

对 ASLC 系统的攻击技术研究

李兴成, 张永顺

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:根据 ASLC 系统的工作特点,分析了多方位饱和干扰与多方位闪烁干扰的工作原理,提出了对 ASLC 系统的3种干扰模式,给出了 ASLC 系统干扰对消比与合成方向图数学模型并进行了仿真,仿真结果表明本文设计的干扰模式是有效的。

关键词:ASLC;饱和干扰;闪烁干扰

中图分类号:TN972 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2006)01-0027-03

1959年 Howells 发明了单辅助通道的自适应旁瓣对消器(ASLC: adaptive side-lobe canceller)^[1],经 Applebaum 等人的努力,又发展到采用多个辅助天线以增加自由度抑制多个干扰,称之为多旁瓣相消器^[2](MSLC: Multiple Side-lobe Canceller);目前 ASLC 在防空雷达中已经广泛应用,ASLC 最大的特点就是能够自适应地在干扰方向形成“零点”,对于有源压制干扰对消效果非常明显,因此,研究对 ASLC 系统的电子干扰技术是能否有效压制对方雷达的关键。

1 对 ASLC 系统的多方位饱和攻击

对于一个有 M 个辅助通道的自适应旁瓣对消系统,它的合成方向图能够在 M 个干扰方向形成零点,系统具有 M 个自由度(DOF: Degrees of Freedom)。因此,对抗 ASLC 系统的一个自然选择就是采用饱和攻击技术,使得系统无法在所有干扰方向形成零点,无法完成对干扰的完全对消。多方位饱和攻击就是通过空间多部干扰设备对威胁雷达进行干扰,它的基本要求是干扰源数大于威胁雷达辅助通道数,而且各个干扰机的干扰起始时间一致。这种干扰方式方法简单、效果稳定,便于战场应用。

2 对 ASLC 的多方位闪烁干扰

旁瓣对消器通常是在一个雷达脉冲重复周期内首先对天线接收的信号进行采样,并利用采样值通过某种算法求得最佳权向量,根据不同的准则可以求得对应当前干扰的最佳权值,然后以该权值对消雷达脉冲周期内其它的所有采样点,并且这一计算过程在每个雷达脉冲周期内都重复地进行。ASLC 系统工作时间分配关系如图1所示^[3]。图中, T 为脉冲重复周期, T_1 为权值计算时间, T_2 为对消时间。如果在 T_1 、 T_2 时间干扰没有发生变化,那么 T_1 与 T_2 时间内的权值是近似相同的。如果干扰信号发生变化,那么 T_1 、 T_2 时间内的权值也应是不一样的。若用 T_1 时刻计算的权值来对消 T_2 时刻的采样值,则干扰信号就不能被对消掉。因此,一个自然的想法就是在 T_1 、 T_2 时间内由不同的干扰机分别实施干扰,此即多方位闪烁干扰的原理。

实施多方位闪烁干扰时,干扰机位于空中不同方位,相互间通过通信的方式进行协调工作,对威胁雷达实施闪烁干扰,其工作时序如图2所示(3架干扰机)。需要指出的是,图2并不是唯一的干扰机机群工作时序,干扰机的工作时序只需要满足在 T_1 、 T_2 内由不同干扰机或干扰机组合实施干扰即可,多方位闪烁干扰需要2架以上的干扰机来实施。多方位闪烁干扰除了能够在 ASLC 系统对消时间内对其进行压制干扰以外,

收稿日期:2006-06-05

作者简介:李兴成(1978-),男,陕西三原人,博士生,主要从事雷达对抗、雷达系统仿真研究;

张永顺(1961-),男,陕西咸阳市人,教授,博士生导师,主要从事防空武器电子对抗研究。

还能够对威胁雷达形成角度欺骗,使得雷达不能正确跟踪目标;而且这种干扰对于将来可能出现的自适应雷达同样有效。

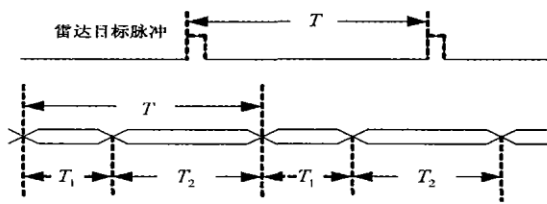


图1 ASLC系统工作时间分配

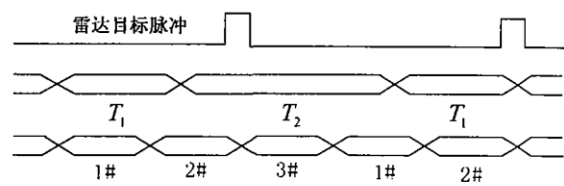


图2 一种多方位闪烁干扰机群工作时序

多方位饱和干扰和多方位闪烁干扰完全可以在战场上进行综合运用,即通过协调决定运用哪种干扰,因此携带有源干扰的干扰机群将具有多方位饱和干扰、两点源闪烁干扰以及多点源闪烁干扰3种干扰工作模式。具体工作模式将视威胁雷达辅助通道数目而定。

3 计算模型

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, 空间内 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ 方向有 P 个干扰源。

主、辅阵列接收的快拍数据可表示为

$$X_M(t) = A_M S(t) + n_M(t) = \sum_{q=1}^P F_M(\theta_q) s_q(t) + n_M(t) \quad (1)$$

$$X_A(t) = A_A S(t) + n_A(t) = \sum_{q=1}^P F_A(\theta_q) \mathbf{a}_A(\theta_q) s_q(t) + n_A(t) \quad (2)$$

式中: $X_M(t)$ 、 $X_A(t)$ 分别为主辅通道噪声; $A_M = [F_M(\theta_1), \mathbf{a}_A(\theta_1), \dots, F_M(\theta_p), \mathbf{a}_A(\theta_p)]$; $A_A = [F_M(\theta_1), F_M(\theta_p)]$; $\mathbf{a}_A(\theta_q) = [e^{j\frac{2\pi}{\lambda} d_1 \sin\theta_q}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} d_L \sin\theta_q}]^T$; 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, $S(t) = [s_1(t), \dots, s_p(t)]^T$ 为干扰信号复包络矢量。系统输出信号为

$$y(t) = X_M(t) - \mathbf{W}^T X_A(t) \quad (3)$$

其中 $\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_L]^T$ 。使得式(3)最小的 Wiener-Hopf 解为

$$\mathbf{W}_{\text{opt}} = \mathbf{M}^{-1} \mathbf{R} \quad (4)$$

式中: $\mathbf{R} = E(X_A^* X_M)$ 为主通道与辅助通道信号的互相关矩阵; $\mathbf{M} = E(X_A^* X_A^T)$ 为辅助通道信号的协方差矩阵。系统的干扰对消比(CR: Cancellation Ratio)为

$$\text{CR} = \frac{|X_M|^2}{|X_M - \mathbf{W}_{\text{opt}}^T X_A|^2} \quad (5)$$

系统合成方向图为

$$F(\theta) = [F_M(\theta) - F_A(\theta) \mathbf{W}_{\text{opt}}^H] \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{a}_A(\theta) \end{bmatrix} = F_M(\theta) - F_A(\theta) \mathbf{W}_{\text{opt}}^H \mathbf{a}_A(\theta) \quad (6)$$

上标^H代表矩阵共轭转置。

4 仿真结果及分析

设有12全向单元的均匀直线阵, 天线单元间距 0.5λ , 所有单元构成主天线, 最右边的4个单元构成两个辅助天线, 每个辅助天线有两个单元。期望信号方向 $\theta_0 = 0^\circ$, 空间3个干扰源以 $\theta_1 = 12^\circ, \theta_2 = 25^\circ, \theta_3 = -6^\circ$ 方向入射天线阵^[4], 干噪比设为30 dB, 快拍数设为100。图3为系统静态方向图, 图4为辅助通道数等于干扰源数目时的100次仿真结果, 图5和图6分别为饱和和攻击与闪烁干扰时的100次仿真结果。

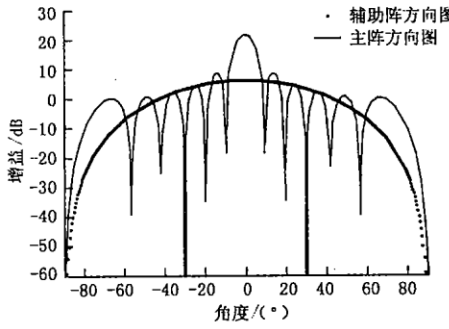


图 3 系统静态方向图

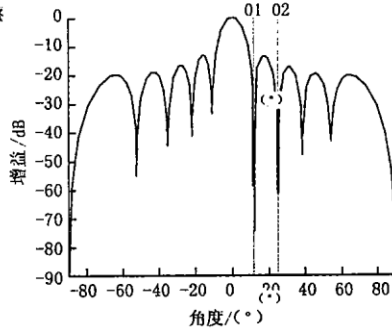


图 4 干扰源数等于辅助通道数时的系统合成方向图和 CR

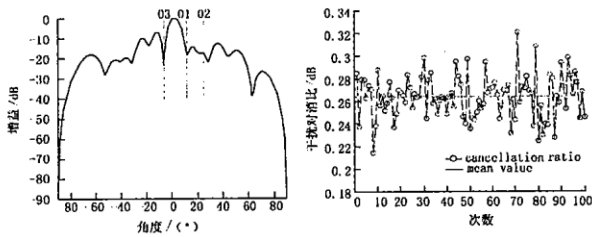
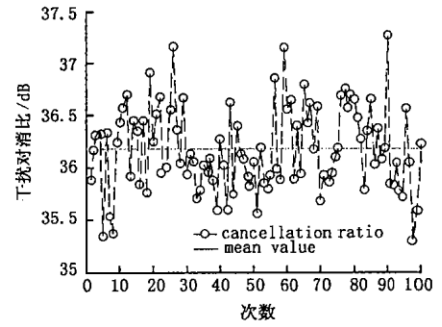


图 5 多方位饱和攻击时的系统合成方向图和 CR

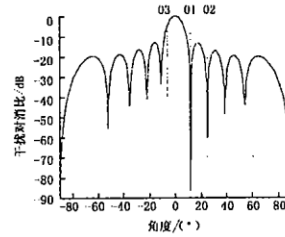
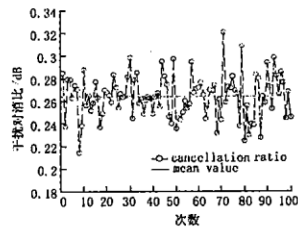
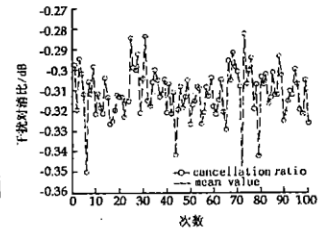


图 6 多方位闪烁干扰时的系统合成方向图和 CR



从仿真结果来看,辅助通道数与空间干扰源数目一致时,ASLC 系统能够在干扰方向形成零点,干扰对消比较高;当辅助通道数小于干扰源数目即实施多方位饱和攻击时,系统未能形成有效零点,对消比很低;当实施闪烁干扰时(T_1 时间内 1、2 号干扰机工作, T_2 内 3 号干扰机工作),系统合成方向图只在 1、2 号干扰方向形成零点,对消比为负数值,这说明 3 号干扰根本没有对消,可见多方位闪烁干扰效果非常理想。

参考文献:

[1] Howells P. Intermediate Frequency Side - Lobe Canceller [P]. U. S. Patent 3202990, Aug. 24, 1965.
 [2] Applebaum S P, Chapman D J. Adaptive arrays with main beam constraints [J]. IEEE Trans. on AP, 1976, 24 (5): 650 - 662.
 [3] 许少云. 无人机干扰新体制雷达的研究[J]. 上海航天, 2005(2): 51 - 54.
 [4] 李兴成. 基于 SPW 的有源压制性干扰建模与仿真[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(4): 30 - 33.

(编辑:田新华)

A Study of the Attack Technology on ASLC

LI Xing - cheng¹, ZHANG Yong - shun¹, YUAN Shi - quin²

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

Abstract: The principles of the multi - azimuth saturated jamming and blinking jamming are analyzed based on the character of ASLC in this paper, three jamming modes are presented, and the mathematic model of Cancellation Ration and adapted pattern is presented and simulated. The simulation results show that the jamming modes designed in this paper are effective.

Key words: ASLC; saturation jamming; blinking jamming