

引用格式:李秀金,陆洪涛,朱良春,等.基于AGC的抗相参压制干扰方法研究[J].电光与控制,2019,26(11):37-40. LI X J, LU H T, ZHU G C, et al. Countermeasure of coherent blanking jamming based on automatic gain control[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(11):37-40.

基于AGC的抗相参压制干扰方法研究

李秀金¹, 陆洪涛¹, 朱良春², 沈义龙¹

(1. 中国洛阳电子装备试验中心,河南 洛阳 471000; 2. 中国人民解放军77538部队,拉萨 850000)

摘要:相参压制干扰技术在突防设备中得到广泛应用,其作战对象——导弹防御系统雷达很难采取有效措施对其进行对抗。立足现有雷达技术,针对基于间歇采样的相参压制干扰技术的固有缺陷,提出一种通过雷达AGC达到对抗相参压制干扰的方法,并通过机理分析和仿真验证,证实该方法能够有效对抗基于间歇采样的相参压制干扰。

关键词:AGC; 抗相参压制干扰; 机理分析; 仿真验证

中图分类号: TN97 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.11.008

Countermeasure of Coherent Blanking Jamming Based on Automatic Gain Control

LI Xiu-jin¹, LU Hong-tao¹, ZHU Gen-chun², SHEN Yi-long¹

(1. Luoyang Electronic Equipment Test Center of China, Luoyang 471000, China;

2. No. 77538 Unit of PLA, Lhasa 850000, China)

Abstract: The coherent blanking jamming technology is widely applied in the penetration jamming equipment, against which the radars of missile defense systems have few effective countermeasures. Based on existing radar technology, the paper proposes a new method for the countermeasure of coherent blanking jamming on the basis of radar Auto Gain Control (AGC) by studying the inherent defects of the coherent blanking jamming technology based on intermittent sampling. The principle analysis and simulation show that the method is effective in the confrontation of coherent blanking jamming.

Key words: automatic gain control; countermeasure of coherent blanking jamming; principle analysis; simulation verification

0 引言

现代导弹防御系统中,雷达承担着搜索、检测、跟踪、识别多目标及导弹制导等多项功能,在对抗敌近程、中程、远程及洲际等多级别弹道导弹突防的作战中,发挥着至关重要的作用。但随着高速数字电路与信号处理技术在雷达对抗领域的广泛应用,基于数字射频存储器(DRFM)、直接数字合成器(DDS)等技术^[1-2]的相参压制干扰^[3-4]已成为防御系统雷达的重要威胁,其通过对雷达信号进行采样处理,利用脉冲压缩雷达的匹配滤波特性,产生逼真的假目标回波串,可获取较高的处理得益,同时兼具压制和欺骗能力的复合干扰效果。这种获取良好干扰效果的相参压制干扰对现代雷达防御系统无疑是一个巨大的威胁,亟需提

出有效的抗干扰方法。

在诸如弹载突防设备等多种应用平台中,由于收发天线同时工作的高隔离度要求^[1]难以满足,当前的相参压制干扰主要是基于天线收发分时体制的间歇采样干扰。本文针对相参压制干扰的间歇干扰特性,研究通过雷达增益控制对抗相参压制干扰的方法,为现代雷达防御作战提供重要的理论支撑。

1 基于间歇采样的相参压制干扰

基于间歇采样的相参压制干扰的基本原理是:截获到大时宽雷达信号时,高保真采样其中的一小段信号后进行处理转发,然后再采样、处理转发下一段信号,采样转发分时交替工作,直到大时宽信号结束。干扰机的接收机和发射机在整个脉冲宽度内是分时工作的。

间歇采样脉冲信号 $p(t)$ 是一个矩形包络脉冲串,其脉宽为 τ ,重复周期为 T_s ,即^[5-6]

$$p(t) = \text{rect}(t/\tau) \cdot \sum_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_s) \quad (1)$$

收稿日期:2018-11-08

修回日期:2019-01-10

作者简介:李秀金(1986—),男,河南洛阳人,硕士,工程师,研究方向为雷达及雷达对抗技术。

则 $p(t)$ 的频谱为

$$P(f) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \tau f_s Sa(\pi n f_s \tau) \delta(f - n f_s) = \sum_{-\infty}^{+\infty} a_n \delta(f - n f_s), \quad (2)$$

式中: $f_s = 1/T_s$, 为采样频率; $a_n = \tau f_s Sa(\pi n f_s \tau)$ 。

设截获的雷达信号为 $x(t)$, 其脉宽为 T , 频谱为 $X(f)$, 干扰机对其进行间歇采样处理, 其中, 脉宽 T 大于采样周期 T_s , 采样后信号 $x_s(t)$ 为

$$x_s(t) = p(t)x(t), \quad (3)$$

$x_s(t)$ 的频谱为

$$X_s(f) = \sum_{-\infty}^{+\infty} a_n X(f - n f_s), \quad (4)$$

式中: $X_s(f)$ 是 $X(f)$ 的周期加权延拓; f_s 为延拓周期; a_n 为幅度加权系数。

在实际的相参干扰信号设计中, 为实现有效稳定掩护目标的目的, 常常会在间歇采样的基础上, 进行频率调制、噪声调制或延时叠加等处理以产生期望的相参压制干扰信号。以一种间歇采样 + 延时叠加方式产生的相参压制干扰为例, 干扰信号经匹配滤波(即脉冲压缩)后的结果如图 1 所示。

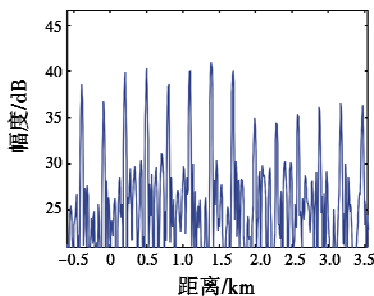


图 1 相参压制干扰信号脉冲压缩结果

Fig. 1 The coherent blanking jamming signal after matched filtering

对相参干扰信号进行脉冲压缩处理后可以看出, 该类干扰经匹配滤波后能够产生一系列虚假回波串, 进而利用雷达的 CFAR 检测功能对真实回波起到压制的作用, 因而能够获取较大的处理得益。但相参压制干扰主要是基于间歇采样技术, 在干扰期间, 始终存在因侦收采样雷达信号而暂停干扰的微小间隙, 这是基于间歇采样的相参压制干扰的固有特性。为提高雷达的抗相参压制干扰性能, 可以针对该项特性, 采取必要的措施进行有效对抗。

2 自动增益控制 (AGC) 系统及抗相参压制干扰原理分析

2.1 AGC 系统

在现代雷达接收机中, 若信号太弱, 不能被检测出来; 若信号太强, 接收机会发生饱和和过载。为了防止信

号太强引起的过载, 需要增大接收机的动态范围, 这就需要有增益控制电路, 而 AGC 系统就是一种被广泛应用于接收机中的增益控制电路。

AGC 系统在雷达接收机中一般位于接收机的中频增益衰减及接收机的前端部位, 自动增益控制是一种反馈技术, 用来自动调整接收机的增益, 以便在雷达系统跟踪环路中保持适当的增益范围。其作用主要为 4 个方面^[7-8]: 1) 防止强信号引起的接收机过载; 2) 补偿接收机增益的不稳定; 3) 在跟踪雷达中用于保证角误差信号的归一化; 4) 在多波束三坐标雷达中用来保证多通道接收机的增益平衡。

图 2 为 AGC 系统的基本功能框图^[7]。

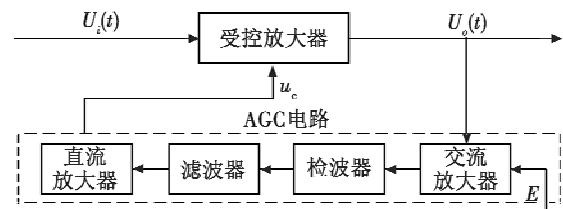


图 2 AGC 系统的基本功能框图

Fig. 2 The basic function block diagram of AGC system

如图 2 所示, E 是 AGC 系统中门限比较的设定值。若 AGC 电路输入的电压小于 E , AGC 电路输出控制量 u_c 控制受控放大器来调节输出(放大作用)的电压使之达到设定的 E 值; 若输入的电压大于 E , 同样 AGC 电路输出控制量 u_c 控制受控放大器来调节输出(衰减作用)的电压使之达到设定的 E 值。

2.2 AGC 抗相参压制干扰原理分析

由于相参压制干扰信号在雷达上获取的处理得益往往要小于掩护目标回波信号获取的处理得益, 因此, 若要产生稳定的压制干扰效果, 相参压制干扰信号需要在功率上比掩护目标回波信号大得多。如果可以采取抑制进入雷达系统的相参压制干扰信号的功率, 使其与掩护目标回波的功率相当, 则可以起到抗相参压制干扰的作用。

在雷达中, 若信号使其接收通道饱和, 雷达将不能对该信号进行正常放大^[9-10]。可以利用 AGC 系统, 在保持回波信号能够被正常放大的前提下, 使接收到的相参干扰信号一直处于接收机通道的深度饱和状态, 则能抑制相参干扰信号的有效功率, 起到降低相参压制干扰效果的作用, 进而检测出回波信号, 实现对目标的跟踪。

通过 AGC 使相参干扰信号一直处于接收机通道饱和的位置, 此时, 对于干扰信号, 干扰输出幅度将不再增大, 甚至反而会减小, 此时叠加在一起的掩护目标

回波信号的幅度也不再增大;但相参干扰暂停的间隙,掩护目标回波信号由于处于放大通道的线性动态范围内,可以得到正常放大(如图 3 所示)。因此,总的干信比会明显下降,即总的信干比有较大改善。

通过分析还可以看出,上述抗干扰方法取得的干信比下降程度与接收机的放大特性密切相关,而且受到相参压制干扰信号时序和进入放大通道前的信干比的影响。

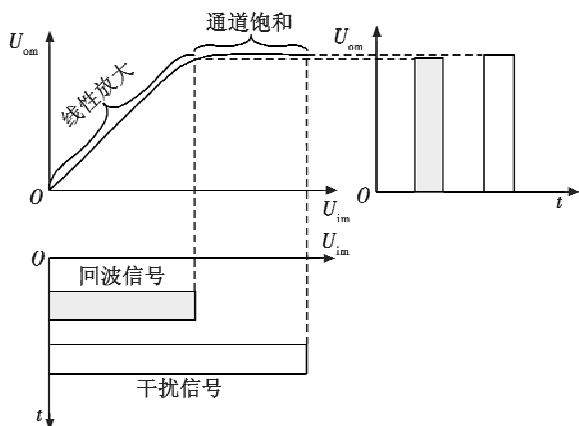


图 3 干扰信号和回波信号通过接收机放大通道图(进行增益控制)

Fig. 3 The process of jamming signal and echo signal passing receiver amplifier(with gain control)

3 AGC 抗相参压制干扰效果仿真

以一种间歇采样 + 延时叠加方式产生的相参压制干扰为例,针对上述分析结果,在未进行增益控制和进行增益控制两种情况下对干扰信号和回波信号叠加后经脉冲压缩、CFAR 检测处理的结果进行了仿真。

雷达和干扰的相关参数假设为:雷达信号脉宽 120 μs ,带宽 5 MHz,掩护目标回波幅度 0 dB,相参压制干扰信号与该信号的幅度比 13 dB;接收机通道线性动态范围约 30 dB,输入信号幅度 38 dB 时通道深度饱和,最大输出幅度 44 dB。

3.1 未进行抗相参干扰增益控制情况下的压制干扰效果仿真

干扰信号幅度和回波信号幅度均处于接收机通道动态范围内,未使接收机通道饱和,干扰信号和回波信号均可获正常放大,干扰信号和回波信号的幅度比没有变化,仍为 13 dB。图 4 为干扰信号和回波信号叠加后通过接收机通道的示意图。

对通过接收机通道后的叠加后干扰信号和回波信号进行脉冲压缩、CFAR 检测处理,其仿真结果见图 5。从图 5 中可以看出,该干信比情况下,回波信号未被检

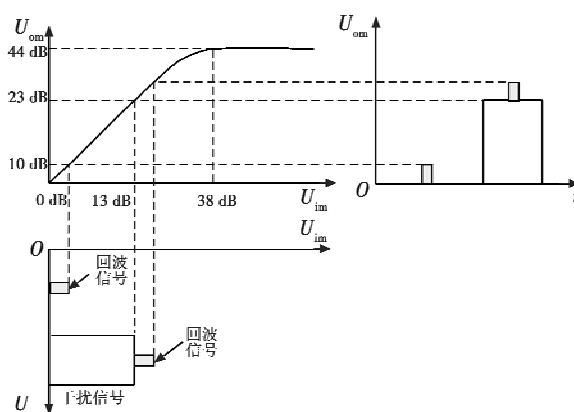


图 4 干扰信号和回波信号通过接收机放大通道图(未进行增益控制)

Fig. 4 The process of jamming signal and echo signal passing receiver amplifier(without gain control)

测出来,相参压制干扰信号起到了良好的压制效果。

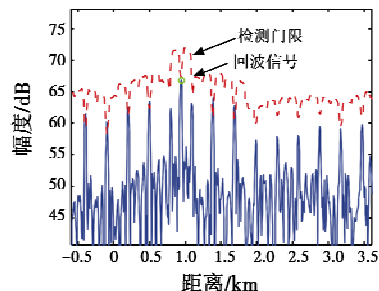


图 5 叠加后的干扰信号和回波信号的 CFAR 检测结果(未进行增益控制)

Fig. 5 The CFAR detection result of jamming signal and echo signal after superposition(without gain control)

3.2 进行抗相参干扰增益控制情况下的压制干扰效果仿真

对叠加后的干扰信号和回波信号进行增益控制,使回波信号处于接近但未达到接收机通道饱和状态,干扰信号处于接收机通道的深度饱和状态。回波信号获得正常放大,而干扰信号未获得正常放大,其输出幅度等于接收机饱和输出幅度,导致干扰信号和回波信号的幅度比变小,干扰信号和回波信号通过接收机通道的情况可参照图 3。

对通过接收机通道后的叠加后干扰信号和回波信号进行脉冲压缩、CFAR 检测处理,其仿真结果如图 6 所示。从图 6 中可以看出,增益控制后干信比减小,回波信号被检测出来。因此,通过对信号进行增益控制取得了明显的抗相参干扰效果,使相参压制干扰信号未能起到压制效果。

通过仿真结果可以看出,在上述相参压制干扰方法和接收机放大通道特性情况下,基于 AGC 的抗相参压制干扰方法使通过放大通道后的干信比明显下降,并能

使回波信号被雷达检测出来,抗干扰效果十分明显。

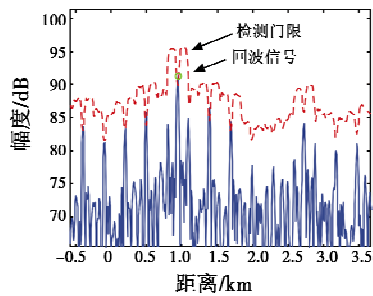


图 6 叠加后的干扰信号和回波信号的
CFAR 检测结果(进行增益控制)

Fig. 6 The CFAR detection result of jamming signal and
echo signal after superposition(with gain control)

4 结束语

相参压制干扰方法是一种技术先进的现代压制干扰方法,在突防干扰设备上得到了广泛的应用,但由于其基于收发分时体制的特点,干扰持续期间始终存在短暂停止干扰的间歇,因此在雷达上可以采用增益控制方法,起到抑制相参压制干扰信号有效功率的作用。通过机理分析和数学仿真可知,在雷达上采用增益控制方法进行抗相参压制干扰的方法是有效可行的。在雷达设计中进行综合考虑后,可以采用 AGC 系统自动实现抗相参压制干扰增益调整。

该 AGC 系统要求实时性更强。在实际应用中,对于没有 AGC 系统的雷达,可考虑在其接收通道中放的末级、甚至相邻的前几级改造加装抗相参压制干扰 AGC 系统。对于已有 AGC 系统的雷达,若 AGC 系统具备瞬时自动增益控制能力,则只需将该 AGC 系统门

限电压设置为该级中放的最大线性放大值,即可实现抗相参压制干扰功能;否则,需另增加抗相参压制干扰 AGC 系统。

参考文献

- [1] 王雪松,刘建成,张文明,等. 间歇采样转发干扰的数学原理[J]. 中国科学 E 辑:信息科学,2006,36(8): 891-901.
- [2] 刘佳琪,刘进,丹梅,等. 对导弹防御制导雷达的多假目标干扰仿真研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(3): 557-561.
- [3] 刘巧玲,李文成,张文明,等. 间歇采样移频转发干扰效果仿真分析[J]. 电子信息对抗技术,2009,24(1): 48-50.
- [4] 李宏,牟能文,郭雷. 相参干扰的压制距离[J]. 电子信息对抗技术,2015,30(4): 33-36.
- [5] 刘忠. 基于 DRFM 的线性调频脉冲压缩雷达干扰新技术[D]. 长沙:国防科学技术大学,2006.
- [6] 李宏,郑光勇,郭雷,等. 雷达相参压制干扰信号分析[J]. 电子信息对抗技术,2013,28(3): 36-40.
- [7] 张立晔. 数字自动增益控制与灵敏度时间控制的实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [8] 张志刚. 90 dB 大动态范围可控 AGC 系统及其在雷达远程测量平台中的应用[D]. 上海:上海交通大学,2009.
- [9] 丁鹭飞,耿富录. 雷达原理[M]. 北京:电子工业出版社,2015.
- [10] 韩培尧. 雷达抗干扰技术[M]. 北京:国防工业出版社,1980.
- [11] 杜宪,郭迎清,陈小磊. 基于 MPC 的民用涡扇发动机主动容错控制研究[J]. 推进技术,2015,36(8): 1242-1247.
- [12] RICHTER H. Advanced control of turbofan engines[M]. New York:Springer, 2012.
- [13] 白杰,王倩,王伟. 基于模型预测控制的航空发动机传感器容错控制[J]. 科学技术与工程,2019,19(6): 278-284.
- [14] 姚华. 航空发动机全权限数字电子控制系统[M]. 北京:航空工业出版社,2014.

(上接第 36 页)

- [9] MANI G, SIVARAMAN N. Integrating fuzzy based fault diagnosis with constrained model predictive control for industrial applications[J]. Journal of Electrical Engineering & Technology, 2017, 12(2): 886-889.
- [10] 杜宪,郭迎清,陈小磊. 基于 MPC 的民用涡扇发动机主动容错控制研究[J]. 推进技术,2015,36(8): 1242-1247.
- [11] 杜宪. 滑模与预测控制在航空发动机限制管理中应

用研究[D]. 西安:西北工业大学,2016.