



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 111551909 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 13

(21) 申请号 202010382005.0

(22) 申请日 2020.05.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111551909 A

(43) 申请公布日 2020.08.18

(73) 专利权人 南京国睿防务系统有限公司
地址 210036 江苏省南京市建邺区江东中
路359号国睿大厦1号楼A区14楼1401
室

(72) 发明人 刘云申 陈希信 张弘 敖呈欢
陈帅

(74) 专利代理机构 北京律谱知识产权代理有限
公司 11457
专利代理师 孙红颖

(51) Int.Cl.
G01S 7/41 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106970371 A, 2017.07.21

CN 102323575 A, 2012.01.18

CN 106646446 A, 2017.05.10

CN 108761404 A, 2018.11.06

US 2012280851 A1, 2012.11.08

WO 2014048193 A1, 2014.04.03

高玉祥. 高速运动目标检测算法研究.《中国
优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑》
.2015,

赵海刚. 基于广义二阶keystone变换的高速
目标检测方法.《科技视界》.2015,

李文韬. 雷达信号长时间积累技术算法研
究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科
技辑》.2018,

辛婷婷 等. 变加速运动目标的相参积累算
法.《现代防御技术》.2020,

审查员 何强

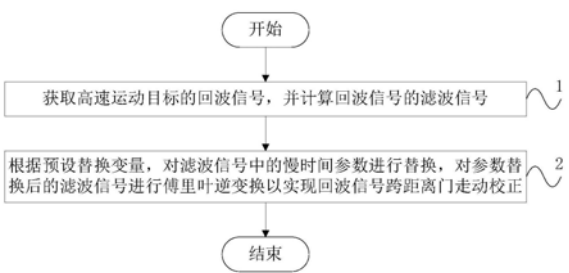
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的
校正方法

(57) 摘要

本申请公开了一种脉间捷变频LFM回波信号
跨距离门走动的校正方法,该方法包括:步骤1,
获取高速运动目标的回波信号,并计算回波信号
的滤波信号;步骤2,根据预设替换变量,对滤波
信号中的慢时间参数进行替换,对参数替换后的
滤波信号进行傅里叶逆变换以实现回波信号跨
距离门走动校正。通过本申请中的技术方案,在
脉间捷变频情况下,对高速运动目标回波信号的
跨距离门走动问题进行数学描述,通过慢时间参
数替换实现捷变频回波信号的距离走动校正,以
利于后续的信号积累和目标检测,并且这种校正
处理能够满足雷达系统的实时性要求。



CN 111551909 B

1. 一种脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法,其特征在于,该方法包括:

步骤1,获取高速运动目标的回波信号,并计算所述回波信号的滤波信号;其中,所述滤波信号的计算公式为:

$$X(f, t_n) = a_r \text{rect} \left(\frac{f + \frac{f_{dn}}{2}}{B - f_{dn}} \right) \exp \left[-j2\pi f \left(\tau_n + \frac{f_{dn}}{K} \right) \right] \times \\ \exp \left[-j\pi \frac{f_{dn}^2}{K} \right] \exp[-j2\pi(f_{dn} + f_n)\tau_n]$$

$$t_n = nT_r$$

$$f_{dn} = 2vf_n/c$$

$$f_n = f_c + d_n \Delta f$$

$$\tau_n = 2(R_0 + vt_n)/c$$

式中, f 为频率, t_n 为慢时间, 即第 n 个脉冲重复周期, $n=0, 1, 2, \dots, N-1$, N 为一帧内的脉冲数量, T_r 为脉冲重复周期, a_r 为回波信号的幅度, $\text{rect}(\cdot)$ 为矩形函数, f_{dn} 为运动目标在第 n 个脉冲中的多普勒频率, v 为目标的速度, f_n 为第 n 个脉冲的载频, f_c 为捷变频雷达的初始载频, d_n 为第 n 个脉冲的频率调制码, Δf 为最小跳频间隔, B 为 LFM 信号的带宽, τ_n 为雷达发射第 n 个脉冲时目标的双程延时, R_0 为目标的初始距离, c 为光速, K 为 LFM 信号的调频斜率;

步骤2, 根据预设替换变量, 对所述滤波信号中的慢时间参数进行替换, 对参数替换后的滤波信号进行傅里叶逆变换以实现回波信号跨距离门走动校正。

2. 如权利要求1所述的脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法, 其特征在于, 步骤1中, 计算所述回波信号的滤波信号, 具体包括:

步骤11, 根据所述回波信号, 计算所述回波信号对应的混频信号, 其中, 所述混频信号的计算公式为:

$$\bar{s}_r(t, t_n) = a_r \text{rect} \left(\frac{t - \tau_n}{T} \right) u(t - \tau_n) \exp(-j2\pi f_n \tau)$$

$$t = \hat{t} - t_n$$

$$u(t) = \exp(j\pi K t^2)$$

$$\tau = 2(R_0 + vt_n + vt)/c$$

式中, t 为快时间, $\hat{t}$ 为全时间, T 为脉冲宽度, $u(t)$ 为 LFM 信号, τ 为回波延时;

步骤12, 对所述混频信号进行快时间域傅里叶变换, 记作频域变换信号, 其中, 快时间域傅里叶变换的计算公式为:

$$\bar{S}_r(f, t_n) = a_r U(f + f_{dn}) \exp[-j2\pi(f + f_{dn} + f_n)\tau_n]$$

$$U(f + f_{dn}) = \text{rect} \left(\frac{f + f_{dn}}{B} \right) \exp \left[-j\pi \frac{(f + f_{dn})^2}{K} \right]$$

步骤13, 计算匹配滤波器的传输函数, 根据匹配滤波器原理, 以及所述传输函数和所述频域变换信号, 计算所述回波信号的滤波信号。

3. 如权利要求1所述的脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法, 其特征在

于,步骤2中,滤波信号进行傅里叶逆变换的计算公式为:

$$y(t, \overline{t_m}) = a_r(B - f_{dm}) \text{sinc} \left[(B - f_{dm}) \left(t - \tau_0 - \frac{f_{dm}}{K} \right) \right] \times \\ \exp[-j\pi f_{dm}(t + \tau_0) - j2\pi f_{dm} \overline{t_m} - j2\pi f_m \tau_0]$$

$$f_{dm} = 2vf_m/c$$

$$\tau_0 = 2R_0/c$$

式中, m 为虚拟脉冲序号, t 为快时间, $\overline{t_m}$ 为虚拟慢时间, f_m 为第 m 个虚拟脉冲的载频, f_{dm} 为高速运动目标在第 m 个虚拟脉冲中的多普勒频率, τ_0 为目标初始距离延时。

4. 如权利要求1至3中任一项所述的脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法, 其特征在于, 所述预设替换变量为:

$$t_n = \frac{f_m}{f + f_m} \overline{t_m}$$

式中, t_n 为慢时间, $n=0, 1, 2, \dots, N-1$, f 为频率, f_m 为第 m 个虚拟脉冲的载频, $\overline{t_m}$ 为虚拟慢时间。

5. 如权利要求1所述的脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法, 其特征在于, 所述方法适用于雷达对所述高速运动目标的检测。

一种脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法

技术领域

[0001] 本申请涉及雷达信号处理的技术领域,具体而言,涉及一种脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法。

背景技术

[0002] 线性调频信号(linear frequency modulation, LFM)是雷达中广泛应用的多普勒不敏感信号。实际中雷达目标通常都是运动的,尽管目标运动会降低LFM回波脉压的性能指标,使得主瓣展宽、副瓣抬高,但是通常不会降低到难以接受的程度。

[0003] 对探测高速运动目标而言,帧内的多个脉冲回波信号通常会发生跨距离门走动现象,当进行后续的相参/非相参积累处理时,无法将能量聚集起来,从而降低了目标的可检测性,因此,需要在积累前进行多脉冲回波的跨距离门走动校正。

[0004] 雷达中采用脉间捷变频技术是对抗敌方干扰的有效措施,脉冲载频的伪随机快速变化增加了敌方捕捉雷达信号、并对雷达信号实施干扰的难度,是一种常用的抗干扰技术。

[0005] 但是在该技术中,高速运动目标的捷变频LFM脉冲回波的距离走动校正是一个值得研究的问题,但是目前尚未见到这方面的研究。

发明内容

[0006] 本申请的目的在于:在脉间捷变频LFM脉冲回波中,实现高速运动目标回波信号的脉间跨距离门校正对齐,以利于后续的相参或非相参处理,从而增强了目标的可检测性、雷达的抗干扰能力。

[0007] 本申请的技术方案是:提供了一种脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法,该方法包括:步骤1,获取高速运动目标的回波信号,并计算回波信号的滤波信号;步骤2,根据预设替换变量,对滤波信号中的慢时间参数进行替换,对替换后的滤波信号进行傅里叶逆变换以实现回波信号跨距离门走动校正。

[0008] 上述任一项技术方案中,进一步地,滤波信号的计算公式为:

$$X(f, t_n) = a_r \text{rect} \left(\frac{f + \frac{f_{dn}}{2}}{B - f_{dn}} \right) \exp \left[-j2\pi f \left(\tau_n + \frac{f_{dn}}{K} \right) \right] \times$$

[0009]

$$\exp \left[-j\pi \frac{f_{dn}^2}{K} \right] \exp[-j2\pi(f_{dn} + f_n)\tau_n]$$

$$[0010] \quad t_n = nT_r$$

$$[0011] \quad f_{dn} = 2vf_n/c$$

$$[0012] \quad f_n = f_c + d_n \Delta f$$

$$[0013] \quad \tau_n = 2(R_0 + vt_n)/c$$

[0014] 式中, f 为频率, t_n 为慢时间, 即第 n 个脉冲重复周期, $n=0, 1, 2, \dots, N-1$, N 为一帧

内的脉冲数量, T_r 为脉冲重复周期, a_r 为回波信号的幅度, $\text{rect}(\cdot)$ 为矩形函数, f_{dn} 为运动目标在第 n 个脉冲中的多普勒频率, v 为目标的速度, f_n 为第 n 个脉冲的载频, f_c 为捷变频雷达的初始载频, d_n 为第 n 个脉冲的频率调制码, Δf 为最小跳频间隔, B 为 LFM 信号的带宽, τ_n 为雷达发射第 n 个脉冲时目标的双程延时, R_0 为高速运动目标的初始距离, c 为光速, K 为 LFM 信号的调频斜率;

[0015] 上述任一项技术方案中, 进一步地, 步骤 1 中, 计算回波信号的滤波信号, 具体包括:

[0016] 步骤 11, 根据回波信号, 计算回波信号对应的混频信号, 其中, 混频信号的计算公式为:

$$[0017] \quad \bar{s}_r(t, t_n) = a_r \text{rect}\left(\frac{t - \tau_n}{T}\right) u(t - \tau_n) \exp(-j2\pi f_n \tau)$$

$$[0018] \quad t = \hat{t} - t_n$$

$$[0019] \quad u(t) = \exp(j\pi K t^2)$$

$$[0020] \quad \tau = 2(R_0 + vt_n + vt) / c$$

[0021] 式中, t 为快时间, $\hat{t}$ 为全时间, T 为脉冲宽度, $u(t)$ 为 LFM 信号, τ 为回波延时;

[0022] 步骤 12, 对混频信号进行快时间域傅里叶变换, 记作频域变换信号, 其中, 快时间域傅里叶变换的计算公式为:

$$[0023] \quad \bar{S}_r(f, t_n) = a_r U(f + f_{dn}) \exp[-j2\pi(f + f_{dn} + f_n)\tau_n]$$

$$[0024] \quad U(f + f_{dn}) = \text{rect}\left(\frac{f + f_{dn}}{B}\right) \exp\left[-j\pi \frac{(f + f_{dn})^2}{K}\right]$$

[0025] 步骤 13, 计算匹配滤波器的传输函数, 根据匹配滤波器原理, 以及传输函数和频域变换信号, 计算回波信号的滤波信号。

[0026] 上述任一项技术方案中, 进一步地, 步骤 2 中, 滤波信号进行傅里叶逆变换的计算公式为:

$$[0027] \quad y(t, \bar{t}_m) = a_r (B - f_{dm}) \text{sinc}\left[(B - f_{dm})\left(t - \tau_0 - \frac{f_{dm}}{K}\right)\right] \times \\ \exp[-j\pi f_{dm}(t + \tau_0) - j2\pi f_{dm} \bar{t}_m - j2\pi f_m \tau_0]$$

$$[0028] \quad f_{dm} = 2vf_m / c$$

$$[0029] \quad \tau_0 = 2R_0 / c$$

[0030] 式中, m 为虚拟脉冲序号, t 为快时间, $\bar{t}_m$ 为虚拟慢时间, f_m 为第 m 个虚拟脉冲的载频, f_{dm} 为高速运动目标在第 m 个虚拟脉冲中的多普勒频率, τ_0 为目标初始距离延时。

[0031] 上述任一项技术方案中, 进一步地, 预设替换变量为:

$$[0032] \quad t_n = \frac{f_m}{f + f_m} \bar{t}_m$$

[0033] 式中, t_n 为慢时间, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$, f 为频率, f_m 为第 m 个虚拟脉冲的载频, $\bar{t}_m$ 为

虚拟慢时间。

[0034] 上述任一项技术方案中,进一步地,该方法适用于雷达对高速运动目标的检测。

[0035] 本申请的有益效果是:

[0036] 本申请中的技术方案,在脉间捷变频情况下,对脉冲间目标回波信号跨距离门走动问题进行数学描述,计算回波信号的滤波信号,并利用所构造的慢时间参数替换公式,对滤波信号中的慢时间参数进行替换,进而通过傅里叶逆变换进行脉冲压缩,实现了目标回波信号的脉间跨距离门校正对齐,增强目标的可检测性和雷达的抗干扰能力,并且这种校正处理能够满足雷达系统的实时性要求。

附图说明

[0037] 本申请的上述和/或附加方面的优点在结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

[0038] 图1是根据本申请的一个实施例的脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法的示意流程图;

[0039] 图2是根据本申请的一个实施例的载频跳变时目标在脉间跨距离走动的仿真图;

[0040] 图3是根据本申请的一个实施例的载频跳变时目标在脉间跨距离走动被校正的仿真图;

[0041] 图4是根据本申请的一个实施例的载频跳变时未校正回波的非相参积累的仿真图;

[0042] 图5是根据本申请的一个实施例的载频跳变时已校正回波的非相参积累的仿真图。

具体实施方式

[0043] 为了能够更清楚地理解本申请的上述目的、特征和优点,下面结合附图和具体实施方式对本申请进行进一步的详细描述。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请的实施例及实施例中的特征可以相互结合。

[0044] 在下面的描述中,阐述了很多具体细节以便于充分理解本申请,但是,本申请还可以采用其他不同于在此描述的其他方式来实施,因此,本申请的保护范围并不受下面公开的具体实施例的限制。

[0045] 如图1所示,本实施例提供了一种脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法,适用于雷达对高速运动目标的检测,该方法包括:

[0046] 步骤1,获取高速运动目标的回波信号,并计算回波信号的滤波信号;

[0047] 以对捷变频信号进行跨距离门走动校正为例,对本实施例中的校正方法进行说明。设定捷变频雷达的初始载频为 f_c ,第 n 个脉冲的载频为 f_n , $n=0,1,2,\dots,N-1$, N 为一帧内的脉冲数量,载频 f_n 的计算公式为:

[0048]
$$f_n = f_c + d_n \Delta f$$

[0049] 式中, d_n 为第 n 个脉冲的频率调制码,是随机整数, $d_n \in \{0,1,\dots,D-1\}$, Δf 为最小跳频间隔,则第 n 个脉冲发射信号的计算公式可以表述为:

$$[0050] \quad s_t(t, t_n) = a_t \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) u(t) \exp[j2\pi f_n(t + T/2 + t_n)]$$

$$[0051] \quad u(t) = \exp[j\pi K t^2]$$

$$[0052] \quad -T/2 \leq t \leq T/2$$

$$[0053] \quad t = \hat{t} - t_n$$

$$[0054] \quad t_n = nT_r$$

$$[0055] \quad \text{rect}(t) = 1, -1/2 \leq t \leq 1/2$$

[0056] 式中, $s_t(t, t_n)$ 为发射信号, t 为快时间, t_n 为慢时间, 即第 n 个脉冲重复周期, $\hat{t}$ 为全时间, T_r 为脉冲重复周期, a_t 为发射信号的幅度, T 为脉冲宽度, $\text{rect}(\cdot)$ 为矩形函数, K 为 LFM 信号的调频斜率, f_n 为第 n 个脉冲的载频。

[0057] 因此, 可以将远处一个高速运动目标的回波信号表示为:

$$[0058] \quad s_r(t, t_n) = a_r \text{rect}\left(\frac{t - \tau}{T}\right) u(t - \tau) \exp\left[j2\pi f_n\left(t + \frac{T}{2} + t_n - \tau\right)\right]$$

$$[0059] \quad \tau = 2(R_0 + vt_n + vt) / c$$

[0060] 式中, a_r 为回波信号的幅度, τ 为回波时延, R_0 为目标的初始距离, c 为光速, v 为目标速度。

[0061] 进一步的, 上述步骤1中, 具体包括:

[0062] 步骤11, 根据所述回波信号, 计算所述回波信号对应的混频信号。

[0063] 为了便于后续的视频处理, 将回波信号混频到零中频, 回波信号混频后的计算公式为:

$$[0064] \quad \bar{s}_r(t, t_n) = a_r \text{rect}\left(\frac{t - \tau_n}{T}\right) u(t - \tau_n) \exp(-j2\pi f_n \tau)$$

$$[0065] \quad \tau_n = 2(R_0 + vt_n) / c$$

[0066] 式中, τ_n 为雷达发射第 n 个脉冲时目标的双程延时。

[0067] 步骤12, 对混频信号进行快时间域傅里叶变换, 记作频域变换信号, 其中, 快时间域傅里叶变换的计算公式为:

$$[0068] \quad \bar{S}_r(f, t_n) = a_r U(f + f_{dn}) \exp[-j2\pi(f + f_{dn} + f_n)\tau_n]$$

$$[0069] \quad U(f + f_{dn}) = \text{rect}\left(\frac{f + f_{dn}}{B}\right) \exp\left[-j\pi \frac{(f + f_{dn})^2}{K}\right]$$

[0070] 步骤13, 计算匹配滤波器的传输函数 $U^*(f)$, 上标*表示共轭运算, 根据匹配滤波器原理, 以及传输函数 $U^*(f)$ 和频域变换信号, 计算得到回波信号的滤波信号, 即匹配滤波器输出, 其中, 滤波信号的计算公式为:

$$\begin{aligned}
 [0071] \quad X(f, t_n) &= a_r \text{rect} \left(\frac{f + \frac{f_{dn}}{2}}{B - f_{dn}} \right) \exp \left[-j2\pi f \left(\tau_n + \frac{f_{dn}}{K} \right) \right] \times \\
 &\quad \exp \left[-j\pi \frac{f_{dn}^2}{K} \right] \exp[-j2\pi(f_{dn} + f_n)\tau_n]
 \end{aligned}$$

$$[0072] \quad t_n = nT_r$$

$$[0073] \quad f_{dn} = 2vf_n/c$$

$$[0074] \quad f_n = f_c + d_n \Delta f$$

$$[0075] \quad \tau_n = 2(R_0 + vt_n)/c$$

[0076] 式中, f 为频率, t_n 为慢时间, $n=0, 1, 2, \dots, N-1$, N 为一帧内的脉冲数量, T_r 为脉冲重复周期, a_r 为回波信号的幅度, $\text{rect}(\cdot)$ 为矩形函数, f_{dn} 为高速运动目标在第 n 个脉冲中的多普勒频率, v 为目标的速度, f_n 为第 n 个脉冲的载频, f_c 为捷变频雷达的初始载频, d_n 为第 n 个脉冲的频率调制码, Δf 为最小跳频间隔, B 为 LFM 信号的带宽, τ_n 为雷达发射第 n 个脉冲时目标的双程延时, R_0 为目标的初始距离, c 为光速, K 为 LFM 信号的调频斜率。

[0077] 对上述得到的滤波信号 $X(f, t_n)$ 执行傅里叶逆变换, 实现脉冲压缩, 得到:

$$\begin{aligned}
 [0078] \quad x(t, t_n) &= a_r (B - f_{dn}) \text{sinc} \left[(B - f_{dn}) \left(t - \tau_n - \frac{f_{dn}}{K} \right) \right] \\
 &\quad \times \exp[-j\pi f_{dn}(t + \tau_n) - j2\pi f_n \tau_n]
 \end{aligned}$$

[0079] 通过对上述计算公式进行分析可见, 脉压后目标回波的峰值位于 $t = \tau_n + f_{dn}/K$ 处, 该峰值位置包含了两项, 分别为:

[0080] 1、回波时延 $\tau_n = 2(R_0 + vt_n)/c$, 当一帧内目标运动距离满足 $vNT_r > c/2B$ 时, 出现跨距离门走动现象, 需要校正对齐;

[0081] 2、多普勒耦合项 $f_{dn}/K = 2v(f_c + d_n \Delta f)/c/K$, 这是线性调频信号的固有缺陷, 会导致峰值发生偏移, 且这里偏移是变化的, 有可能超出一个距离门, 需要避免。

[0082] 步骤2, 根据预设替换变量, 对滤波信号中的慢时间参数进行替换, 对替换后的滤波信号进行傅里叶逆变换, 其中, 预设替换变量为:

$$[0083] \quad t_n = \frac{f_m}{f + f_m} \overline{t_m}$$

[0084] 式中, t_n 为第 n 个脉冲对应的慢时间, $n=0, 1, 2, \dots, N-1$, f 为频率, f_m 为第 m 个虚拟脉冲的载频, $\overline{t_m}$ 为虚拟慢时间。

[0085] 通过理论分析和模拟仿真发现, 可以通过第 m 个虚拟脉冲的载频 f_m 与频率 f , 将第 n 个脉冲对应的慢时间 t_n 替换为虚拟慢时间 $\overline{t_m}$, 以实现距离走动校正。因此, 设定预设替换变量为:

$$[0086] \quad t_n = \frac{f_m}{f + f_m} \overline{t_m}$$

[0087] 之后,利用预设替换变量替换滤波信号 $X(f, t_n)$ 中的慢时间 t_n ,替换后的滤波信号计算公式为:

$$\begin{aligned}
 Y(f, \overline{t_m}) &= X\left(f, \frac{f_m}{f + f_m} \overline{t_m}\right) \\
 [0088] \quad &= a_r \text{rect}\left(\frac{f + \frac{f_{dm}}{2}}{B - f_{dm}}\right) \exp\left[-j2\pi f\left(\tau_0 + \frac{f_{dm}}{K}\right) - j2\pi f_{dm} \overline{t_m} - j2\pi \frac{f_{dm}^2}{K}\right. \\
 &\quad \left. - j2\pi(f_{dm} + f_m)\tau_0\right]
 \end{aligned}$$

$$[0089] \quad \tau_0 = \frac{2R_0}{c}$$

$$[0090] \quad f_{dm} = 2vf_m/c$$

[0091] 式中, f_{dm} 为运动目标在第 m 个虚拟脉冲中的多普勒频率, τ_0 为目标的初始双程时延。

[0092] 对上述滤波信号 $Y(f, \overline{t_m})$ 执行傅里叶逆变换,以实现脉冲压缩,脉冲压缩后的信号为:

$$\begin{aligned}
 [0093] \quad y(t, \overline{t_m}) &= a_r(B - f_{dm}) \text{sinc}\left[(B - f_{dm})\left(t - \tau_0 - \frac{f_{dm}}{K}\right)\right] \times \\
 &\quad \exp[-j\pi f_{dm}(t + \tau_0) - j2\pi f_{dm} \overline{t_m} - j2\pi f_m \tau_0]
 \end{aligned}$$

$$[0094] \quad f_{dm} = 2vf_m/c$$

$$[0095] \quad \tau_0 = 2R_0/c$$

[0096] 式中, m 为虚拟脉冲序号, t 为快时间, $\overline{t_m}$ 为虚拟慢时间, f_m 为第 m 个虚拟脉冲的载频, f_{dm} 为运动目标在第 m 个虚拟脉冲中的多普勒频率, τ_0 为目标初始距离延时。

[0097] 通过对上述计算公式进行分析可以得出,目标位于 $t = \tau_0 + f_{dm}/K$,不再跨距离门走动,从而实现了距离走动校正。

[0098] 为了验证本实施例中校正方法的有效性,进行仿真验证,设定如下参数:初始载频 $f_0 = 10\text{GHz}$,一帧内的脉冲个数 $N = 64$, $D = 32$,频率调制码 $d_n \in \{0, 1, \dots, 31\}$,最小跳频间隔 $\Delta f = 30\text{MHz}$, $B = 50\text{MHz}$,脉冲宽度 $T = 50\mu\text{s}$,脉冲重复周期 $T_r = 300\mu\text{s}$,目标速度 $v = 2000\text{m/s}$,目标的初始距离 $R_0 = 240\text{km}$,单脉冲脉压前信噪比 $\text{SNB} = -14\text{dB}$,捷变频信号的载频跳变范围为 $D \times \Delta f = 960\text{MHz}$ 。

[0099] 首先在上述参数下仿真目标的回波信号,然后利用本实施例中的校正方法对回波信号进行校正,仿真图依次如图2和图3所示。

[0100] 由仿真图可见,校正前,64个脉冲的回波显示为斜线,不在一个距离刻度上,在脉间跨越了大约13个距离门,同距离刻度相加效果差。但是,通过本实施例中的方法进行校正之后,64个脉冲回波显示在一条横线上,都校正到了初始距离上,表示同距离刻度,可以完美实现所有脉冲的同距离刻度叠加。

[0101] 距离校正前后的非相参积累如图4和图5所示,可见校正后的目标无明显距离扩展,信噪比显著提高,可检测性显著改善。

[0102] 以上结合附图详细说明了本申请的技术方案,本申请提出了一种脉间捷变频LFM回波信号跨距离门走动的校正方法,包括:步骤1,获取高速运动目标的回波信号,并计算回波信号的滤波信号;步骤2,根据预设替换变量,对滤波信号中的慢时间参数进行替换,对替换后的滤波信号进行傅里叶逆变换以实现回波信号跨距离门走动校正。通过本申请中的技术方案,在脉间捷变频情况下,对高速运动目标回波信号的跨距离门走动问题进行数学描述,通过替换慢时间参数实现捷变频回波信号的距离走动校正,以利于后续的信号积累和目标检测,并且这种校正处理能够满足雷达系统的实时性要求。

[0103] 本申请中的步骤可根据实际需求进行顺序调整、合并和删减。

[0104] 本申请装置中的单元可根据实际需求进行合并、划分和删减。

[0105] 尽管参考附图详细公开了本申请,但应理解的是,这些描述仅仅是示例性的,并非用来限制本申请的应用。本申请的保护范围由附加权利要求限定,并可包括在不脱离本申请保护范围和精神的情况下针对发明所作的各种变型、改型及等效方案。

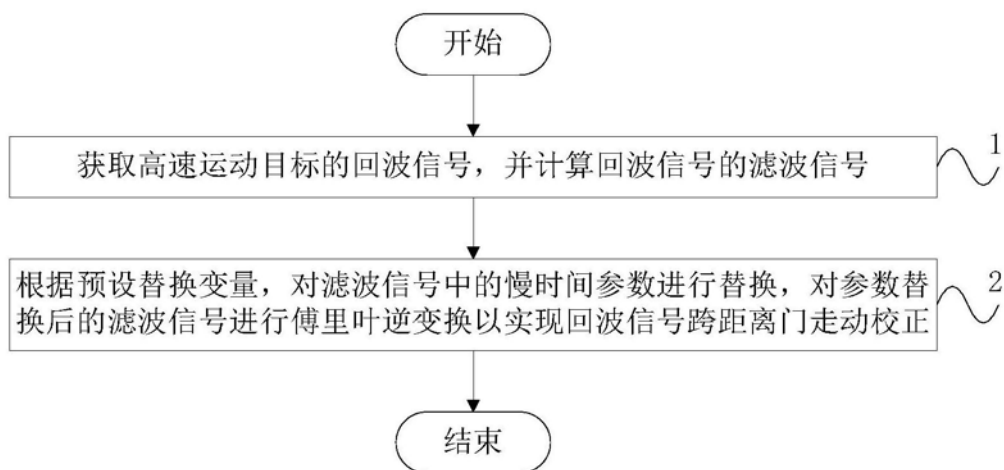


图1

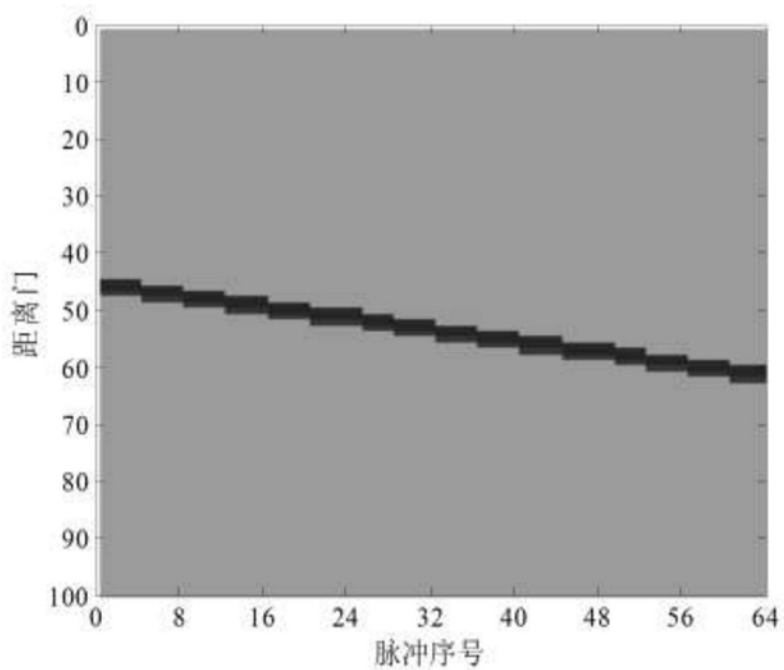


图2

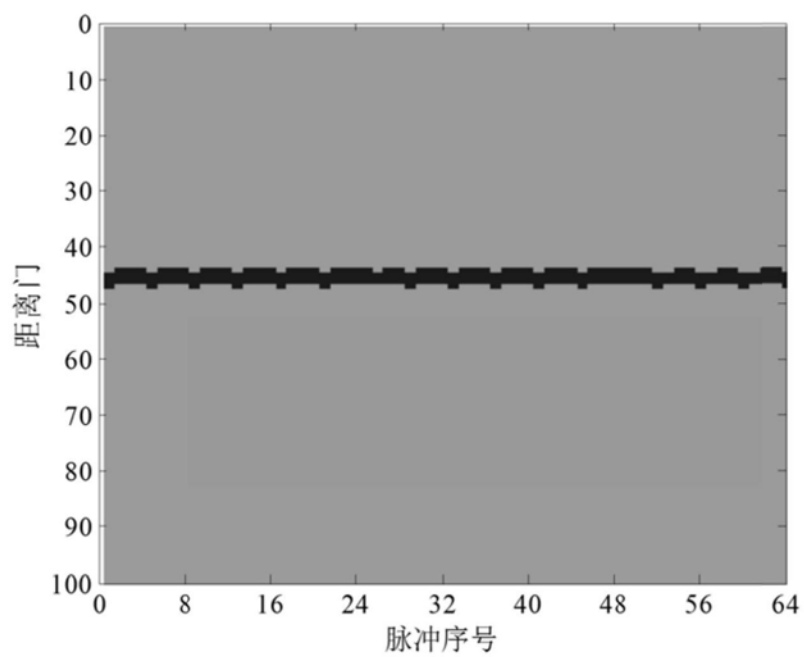


图3

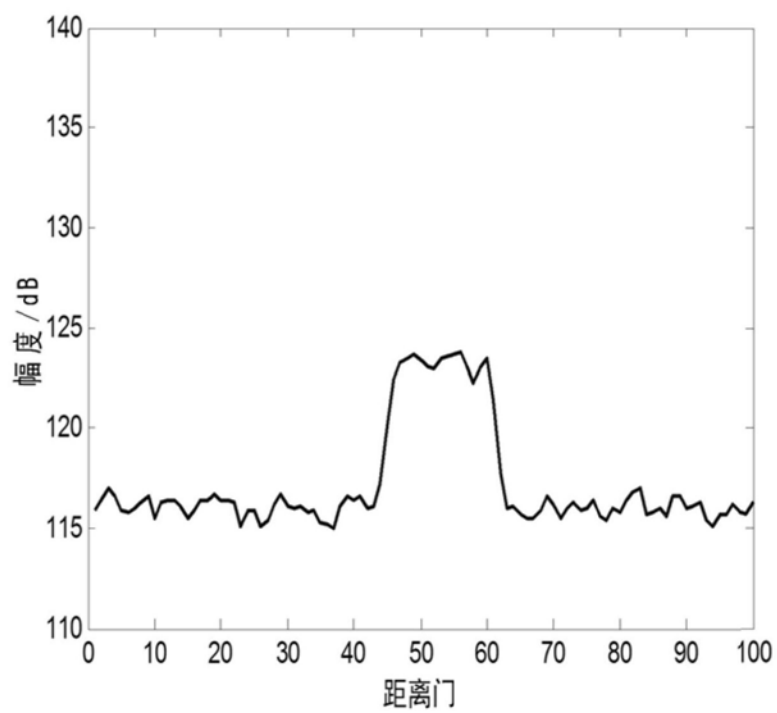


图4

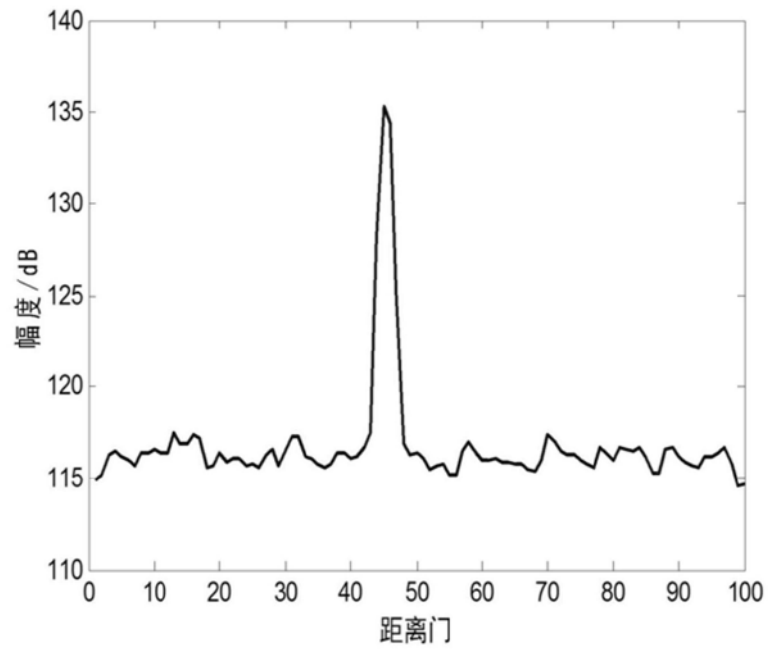


图5