道幅相误差都很小,由天线极化特性带来的通道幅相误差可以忽略;事实上,从式(9)和式(10)不难看出,如果 $\gamma_M = \gamma_A$,那么可以认为主辅通道将只有由主辅天线增益带来的幅度误差,而没有相位误差,主辅天线增益相同时,主辅通道间将没有幅相误差;如果 $\gamma_M \neq \gamma_A$,那么很明显,当 $\varepsilon = 90^\circ, 270^\circ$ 时,各天线只接收到交叉极化信号,由天线交叉极化响应带来的幅相不一致性最大,这已在图 1 中得到验证。

从图 2 来看,主辅天线极化特性一致时,干扰对消比随入射功率而变化,但是干扰对消剩余很小且基本保持不变;当主辅天线极化特性不一致时,在 $\varepsilon = 90^\circ, 270^\circ$ 时,干扰对消剩余突然增大,甚至高达 10 dB,而且主辅天线极化特性一致性越差,干扰对消剩余越大,当主辅极化抑制比幅度相差 10 dB 时,干扰对消剩余功率高达 20 dB,见图 3;对于实际的 ASLC 系统而言,其主辅天线极化特性保持严格一致显然是不现实的,因此在干扰方发射交叉极化干扰时 ASLC 系统工作性能很值得怀疑。

毫无疑问,在交叉极化干扰时,ASLC 工作性能的下降是由极化抑制比的不一致带来的,对于一般的雷达天线而言,极化抑制比幅度很难低于 -20 dB,设主辅天线极化抑制比幅度变化范围为 -20 dB - -10 dB,

相位差变化范围为 $0^\circ - 180^\circ$,主要考察交叉极化干扰时的ASLC性能,故令 $\varepsilon = 90^\circ$,其他参数保持不变,图3为干扰对消剩余随主辅天线极化抑制比变化曲线。从仿真结果可以看出,主辅天线极化抑制比幅度差异对ASLC干扰对消影响显著,而相位差异影响很小,因此,ASLC系统主辅天线的极化抑制比幅度尽可能低,而且,主天线的极化抑制比幅度应小于等于辅助天线极化抑制比幅度。

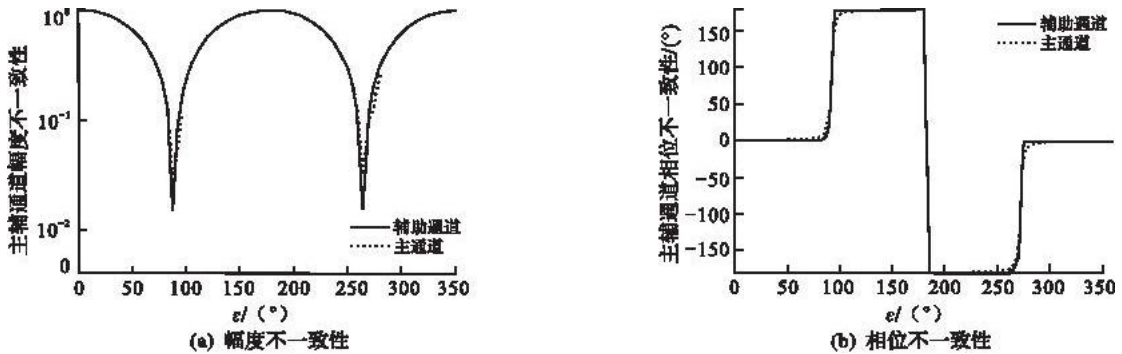


图1 主辅通道等效幅相随干扰极化角变化曲线

Fig. 1 The main and auxiliary equivalent amplitude and phase with polarization angle

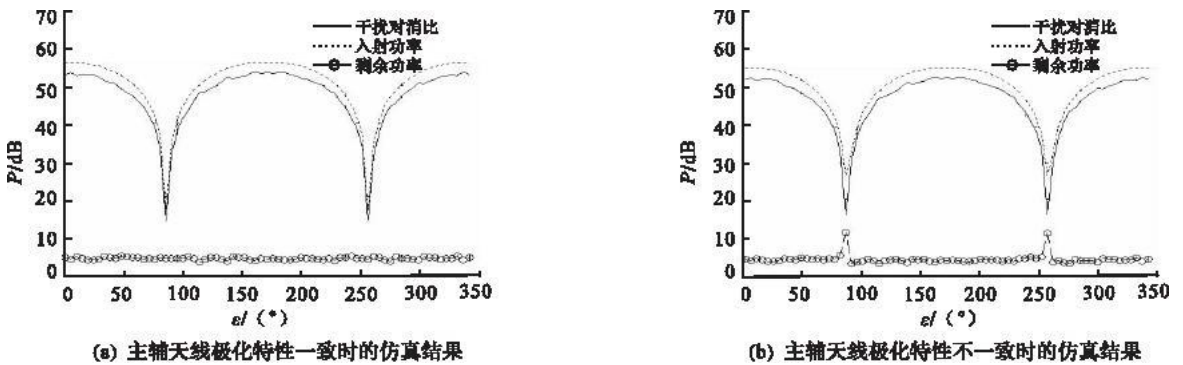
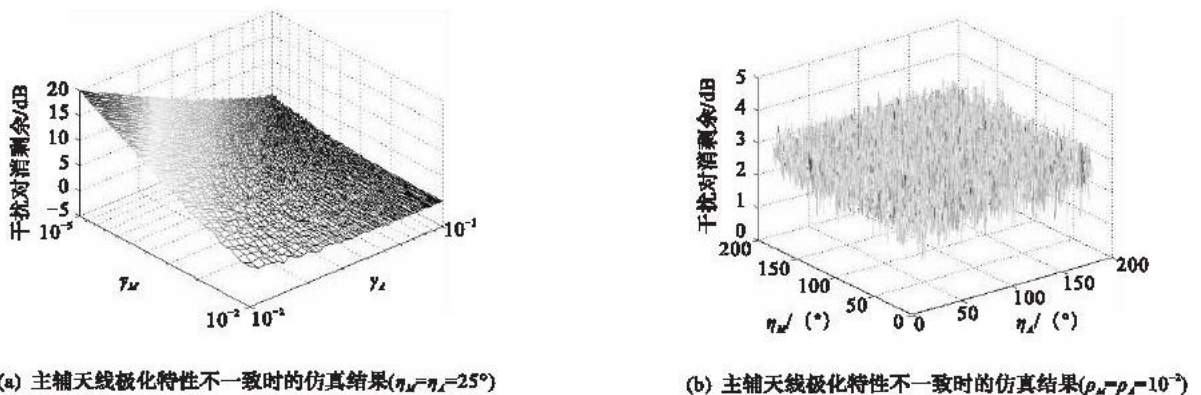


图2 ASLC工作性能随干扰极化角变化曲线

Fig. 2 ASLC performance with Jamming polarization angle



(a) 主辅天线极化特性不一致时的仿真结果($\eta_\mu = \eta_x = 25^\circ$)

(b) 主辅天线极化特性不一致时的仿真结果($\rho_\mu = \rho_x = 10^{-3}$)

图3 主辅天线极化特性不一致性时的干扰对消剩余仿真

Fig. 3 Cancellation residual with polarization errors between the main and auxiliary channels

4 结论

通过本文的分析与仿真,可以得出如下结论:由于主辅天线极化特性的不一致性,当干扰方实施交叉极化干扰时,系统工作性能显著下降,且主辅天线极化特性一致性越差,干扰对消剩余越大,当主辅天线极化抑制比幅度相差10 dB时,干扰对消剩余功率高达20 dB。为了得到较好的旁瓣对消效果,除了对通道幅相特

性有一定的要求以外,对于天线的极化特性也应有所要求,即在尽可能使主辅天线极化特性一致的基础上,要保证主天线的极化抑制比幅度要小于等于辅助天线的极化抑制比幅度。

参考文献:

- [1] Brown A K. Effects of Element Cross Polarization in Adaptive Array [J]. IEE – F Conf Proc, 1981, 19(1): 144 – 148.
- [2] Worms J G. About the Influence of Polarization Agile Jammers to Adaptive Antenna Array [C]//Proceeding of IEEE Internatrol Radar Conference. NY: IEEE Press, 1995: 619 – 623.
- [3] Games R A, Townes S A, Williams R T. Experimental Results of Wide – bandwidth High – frequency Adaptive Array Processing [C]//IEEE MILCOM 92. NY: IEEE Press, 1992: 294 – 300.
- [4] 李兴成, 张永顺. 对 ASLC 系统的攻击技术研究[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2007, 8(1): 27 – 30.
LI Xingcheng, ZHANG Yongshun. Study on the Attack Technology on ASLC[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(1): 27 – 30. (in Chinese)
- [5] Farina A. Antenna – Based Signal Processing Techniques for Radar Systems[M]. Boston: Artech House INC, 1992.
- [6] Lank B, Nossek J A, Sebal G. Cross – polarization Jamming Cancellation in the Presence of Delay Effects [C]//IEEE ICC 88. NY: IEEE Press, 1988: 1355 – 1361.
- [7] Matsue H, Ohtsuka H, Murase T. Digitalized Cross – Polarization Jamming Canceller for Multilevel Digital Radio [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1987, SAC – 5(3): 493 – 501.
- [8] Bahamonde I R A, Romano J M T, Mota J C M. The Adaptive Filtering for Cross – polarization Jamming Canceller [C]//ITS – 90. NY: IEEE Press, 1990: 317 – 321.
- [9] Wisler D J. The Development of A Baseband Cross – pol Canceller [C]//IEEE ICC 88. NY: IEEE Press, 1998: 1349 – 1354.
- [10] Borgne M. A New Class of Adaptive Cross – Polarization Jamming Cancellers for Digital Radio Systems [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1987, SAC – 5(3): 484 – 492.

(编辑: 田新华)

Performance Analysis of ASLC System When Taking Antenna Polarization into Consideration

TAO Jian – feng, LI Xing – cheng, HUANG Xue – yu

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the characteristics of amplitude and phase between the main and auxiliary channels, the effects of antenna polarization on Adaptive Side – lobe Canceller under arbitrary polarization interference are analyzed. The polarization difference between the antennas will finally result in the amplitude and phase errors, the most serious errors occur with cross – polarization interference; the cancellation ratio is also the worst. For good performance of Adaptive Side – lobe Canceller, the antenna polarization performance must be designed well besides the channel amplitude and phase.

Key words: ASLC; cross – polarization; amplitude and phase errors; cancellation ratio