

Study On Synchronous Jamming of Speed and Distance

YANG Yu-lin¹, ZHANG Qing-hai¹, YANG Kui¹, ZHAO Li-jie²

1. The First Aeronautic Institute of the Air Force, Xinyang, 464000, China

2. PLA Troop 93846, China

brightma@126.com

Abstract: In this paper, using a new method that synchronous jamming of velocity and range to jam the radar (such as PD radar) which can deceive synchronously both velocity and range of the target is discussed. Result of study shows that the jamming effect is well.

Keywords: velocity deception; range deception; gate pulloff; synchronization interference

速度距离同步欺骗干扰技术研究

杨玉林¹, 张庆海¹, 杨魁¹, 赵利杰²

1. 空军第一航空学院航空电子工程系 河南信阳 464000

2. 中国人民解放军 93846 部队, 中国

brightma@126.com

【摘要】针对能对目标的速度、距离信息同时检测的雷达（如脉冲多普勒雷达），本文提出了用速度距离同步欺骗干扰技术对其实施干扰的方法，对速度距离同步拖引的速度和时间进行了确定，计算机仿真结果表明，该方法具有良好的干扰效果。

【关键词】速度欺骗；距离欺骗；波门拖引；同步干扰

1 引言

有源欺骗性干扰是对雷达的跟踪系统十分有效的干扰方式。针对雷达作用性质的不同，其配置的跟踪系统也不一样。有些雷达只具有单一的角度、速度或距离跟踪系统，而有些雷达则同时具有两个或两个以上的跟踪系统。为了破坏各跟踪系统的工作，降低其效能，产生了多种欺骗性干扰方法，如角度欺骗干扰、速度欺骗干扰和距离欺骗干扰等。但是，随着雷达技术的发展，那些能同时检测和跟踪目标的多维信息（方向、距离、速度等）的雷达抗干扰能力越来越强，比如脉冲多普勒雷达（PD 雷达）系统，它就能同时检测、跟踪目标的距离和速度信息。如果仅使用单一的距离或速度欺骗干扰，就很容易被雷达分辨出来，达不到干扰的目的。根据多普勒雷达的距离和速度跟踪系统工作原理，对雷达实施速度距离同步欺骗式干扰，可大大提高干扰效果，达到作战的目的。

2 速度距离同步欺骗干扰原理

速度距离同步欺骗干扰是基于速度波门拖引干扰和距离波门拖引干扰的基础上提出的一种组合干扰方式，主要用于干扰具有速度和距离两维信息同时检测、

跟踪能力的雷达（如 PD 雷达），在进行距离波门拖引干扰的同时，进行速度波门拖引干扰。

对脉冲雷达的距离波门拖引干扰主要是通过对接收到的雷达信号进行时延调制和放大转发来实现的。具体方法是：干扰机在侦察到雷达信号后，首先转发与目标回波移动速度相同的干扰信号，且干扰信号的能量大于目标回波，使距离跟踪电路能够捕获干扰信号，此段时间称为停拖期；然后增大干扰脉冲的移动速度，使其与目标回波逐渐分离。由于干扰信号能量大于目标回波，距离波门将跟踪干扰脉冲移动，这段时间称为拖引期；当距离波门与目标回波完全分离时，关闭干扰，由于被跟踪信号突然消失，雷达将进入搜索状态，这段时间称为关闭期。对于脉冲多普勒雷达来说，它不仅具有脉冲雷达的自动距离跟踪系统，还具有自动速度跟踪系统。对自动速度跟踪系统常用的干扰方法是速度波门拖引干扰、假多普勒频率干扰等，速度波门拖引干扰在实现原理上和距离波门拖引干扰相似，只是在拖引阶段加入对信号频率的调制过程。因此，在实施距离波门拖引干扰的同时，对转发信号的频率进行欺骗，改变目标回波多普勒频移的值，就能实现对雷达回波的距离信息和速度信息同时欺骗的目的，这就是速度、距离同步欺骗

干扰,也可称之为速度距离波门同步拖引干扰。

3 速度距离同步欺骗干扰技术的实现

速度距离同步欺骗干扰技术就是通过对雷达信号幅度和多普勒频率以及信号的往返时间等信息进行伪装,使得雷达的速度、距离跟踪波门错误地跟踪在干扰信号上,从而达到干扰的目的。

3.1 速度距离波门同步拖引过程

与距离波门拖引干扰相似,速度距离波门同步拖引干扰过程也可分为三个阶段。

第一阶段 捕获波门(停拖期) 干扰机接收到雷达发射脉冲后,以最小的延迟时间转发一个干扰脉冲,时间延迟的典型值为 150ns ,同时改变信号的频率,修改频率值的大小应在雷达多普勒滤波器带宽之内,干扰脉冲幅度大于回波信号幅度,一般干信比值大于 10dB 时便可以有效地捕获距离和速度波门,然后保持一段时间,这段时间称为停拖,其目的是使干扰信号与目标回波信号同时作用在距离和速度波门上。停拖时间要求大于雷达接收机自动增益控制电路的惯性时间,一般要求不小于 0.5s 。

第二阶段 拖引波门(拖引期) 当速度距离波门可靠地跟踪到干扰脉冲以后,干扰机每收到一个雷达照射脉冲,便可逐渐增加转发脉冲的延迟时间(即令延迟时间在每一个脉冲重复周期按照预设的规律进行变化),使距离波门随干扰脉冲移动而离开回波脉冲;同时,线性或非线性改变目标回波的多普勒频率值,使速度波门随着干扰信号的多普勒频率的变化而移动,在此过程中一定注意保持由多普勒假频率所引起的目标速度变化与拖引距离的变化相一致。重复以上过程直到速度距离波门偏离目标回波若干个波门的宽度。拖引时间一般为 $5\sim 10\text{s}$,拖引速度要小于速度距离波门所允许的最大跟踪速度,即速度距离波门的最大移动速度。

拖距和拖速的规律可以是匀速的,也可以是加速的,在匀速和加速拖引时的距离时延和多普勒频移的调制函数分别如下:

$$\Delta t_i(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_1 \\ \frac{2v}{c}(t-t_1) & t_1 \leq t < t_2 \\ \text{停止干扰} & t_2 \leq t \end{cases} \quad f_{dj}(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_1 \\ -\frac{2v}{\lambda} & t_1 \leq t < t_2 \\ \text{停止干扰} & t_2 \leq t \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta t_i(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_1 \\ \frac{2a}{c}(t-t_1)^2 & t_1 \leq t < t_2 \\ \text{停止干扰} & t_2 \leq t \end{cases} \quad (2)$$

$$f_{dj}(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_1 \\ -\frac{2a(t-t_1)}{\lambda} & t_1 \leq t < t_2 \\ \text{停止干扰} & t_2 \leq t \end{cases}$$

其中 v 为目标运动速度, a 为目标运动的加速度,实施距离速度同步拖引干扰时,在 t 时刻满足下式

$$R = vt + \frac{1}{2}at^2, \quad f_{dj} = \frac{2v_r}{\lambda} \quad (3)$$

其中, R 为目标的移动距离, $v_r = v + at$ 是 t 时刻目标的径向速度,则相应的时延 Δt 为:

$$\Delta t = \frac{2R}{c} = \frac{2}{c} \left(vt + \frac{1}{2}at^2 \right) \quad (4)$$

其中 c 为电磁波的传播速度。对应的多普勒频率为

$$f_{dj} = \frac{2}{\lambda}(v + at) = \frac{2}{\lambda} \frac{dR}{dt} \\ = \frac{2}{\lambda} \frac{c}{2} \frac{d(\Delta t)}{dt} = f_0 \frac{d(\Delta t)}{dt} \quad (5)$$

其中 f_0 为信号载频, Δt 为拖距时延。

在拖引的过程中只要保持如(5)式所示的 f_{dj} 和 Δt 的关系就能产生逼真的距离和速度二维假目标。

第三阶段 停止干扰。当把敌方的距离、速度波门拖引到一定范围时,可以停止干扰一段时间,再重复以上过程。

3.2 实现速度距离同步欺骗干扰的程序流程

根据速度距离同步欺骗干扰的实现过程,可以确定其程序流程。如图1所示。

拖引速度是速度距离同步干扰过程中的关键问题,在实施波门拖引干扰过程中,波门逐渐被干扰信号从目标上拖引开,按一定的速度向前或向后远离回波信号。但是,波门拖引速度必须小于等于雷达距离或速度跟踪系统的最大跟踪速度,即波门的最大移动速度,否则雷达将自动丢弃拖引波门的干扰脉冲。距离波门和速度波门的移动速度要满足以下条件:

$$V_{\text{距}} \leq \frac{2V_{\text{max}}}{c}; \quad V_{\text{速}} \leq \frac{2a}{\lambda}.$$

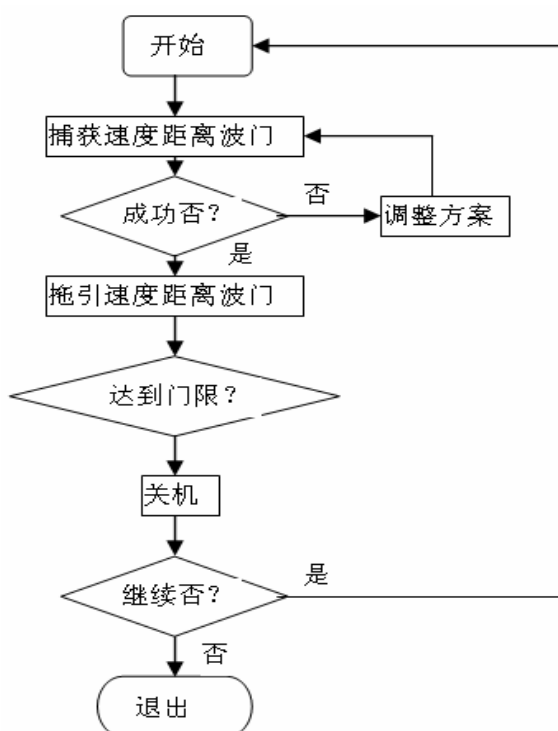


图 1 速度距离同步欺骗干扰程序流程

Figure 1 Process Flow of synchronization deception of velocity and range

4 速度距离同步欺骗干扰系统的原理组成

根据速度距离同步欺骗干扰的原理可知,实现干扰的关键在于能控制干扰脉冲产生延时变化和相位变化。因此,对应的干扰系统在原理组成上应该包括储频电路和移相电路。当然,还可以采用射频延迟方法产生干扰信号。本文以采用储频电路和移相电路为例,给出速度距离同步欺骗干扰系统的原理组成如图 2 所示。由接收天线接收到的雷达信号脉冲经带通滤波器、定向耦合器分别送到储频电路和检波、视放、门限检测器。当脉冲能量达到给定门限时,储频电路对信号取样,并将所取样本以一定的形式(数字或模拟)保持在储频电路中;在干扰控制器的控制下,产生具有合适转发时延以及相移的干扰信号,送给末级功放和干扰发射天线。

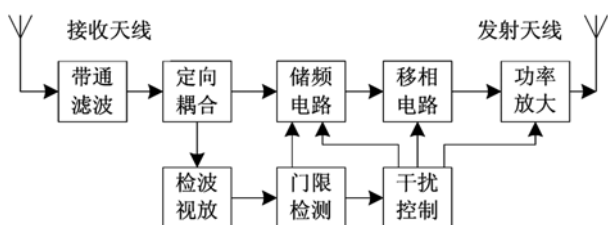


图 2 速度距离同步欺骗干扰系统组成图

Figure 2 Scheme of synchronization deception of velocity and range system

5 离同步欺骗干扰的效果分析

根据以上的分析,利用 Matlab 对速度距离同步干扰技术进行仿真,得如图 3 和图 4 所示的仿真效果图。由图可见,速度距离同步欺骗干扰能同时对雷达回波的速度信息和距离信息进行欺骗,干扰后的波形显示了回波对干扰信号的跟踪情况,同时,由于多普勒频移的变化率与距离的变化率保持了式(5)的关系,因此雷达无法将干扰信号从回波中分辨出来,增加了干扰的可靠性。

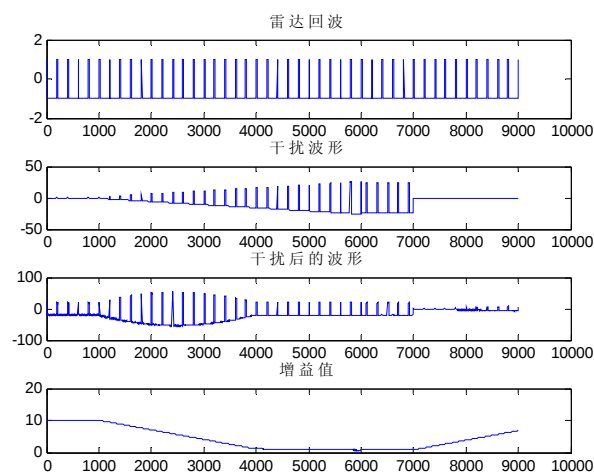


图 3 距离拖引干扰仿真结果

Figure 3 Simulation result of range deception

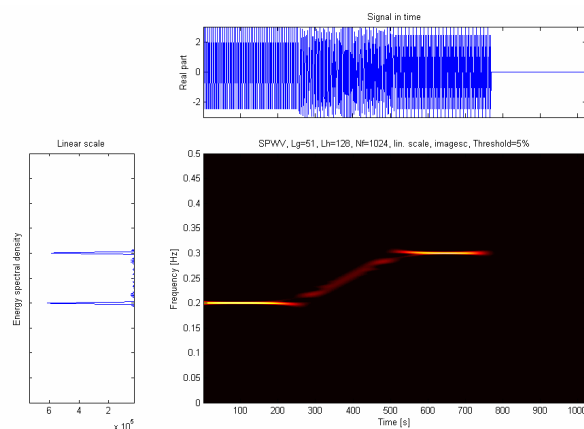


图 4 速度拖引干扰仿真结果

Figure 4 Simulation result of velocity deception

6 结束语

雷达干扰和反干扰技术是相互促进的,在应用速度距离同步欺骗干扰技术时,也会有相应的反干扰技术与其对抗,比如当雷达采用高分辨的角跟踪技术,仍有可能识别出干扰,因此在战术应用上,应考虑将这种方法和角度欺骗干扰等方法组合使用,则干扰的效果更强。

参考文献

- [1] 罗景青, 雷达对抗原理[M]. 北京: 解放军出版社, 2003. P12-28.
LUO Jing-qing, Principle of Radar Counter-measure[M]. BEI JING: The PLA Press. 2003. P12-28.
- [2] 王国玉, 汪连栋. 雷达电子战系统数学仿真与评估[M].北京: 国防工业出版社, 2004. P45-56.
WANG Guo-yu, WANG Lian-dong. Mathimatical Simulation and estimation of radar warfare system, BEI Jing: National Defence Industry Press, 2004. P45-56.
- [3] 向敬成, 张明友, 雷达系统, 北京: 电子工业出版社, 2001. P12-26.
XIANG Jing-cheng, ZHANG Ming-you. Radar System. BEI Jing: Electronic Industrial Press. 2001. P12-26.
- [4] 谈江海, 雷达干扰系统仿真研究, 电子科技大学. 成都: 2005. P125-156.
TAN Jiang-hai. Study on Simulation of Radar Jammer System[D]. University of Sience and Technology, Cheng Du:2005. P125-156.
- [5] 曹鹏, 戴国宪. 一种基于数字射频存储器的欺骗干扰机[J], 航天电子对抗, 2004 (2), P33-35.
CAO Peng, Dai Guo-xian. A Deceptive Jammer based on Digital Radio Frequency Memory[J]. *Aerospace Electronic Warfare*, .2004 (2), P33-35.
- [6] 刘建成, 刘忠, 王雪松等, 基于群延迟的前移干扰研究[J], 自然科学进展, 2006, 16(12), P122-128.
LIU Jian-cheng, LIU Zhong, WANG Xue-song. Study on Preceding Jam based on Group Delay[J]. *Progress in Nuaral Science*, 2006, 16(12), P122-128.