

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.11.007

三频段准连续波雷达信号目标检测性能分析*

郑志宽^{1,**}, 何强^{1,2}, 韩壮志¹

(1. 军械工程学院 电子与光学工程系, 石家庄 050003; 2. 解放军 63961 部队, 北京 100012)

摘要:准连续波雷达是一种低截获概率雷达, 结合了脉冲雷达收发隔离和连续波雷达截获概率低的优点, 但其检测性能的优劣很大程度上依赖于信号形式, 普通的编码信号和线性调频信号已经不能满足其对目标探测的要求。为解决这个问题, 设计了一种三频段信号和与之相应的收发系统, 对系统结构及三频段信号参数选择原则、目标检测原理、模糊函数、抗近距离盲区性能做了详细分析, 并指出了三频段信号相对于相位编码信号和分时发射信号的优势所在, 最后通过仿真证明, 将三频段信号应用于准连续波体制雷达中时能准确探测目标, 得到目标的各个参数并且能有效消除近距离盲区。

关键词:准连续波雷达; 三频段信号; 近距离盲区; 脉冲压缩

中图分类号: TN957.51; TN958.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-893X(2013)11-1435-06

Radar Signal Processing for Three Frequency Ranges Quasi-continuous Waveform

ZHENG Zhi-kuan¹, HE Qiang^{1,2}, HAN Zhuang-zhi¹

(1. Department of Electronics and Optics Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;
2. Unit 63961 of PLA, Beijing 100012, China)

Abstract: A low probability of intercept (LPI) radar, quasi-continuous wave radar integrates the advantages of transceiver isolation of pulse radars and low LPI of continuous wave radars, but its detection performance largely depends on the signal form. Ordinary coded signal and LFM signal can not satisfy the requirement for target detection, so a three frequency ranges signal and the corresponding transceiver system are designed. The system structure and the parameter selection principle of three frequency ranges signal, target detection principle, fuzzy function, close-blind area resistance are analyzed in detail, and the superiority of three frequency ranges signal relative to the phase coded signal and time-sharing signal is pointed out. Simulation demonstrates that the performance of target detection is improved and close-blind area is eliminated, when three frequency ranges signal is applied to the quasi-continuous wave radar system.

Key words: quasi-continuous wave radar; three frequency bands signal; blind spot from close range; pulse compression

1 引言

目前低截获率雷达大多采用连续波体制和准连续波体制, 连续波雷达的收发隔离问题一直难以解决, 而准连续波雷达将连续波雷达技术和脉冲技术结合在一起, 使雷达信号既像连续波雷达信号一样具有

大的时宽带宽积, 又采用脉冲雷达发射、接收分时工作的方式, 彻底解决了连续波雷达发射信号的泄露问题。准连续波雷达的信号形式可以采用线性调频信号也可以采用伪码调相信号, 它具有被截获概率低、电磁兼容性好、作用距离远等优点。但准连续波雷达

* 收稿日期: 2013-06-06; 修回日期: 2013-08-12 Received date: 2013-06-06; Revised date: 2013-08-12

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(51107147)

Foundation Item: The Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (No. 51107147)

** 通讯作者: 940180719@qq.com Corresponding author: 940180719@qq.com

也存在严重不足,由于信号的占空比大,发射脉冲的遮挡效应严重,存在较大的距离盲区,尤其是对近距离和远距离的目标探测动态范围影响大^[1-2]。

针对相位编码准连续波雷达,高梅国等人提出了一种脉内长短码结合的波形设计方法^[3],在一个脉冲重复周期内依次发射长码和短码,并分别接收回波、分别脉压,将脉压后的结果无缝拼接起来,短码脉压结果取前段,长码脉压结果取后段。此方法虽然可以解决回波遮挡所引起的近距离盲区问题,但由于相位编码信号本身存在多普勒冗余度很差的固有缺陷,而现代雷达越来越多的要面对高速的运动目标,所以对目标各项参数的检测并不理想。

针对线性调频准连续波雷达,刘高辉等人提出一种基于分时发射技术的双线性间断调频准连续波^[4],即在一个脉冲重复周期内交替发射频谱互不重叠的两个线性调频脉冲信号,但并没有给出两个线性调频信号的脉冲宽度,而回波遮挡对信号检测的影响也未考虑在内,不具有一般性。

综合准连续波体制雷达存在的不足和现有信号形式的优缺点,本文提出一种基于频分复用的窄脉冲和宽脉冲相结合的三频段信号。线性调频脉冲信号是一种通过线性频率调制获得大时宽带宽积的脉冲压缩信号,适用于杂波背景下的高速、小目标的检测与跟踪,而对不同距离范围的目标采取不同时宽的信号进行检测,可有效解决回波遮挡问题。

2 系统组成和信号处理流程

2.1 系统结构

三频段准连续波雷达的发射系统和接收系统组成如图 1 所示,发射系统包括三频段信号产生模块、两级级联的上变频器、固态功率放大模块和发射天线单元等,其中三频段信号产生模块由作者设计,其余为通用模型。三频段信号经计算机仿真产生后,直接将参数注入信号发生器,从而产生三频段信号,再通过两级上变频、固态功率放大和天线将信号辐射出去。接收系统包括天线、收发转换装置、接收跳频本振、中频接收分机、ADC 单元、频率抽取部分、低通滤波单元和信号处理模块等,其中 ADC 单元、频率抽取部分、低通滤波单元和信号处理模块由作者设计,其余为通用模型。接收跳频本振的功能是完成信号同步接收,中频接收分机和 ADC 单元完成三路回波信号的正交分解和数字化任务,频率抽取和低通滤波完成线性调频回波的解调频处理,信号处理分机的任

务是完成目标距离和径向速度的估计。

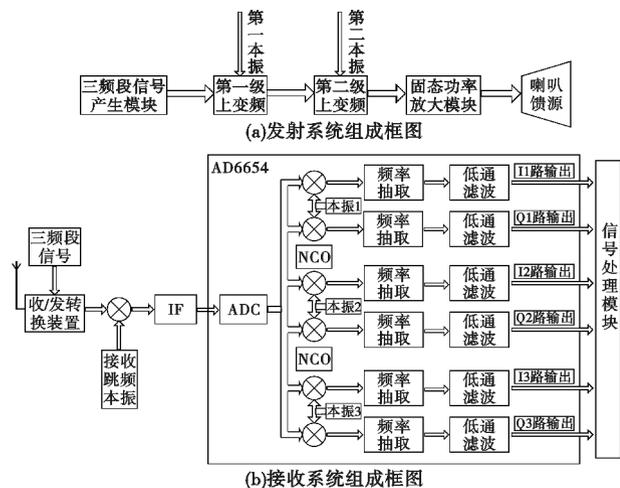


图 1 三频段准连续波雷达的发射系统和接收系统框图
Fig. 1 Transmitting and receiving system block diagram of three frequency ranges quasi-continue wave radar

2.2 信号处理原理

2.2.1 线性调频信号目标检测原理

假设理想点目标与雷达的相对距离为 R ,为了探测这个目标,雷达发射信号 $s(t)$,电磁波以光速 C 向四周传播,经过时间 R/C 后电磁波到达目标,一部分电磁波被目标散射,再经过时间 R/C 后被雷达接收天线接收。雷达的回波信号可表示为

$$s_r(t) = \sum_{i=1}^M s(t - \tau_i) \quad (1)$$

式中, M 表示目标的个数, τ_i 是光速在雷达与目标之间往返一次的时间。

为了从雷达回波信号 $s_r(t)$ 提取出表征目标特性的 τ_i (表征相对距离),常用的方法是对 $s_r(t)$ 进行匹配滤波处理^[5],结果为

$$s_o(t) = kh(t) = k \sum_{i=1}^M \sigma_i \delta(t - \tau_i) \quad (2)$$

$s_o(t)$ 中包含目标的特征信息 τ_i ,从 $s_o(t)$ 中可以得到目标的个数 M 和每个目标相对雷达的距离。

2.2.2 窄带采样理论

对于带通信号,根据 Nyquist 带通抽样定理,抽样速率并不需要一定大于信号最高频率的 2 倍,用较低的采样速率也可以正确地反映带通信号的特性。

窄带信号接收的欠采样理论:设一窄带信号 $x(t)$,其频率范围在 (f_L, f_H) 内, f_0 为该信号中心频率。当以 $f_s (f_s < f_0)$ 对 $x(t)$ 进行采样时, $x(t)$ 会同 nf_s 的信号进行混频,其频谱就会以 f_s 为周期进行搬移。

为了不发生频带重叠,抽样频率 f_s 应满足下列条件:

$$\frac{2f_H}{n+1} \leq f_s \leq \frac{2f_L}{n} \quad (3)$$

在式(3)中, n 取能满足 $f_s \geq 2(f_H - f_L)$ 的最大正整数,所以用 f_s 进行等间隔采样,得到的信号采样值 $x(nT_s)$ 能准确地确定原始信号 $x(t)$ 。

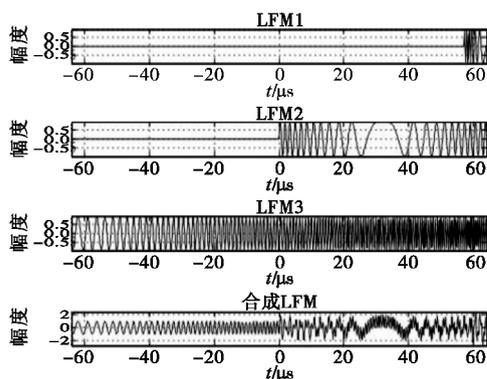
带通信号采样定理表明:对带通信号而言,可按远低于两倍信号最高频率的采样率来进行采样。带通信号采样定理的应用大大降低了所需的采样速率,为后面的数据处理奠定了基础^[6-7]。

2.3 信号处理流程

2.3.1 参数选择原则及三频段信号

信号参数选取满足以下原则:

(1) 调频带宽 B 的大小主要根据距离分辨率进行选取,为后续信号处理的方便,3 个线性调频信号设置相同的带宽;



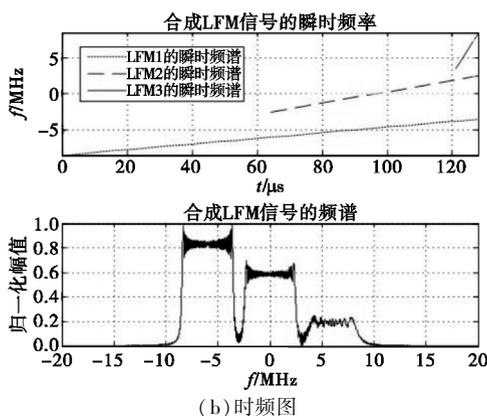
(a) 波形图

(2) 信号的脉冲宽度主要依据目标距离范围进行选取,长信号探测远距离目标,中信号探测距离稍近,可以弥补长信号的探测盲区,短信号探测近距离目标,弥补中信号的探测盲区;

(3) 发射信号的占空比最大为 0.5,在保证距离分辨率的前提下,尽量增大占空比,以提高发射信号的能量,从而增大探测距离;

(4) 为防止频谱混叠,需要在 3 个线性调频信号的频带之间设置隔离带。

本文所设计的三频段信号由 3 个线性调频信号组成,时间长度分别为 7 μs 、64 μs 和 128 μs (尾部对齐),每段信号各占用 5 MHz 带宽,为防止实际输出信号由于频带延拓而出现频谱交叉干扰,各信号之间设置 1 MHz 的隔离带,3 个线性调频信号的频率范围分别为 -8.5 ~ -3.5 MHz、-2.5 ~ 2.5 MHz 和 3.5 ~ 8.5 MHz,共占用 17 MHz 带宽,该信号的波形图和时频图如图 2 所示。



(b) 时频图

图 2 三频段信号波形图和时频图

Fig. 2 Waveform and time-frequency diagrams

雷达发射的一个脉冲内同时含有 3 个频段的信号,接收时这个三频段信号经窄带采样后,分 3 个通道数字下变频和低通滤波后,就可以按照其频带将 3 个信号分别进行信号的处理。由一路信号变成三路信号,这样大时宽脉冲信号能够探测较远距离,而窄脉冲信号又能消除宽脉冲信号的近距离盲区,并能高精度的分辨近距离目标,从而解决探测距离、距离分辨率的矛盾和近距离盲区问题。

2.3.2 目标回波的脉冲压缩处理

假设雷达以重复周期 T 发射 LFM 信号:

$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \exp\left[j2\pi\left(f_0 t + \frac{1}{2} K t^2\right)\right] \quad (4)$$

式中, f_0 为发射信号的载频, T_p 为脉冲宽度, K 为调频斜率。对应的基频信号为

$$s_b(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \exp(j\pi K t^2) \quad (5)$$

此时,距离为 R 处的目标回波可表示为

$$s_{rc}(t) = \text{rect}\left(\frac{t-R/c}{T_p}\right) \exp\left\{j2\pi\left[f_0\left(t-\frac{R}{c}\right) + \frac{K}{2}\left(t-\frac{R}{c}\right)^2\right]\right\} \quad (6)$$

接收回波的参考信号为

$$s_{ref}(t) = \exp(-j2\pi f_0 t) \quad (7)$$

则 R 处目标的基频回波可表示为

$$s_{rci}(t) = \text{rect}\left(\frac{t-R/c}{T_p}\right) \exp\left[-j2\pi f_0 \frac{R}{c}\right] \exp\left[j\pi K \left(t-\frac{R}{c}\right)^2\right] \quad (8)$$

对其进行匹配滤波,脉压后目标的回波

$$s_{ci}(t) \approx \sqrt{K} T_p \text{sinc}\left[KT_p\left(t-\frac{R}{c}\right)\right] \exp\left(-j2\pi f_0 \frac{R}{c}\right) \quad (9)$$

分析式(9)可以看出,目标回波经脉冲压缩后是一个与距离 R 有关的 sinc 脉冲,脉冲的宽度与 $B = KT_p$ 成反比,目标的回波多普勒体现在相位项 $\exp[-j2\pi f_0 R/c]$ 中。

2.3.3 三频段信号接收实例分析

三频段信号的 3 个线性调频信号的频率范围分别为 $-8.5 \sim -3.5$ MHz、 $-2.5 \sim 2.5$ MHz 和 $3.5 \sim 8.5$ MHz,共占用 17 MHz 带宽。以 60 MHz 的中频频率上变频输出,则发射的三频段信号的频带范围变为 $51.5 \sim 68.5$ MHz。三频段信号可表示为

$$s(t) = \sum_{i=1,2,3} \text{rect}\left(\frac{t}{T_{pi}}\right) \exp\left[j2\pi\left(f_i t + \frac{1}{2}K_i t^2\right)\right] \quad (10)$$

式中, T_{pi} 是第 i 个信号的脉冲宽度, f_i 是第 i 个信号的中心频率, K_i 是第 i 个信号的调频斜率。

假设只有一个距离为 R 的目标情况下,雷达回波信号可表示为

$$s_{rc}(t) = \sum_{i=1,2,3} \text{rect}\left(\frac{t-R/c}{T_{pi}}\right) \exp\left\{j2\pi\left[f_i\left(t-\frac{R}{c}\right) + \frac{K_i}{2}\left(t-\frac{R}{c}\right)^2\right]\right\} \quad (11)$$

信号接收依据窄带信号的欠采样理论,由式(3)可知,三频段信号的采样频率范围为 $[137/(n+1), 103/n]$,下面对 n 取值范围进行分析:当 $n=2$, 采样频范围变为 $[46, 51]$; $n=3$ 时,无整数采样频率可取。因此,只能使 $n=2$,取采样频率 $f_s = 50$ MHz > 34 MHz,可满足要求。

三路单独数字下变频的目的是将三路信号频率均降至零频附近,则 3 个 NCO 基准频率分别取 $f_{NCO1} = 54$ MHz, $f_{NCO1} = 60$ MHz, $f_{NCO1} = 66$ MHz, 雷达回波信号经过混频后,变为由包含目标信息的零中频信号和无用的高频杂波所组成的复合信号,再将信号分别进行低通滤波后,就可提取出 3 个线性调频信号。之后可参照 2.2.1 节和 2.3.2 节所述的单个线性调频信号检测目标理论来提取目标参数。

3 模糊函数及近距离盲区的消除

3.1 模糊函数

线性调频信号的模糊函数可以表示为

$$\chi(\tau, f_d) = \begin{cases} e^{j\pi[(f_d - K\tau)(T - |\tau|) - K\tau^2]} \frac{\sin[\pi(f_d - K\tau)(T - |\tau|)]}{\pi(f_d - K\tau)(T - |\tau|)} (T - |\tau|), & |\tau| \leq T \\ 0, & |\tau| > T \end{cases} \quad (12)$$

取模得到

$$|\chi(\tau, f_d)| = \begin{cases} \left| \frac{\sin[\pi(f_d - K\tau)(T - |\tau|)]}{\pi(f_d - K\tau)(T - |\tau|)} (T - |\tau|) \right|, & |\tau| \leq T \\ 0, & |\tau| > T \end{cases} \quad (13)$$

线性调频信号的三维模糊图如图 3 所示,图中水平轴为延时,其界限为正、负脉冲宽度 ($\pm T$);斜轴为多普勒频率,其界限为正、负调频带宽 ($\pm B$);纵轴为 $|\chi(\tau, f_d)|$ 。

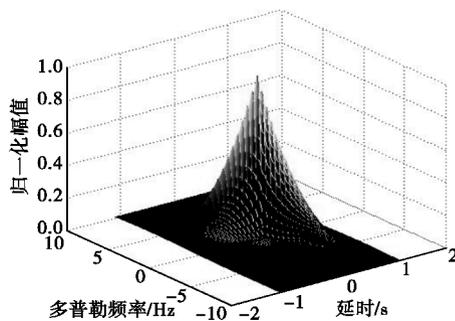


图 3 线性调频信号的三维模糊图
Fig. 3 Three-dimensional fuzzy figure of LFM signal

将 $|\chi(\tau, f_d)|$ 沿延时 τ 轴切割 ($f_d = 0$), 得到 LFM 信号的零多普勒模糊函数:

$$|\chi(\tau, 0)| = \begin{cases} \left| \frac{\sin[\pi K\tau(T - |\tau|)]}{\pi K\tau(T - |\tau|)} (T - |\tau|) \right|, & |\tau| \leq T \\ 0, & |\tau| > T \end{cases} \quad (14)$$

将 $|\chi(\tau, f_d)|$ 沿多普勒频率 f_d 轴切割 ($\tau = 0$), 得

$$|\chi(0, f_d)| = T \left| \frac{\sin\pi f_d T}{\pi f_d T} \right| \quad (15)$$

3.2 抗近距离盲区

准连续波体制雷达结合了连续波雷达与脉冲雷达两者的优点,它的发射脉冲占空比近似为 0.5,与脉冲体制相比,准连续波体制具有更低的峰值功率,降低了对固态发射机的功率要求,具有良好的低截获性;与连续波体制相比,又具有收发时间隔离的优点。

准连续波雷达收发共用一个天线,发时不收,收时不发,避免了连续波雷达的泄露问题,但是高占空比的发射信号不可避免地会带来近距离盲区。由于回波信号被截断,原本具有良好脉冲压缩性能的发射信号在接收端进行脉压处理时主瓣峰值下降,旁瓣抬高,主旁瓣比迅速下降,这对目标检测非常不利。而三频段信号既保留了线性调频信号的传统优势,又可以有效解决雷达回波的距离遮挡问题^[8-9]。

准连续波体制雷达的各个回波遮挡情况如图 4 所示。

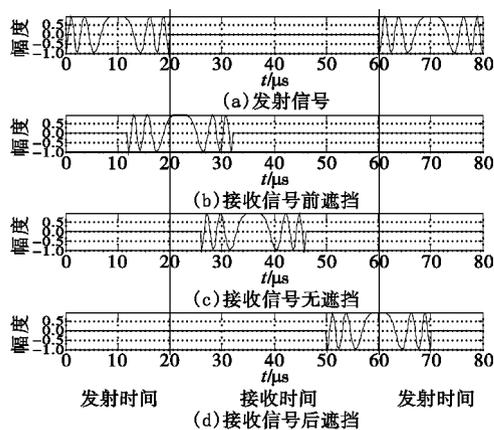


图 4 回波遮挡示意图
Fig. 4 Echo block diagram

假设光速为 c , 脉冲宽度为 T_r , 脉冲重复周期为 T , 对于准连续波体制雷达, 由于收发开关的转换, 当目标距离 $R < cT_r/2$ 时, 回波信号前部被截断, 只能接收后部, 称为前遮挡回波; 当 $cT_r/2 < R < c(T - T_r)/2$ 时, 回波信号全部被接收, 此时无遮挡; 当 $R > c(T - T_r)/2$ 时, 回波信号后部被截断, 只能接收前部, 称为后遮挡回波。

回波遮挡之后的信号处理是一个部分相关过程, 会给目标的检测带来很多不利影响, 比如会造成信噪比的降低、主瓣的偏移等。图 5 显示了用线性调频信号检测位于 1 km、9 km、18 km 处的 3 个目标时, 回波遮挡时对目标位置信息检测的影响。

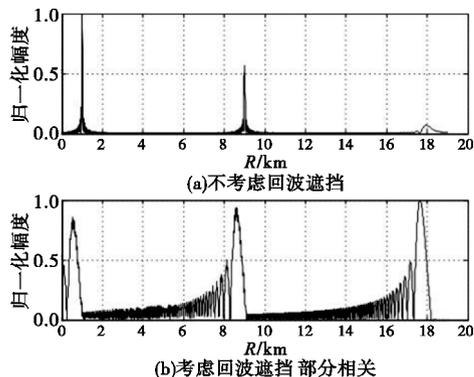


图 5 回波遮挡对目标位置信息检测的影响
Fig. 5 The influence of the echo block on the target position information detection

三频段信号采用脉宽长短结合的线性调频信号去探测目标, 长信号能量大, 探测距离远, 但是探测近距离目标时的性能受回波遮挡影响很大, 用中信号和短信号来消除长信号的近距离盲区, 同理, 短信号也可以消除中信号的近距离盲区, 而短信号虽然理论上也存在近距离盲区, 但由于距离太近, 对目标的检测一般会转入光学设备, 对准连续波战场侦察雷达而言, 短信号所谓的近距离盲区可以不予考虑。

4 仿真验证

接收回波功率可表示为

$$P_r = \frac{P_t G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4}$$

其中, P_t 为雷达发射功率, G 为雷达天线增益, σ 是目标的散射截面积, λ 为所用波长, R 是目标距离。

准连续波体制雷达收发共用一个天线, 所以对三频段信号来说, P_t 、 G 、 σ 、 λ 是相同的, 只有目标的距离不同会影响接收回波功率的相对大小, 并且接收回波功率 P_r 反比于目标与雷达之间距离 R 的四次方。随着目标距离的增加, 回波功率 P_r 下降很快。短信号虽然在理论上可以检测远距离目标, 并且不会产生回波遮挡, 但是由于其时宽很窄, 要探测远距离目标, 必须有很大的峰值功率, 不符合战场侦察雷达低截获概率的要求, 也违背了三频段信号的设计初衷。在仿真验证时, 考虑到战场侦察雷达所处的真实环境, 以典型的行人、装甲车辆、直升机的发现距离为背景设定目标。假设目标 1、2、3 分别位于 1 km、9 km、18 km 处, 用 LFM1 探测目标 3, 目标 1、2 在 LFM1 的盲区; 用 LFM2 探测目标 2, 目标 1 位于 LFM2 的盲区; 最后用 LFM3 探测目标 1, 弥补 LFM2 的盲区。考虑到接收回波功率的大小, 不考虑 LFM2 对目标 3 的检测性能, 以及 LFM3 对目标 2、3 的检测性能, 3 个 LFM 信号对目标的检测情况如图 6 所示。

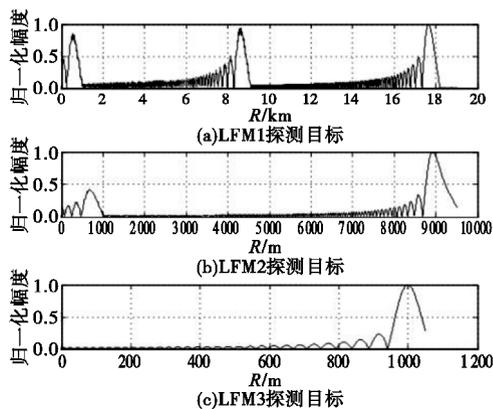


图 6 三频段信号对不同距离段目标的检测
Fig. 6 Different distance target detection of three frequency ranges signal

由图 6 可以看出, LFM1 对目标 1、2 探测时, 测距误差较大, 旁瓣太高, 主瓣不唯一, 严重影响对目标的检测。LFM2 对目标 1 的探测也存在类似的问题。所以用三频段信号检测 3 个距离段的目标时, LFM1 用来检测远距离目标, LFM2 检测中距离目标, 消除 LFM1 的近距离盲区, LFM3 检测近距离目

标,消除 LFM2 的近距离盲区。3 个信号分别检测不同距离段的目标,达到了全距离的无缝衔接,提高了准连续波雷达的检测性能。

5 结束语

本文在对准连续波体制雷达充分研究的基础上,针对现有的信号形式不能满足其准确检测目标参数和无法消除近距离盲区的问题,提出了一种三频段信号,并对三频段信号应用于准连续波雷达时的详细信号处理流程作了充分分析,最后通过仿真验证,得出三频段信号应用于准连续波雷达时,可以准确探测目标并消除准连续波体制的近距离盲区的结论。相对于相位编码信号,三频段信号的多普勒性能更好;相对于分时发射长短不同的 LFM 信号,三频段信号在保证探测性能的基础上,可缩短探测周期,节省雷达的时间资源,从而实现跟踪探测更多目标的要求。综上,本文所做研究对准连续波雷达的研究发展有一定指导意义。

但此方案也可能存在一点不足,三频段信号的带宽较大,接收回波时有可能使更多的杂波通过,是否会影响对目标的检测,需要进一步研究探索。

参考文献:

- [1] 袁伟明. 一种新的准连续波雷达波形设计方法研究[J]. 现代雷达, 2007, 29(9): 16-19.
YUAN Wei-ming. Study on the design method of a novel quasi-CW radar waveform[J]. Modern Radar, 2007, 29(9): 16-19. (in Chinese)
- [2] 朱天林, 金胜, 王海波. 准连续波体制雷达应用研究[J]. 现代雷达, 2012, 34(7): 1-4.
ZHU Tian-lin, JIN Sheng, WANG Hai-bo. Application on Quasi-continuous wave radar[J]. Modern Radar, 2012, 34(7): 1-4. (in Chinese)
- [3] 苏峰, 高梅国, 田黎育. 相位编码准连续波雷达回波遮挡问题及解决方法研究[J]. 兵工学报, 2009, 30(6): 714-719.
SU Feng, GAO Mei-guo, TIAN Li-yu. Research on "Eclipse" problem of Quasi-CW phase-coded radar and solutions[J]. Acta Armamentarii, 2009, 30(6): 714-719. (in Chinese)
- [4] 刘高辉, 高勇. 一种基于分时发射技术的双线性间断调频准连续波雷达的研究[J]. 电子学报, 2010, 38(3): 695-699.
LIU Gao-hui, GAO Yong. A new type quasi-continuous radar employed the double linearly frequency interrupted modulation signal[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(3): 695-699. (in Chinese)

- [5] 冯德军, 王雪松, 肖顺平, 等. 基于单个宽带脉冲的空间目标测距和测速方法[J]. 信号处理, 2006, 22(1): 73-77.
FENG De-jun, WANG Xue-song, XIAO Shun-ping, et al. Method of measuring range and velocity of space target based on single wideband pulse[J]. Signal Processing, 2006, 22(1): 73-77. (in Chinese)
- [6] 池琛, 张彧, 杨知行. 软件无线电中的多频段信号带通采样[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(8): 1176-1179.
CHI Chen, ZHANG Yu, YANG Zhi-xing. Bandpass sampling of multiband signals in software defined radio[J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2009, 49(8): 1176-1179. (in Chinese)
- [7] 张睿, 李维英, 李建东. 带通采样技术在软件接收机中的应用[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2000, 27(3): 326-329.
ZHANG Rui, LI Wei-ying, LI Jian-dong. Application of bandpass sampling in software receivers[J]. Journal of Xidian University, 2000, 27(3): 326-329. (in Chinese)
- [8] 高梅国, 田黎育. 长二相码准连续波雷达信号脉压及多目标影响[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(2): 163-166.
GAO Mei-guo, TIAN Li-yu. Radar signal processing for long phase-coded pseudo-continue waveforms[J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(2): 163-166. (in Chinese)
- [9] 王海青, 张劲东, 李或晟, 等. 准连续波雷达的抗距离遮挡波形优化[J]. 数据采集与处理, 2011, 26(5): 531-535.
WANG Hai-qing, ZHANG Jin-dong, LI Yu-sheng, et al. Anti range eclipse waveform optimization method for quasi-CW radar[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2011, 26(5): 531-535. (in Chinese)

作者简介:



郑志宽(1988—),男,河北正定人,硕士研究生,主要研究方向为雷达信号处理;

ZHENG Zhi-kuan was born in Zhengding, Hebei Province, in 1988. He is now a graduate student. His research concerns radar signal processing.

Email: 940180719@qq.com

何强(1972—),男,天津人,副教授、硕士生导师,主要研究方向为雷达信号处理、语音信号处理;

HE Qiang was born in Tianjin, in 1972. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research direction is radar signal processing and voice signal processing.

韩壮志(1972—),男,河北石家庄人,副教授、硕士生导师,主要研究方向为雷达信号处理。

HAN Zhuang-zhi was born in Shijiazhuang, Hebei Province, in 1972. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research direction is radar signal processing.