

文章编号: 1000-6893(2000)05-0465-03

机载雷达从地杂波中检测运动目标

王盛利, 朱 力

(南京电子技术研究所, 江苏 南京 210013)

AIRBORNE RADAR DETECTING THE MOVING TARGETS FROM THE EARTH-CLUTTER

WANG Sheng-li, ZHU Li

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013, China)

摘要: 提出了将变抽样率处理技术应用于机载雷达下视探测, 以从地杂波中检测运动目标的方法。首先分析了信号模型, 针对这一模型, 讨论了变抽样率处理技术应用问题, 最后进行了仿真, 仿真结果, 表明该方法可行。

关键词: 地杂波; 变抽样率; 机载雷达; 下视; 运动目标

中图分类号: V 243.2, TN 957.51 文献标识码: A

Abstract: A signal processing method of changing sample rates being used in airborne radar look-down detecting the moving targets from the earth-clutter is proposed in this paper. First the signal model analysis is given, and then the application of the changing sample rates processing is discussed for the signal model. Finally, the results of simulation are given, showing that the method is very effective.

Key words: earth-clutter; changing sample rates; airborne radar; look-down; moving target

目前, 机载雷达有完善的上视功能, 但它下视功能仅具备在某些距离段内有发现目标的能力, 而在主波束回波的地杂波区域和副瓣回波的地杂波区域内, 若目标的多普勒频移被地杂波谱覆盖, 传统方法难以将目标信号从地杂波中分离出来, 许多学者在这方面作了很多努力, 但还没有彻底解决这一问题。

在目前雷达信号处理中, 均是对信号中的一次频率项进行处理, 而对信号中的线性调频项没有成熟技术以资利用, 故在传统的雷达信号模型中忽略了线性调频项, 本文中对线性调频项的处理是从地杂波谱中获得运动目标信息的手段。

1 信号模型

设雷达载机沿 Y 轴飞行, 如图 1 所示, 此时雷达载机的高度为 h , 飞行速度为 V_0 。若设在雷达波束内有一目标机在 a 点, 其高度为 h_0 , 飞行方向与载机飞行方向夹角为 C , 与 Z 轴夹角为 R , 目标机的飞行速度为 V_g , 那么在 Y, X, Z 轴方向的速度分量分别为 $V_g \cos C \sin R$, $V_g \sin C \sin R$, $V_g \cos R$ 。雷达的下视角为 B , 目标 a 与 Y 轴之间夹角为 A , 波束宽度为 $2H$, 初始时刻两机间距为

$$R_0^2 = (h - h_0)^2 + x_0^2 + y_0^2 \quad (1)$$

t 时刻两机间距为

$$R^2(t) = (R_0 \sin B - V_g t \cos R)^2 +$$

$$(R_0 \cos B \sin A + V_g t \sin C \sin R)^2 + (R_0 \cos B \cos A + (V_g \cos C \sin R - V_0) t)^2 \quad (2)$$

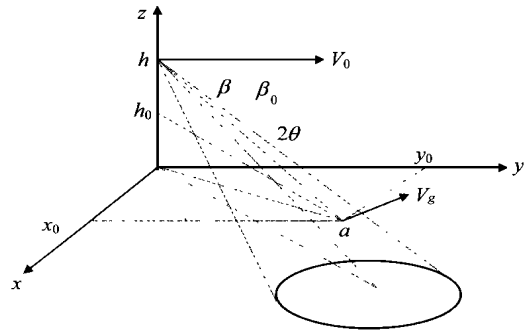


图 1 机载雷达下视探测图

两机间的相对运动所造成的雷达信号相位变化可近似地考虑为

$$U(t) = 2P(f_d t + f_{ds} t^2 / 2) \quad (3)$$

式中: $f_d = 2[-V_0 \cos B \cos A + V_g \times$

$$(\sin R \cos B \cos(C - A) - \sin B \cos R)] / K \quad (4)$$

$$f_{ds} = (V_0^2 + V_g^2 - 2V_0 V_g \cos C \sin R) / (KR_0) \quad (5)$$

若设目标机的速度为零, 高度 h_0 也为零, 则式(3) ~ 式(5)可转换为地面固定目标回波的表达式。此时^[1] $f_d = -2V_0 \cos B \cos A / K$, $f_{ds} = V_0^2 / (KR_0)$, 由此可见, 地面固定目标的多普勒频移和线性调频项是由载机运动所造成的。而线性调频项仅与载机速度, 雷达波长, 载机和目标机间距有关, 这些参数可用其它已有的技术进行测量, 故可认为它们是已知的, 这样, 地杂波中的线性调频项可以被补偿, 可不考虑地面回波的线性调频项。目标机

的回波中,其线性调频项不仅与雷达载机速度有关,还与目标机速度有关,它是不能补偿掉的,故雷达信号经补偿后,地杂波与目标之间差别在于有无线性调频项。

若设波束中轴与 γ 轴之间方位向夹角为 A , 俯仰向夹角为 B , 那么地杂波谱的中心频率 f_{d0} 和频谱宽度 B_d 为

$$f_{d0} = - 2V_0 \cos B_0 \cos A_0 / K \quad (6)$$

$$B_d = 4H_0 \cos B_0 \sin A_0 / K \quad (7)$$

如果考虑某一距离门内有一目标机的信号被地杂波谱覆盖,则分析信号的模型为

$$s(t) = A \exp(j2P(f_{dt}t + f_{dst}^2/2)) + A_i \exp(j2Pf_{di}t) \quad (8)$$

上式右边第 1 项为运动目标,第 2 项为地杂波。

采样后的信号为

$$s(n) = A \exp(j2P(f_{dn}nT + f_{ds}(nT)^2/2)) + A_i \exp(j2Pf_{di}nT) \quad (9)$$

2 处理方法

对线性调频信号的处理方法有:匹配滤波方法^[2], Wigner-Ville^[3~5]方法等,这些方法对在地杂波条件下发现目标机是不够理想的。而变抽样率方法不失为一种有效方法。该方法可有效地分离出线性调频信号,其详细处理原理可参考文献[6]。

变抽样率方法是对 FFT 后的频域数据中感兴趣的区域通过一相应的频域窗,然后再进行频率平移,使其最左边谱线移到零频,再进行 IFFT 计算得到时域信号,对此信号按时间平方选取数据,对选取后的数据再进行付里叶变换处理,就可分离出线性调频信号。

若考虑某一距离门的地杂波如图 2(a) 所示,那么可在地杂波区域设数个频域窗函数对其进行处理,得到数个频谱图,如图 2(b) 所示,再将它们的最左边谱线移到零频,如图 2(c) 所示,再按文献[6]方法对每一个频谱进行处理,就可分离出可能潜在的运动目标信号。

若设式(7)的谱函数为 $S(k)$, 某一频域窗函数为 $G(k)$, 那么图 2(b) 中的某一谱可表示为

$$S_i(k) = G_i(k)S(k) \quad (10)$$

设这一频谱平移为 k_i , 则图 2(c) 的数学表达式为

$$S_i(k) = G_i(k + k_i)S(k + k_i) \quad (11)$$

当原采样的点数为 N , 那么式(11)变换到时域时有

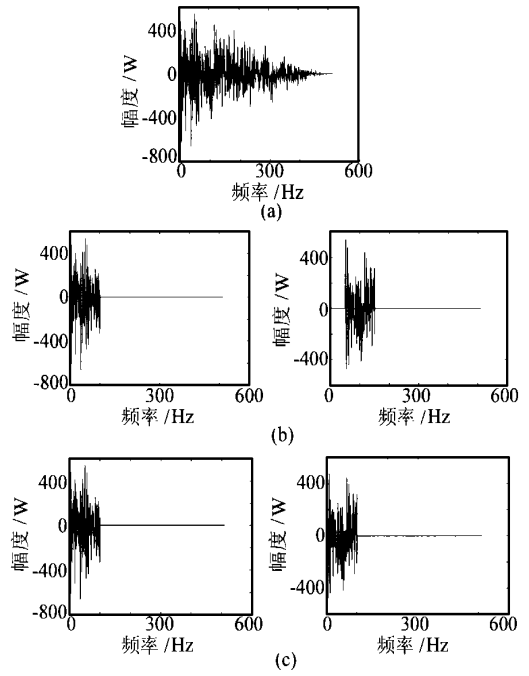


图 2 地杂波及预处理后频谱图

$$s(n) = G_i(k + k_i)S(k + k_i) \exp(j2PknT) \quad (12)$$

为了提取线性调频信号,对式(12)按

$$m = (nT)^2 / T_s \quad (13)$$

规律来选取数据,而选取数据的总数 M 与等效采样周期 T_s 满足

$$MT_s = (TN)^2 \quad (14)$$

选取数据后的表达式为

$$s_i(m) = G_i(k + k_i)S(k + k_i) \exp(j2PkmT_s) \quad (15)$$

对式(15)进行付里叶变换就可分离出线性调频参数,即

$$S_i(p) = s_i(m) \exp(-j2PpmT_s) \quad (16)$$

从式(12)和式(16)可以看出它们均是普通的付里叶变换,可以使用已有的 FFT 成熟技术进行实时处理。该处理方法对现有的雷达信号处理机硬件系统不需要做任何改动,仅仅是要编制信号处理程序。

3 仿真

分析式(4)和式(7),若由目标机产生的多普勒频移落在地杂波带宽内,即

$$2V_g(\sin R \cos B \cos(C - A) - \sin B \cos R) / K > 2H_0 \cos B \sin A / K \quad (17)$$

则传统方法难以得到好结果。

式(4)和式(5)中,补偿掉雷达载机速度影响后的多普勒频移 f_d 和线性调频参数 f_{ds} 可表达为

$$f_d = 2V_g(\sin R \cos B \cos(C - A) - \sin B \cos R) / K \quad (18)$$

$$f_{ds} = (V_g^2 - 2V_0V_g \cos C \sin R) / (KR_0) \quad (19)$$

可以看出 R_0 越小, f_{ds} 越大。故在副瓣地杂波区域内, 线性调频的影响要比主瓣影响更大, 这表明: 在主瓣地杂波区域内, 频域窗可取的窄一些, 而在副瓣地杂波区域内, 频域窗可取的宽一些。

如果取 $MT_s = (TN)^2$, 那么变抽样率处理后目标所在的点数 N_{ds} 为

$$N_{ds} = f_{ds}(TN)^2$$

为了仿真, 设雷达的波长 $\lambda = 0.03$, 两架飞机的速度均为 300m/s , $B = 10^\circ$; $B = 10^\circ$; $A = 45^\circ$; $A = 45^\circ$; $C = 134^\circ$; $D = 90^\circ$; 那么目标机产生的多普勒频移满足式(17), 即目标机的回波无论是在时域, 还是在频域均被地杂波覆盖。同时设雷达的波束宽度 $2H = 3^\circ$; 那么由式(6)计算得地杂波中心频率 $f_{d0} = -13927.3\text{Hz}$ 。由式(7)可计算得谱宽度 $B_d = 729.2\text{Hz}$ 。由式(18)可计算得运动目标的多普勒频移 $f_d = 349.0\text{Hz}$ 。

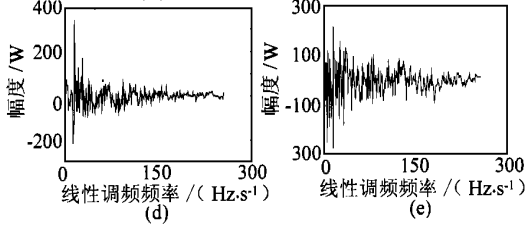
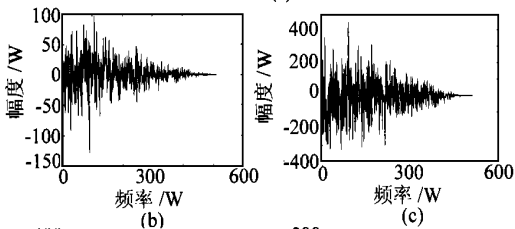
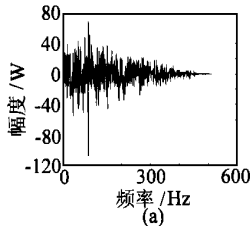


图 3 机载下视雷达信号及杂波的仿真处理频谱图

若设 $R_0 = 30\text{km}$, 则由式(19)可计算得线性调频 $f_{ds} = 238.9\text{Hz}$ 。

设雷达脉冲的重复频率为 2048Hz , 发射的脉冲个数为 512 个, 用 Matlab 软件编制了仿真程

序, 图 3 为仿真结果。图 3(a) 为: $f_{ds} = 0$, 信噪比为 0.75dB 时的 512 点积累后的效果, 理论计算其最大值在 88, 仿真结果也是如此; 图 3(b) 为: $f_{ds} = 0$, 信噪比为 -2.23dB 时的 512 点积累后的效果; 图 3(c) 为有 f_{ds} , 信噪比为 -16.4dB 时的直接付里叶变换后的结果, 从图中难以发现目标, 图 3(d) 为采用变抽样率方法处理的结果, 由式(20)计算其最大值在 15, 仿真结果也是如此; 从图中可明显地分离出目标信号, 图 3(e) 为有 f_{ds} , 信噪比为 -20.1dB , 从图中已难以分离出目标信号, 其积累点数为 256。

参 考 文 献

- [1] 赵志钦. 合成孔径雷达成像处理及运动目标检测和成像研究[D]. 西安: 西安电子科技大学. 1995.
- [2] Barbarossa S. Doppler-rate filtering for detecting moving target with synthetic aperture radar[A]. In Huddleston G K, Tanenhaus M, Williams B P eds. Millimeter Wave and Synthetic Aperture radar[C]. Proc SPIE, 1989, 1101: 140 ~ 147.
- [3] Boashash B, Black P. An efficient real-time implementation of the wigner-Ville distribution[J]. IEEE Trans on ASSP, 1987, 35(11): 1611 ~ 1618.
- [4] Boashash B. Notes on the use of the wigner distribution for time-frequency signal analysis[J]. IEEE Trans on ASSP, 1988, 36(9): 1518 ~ 1521.
- [5] 赵广江. 一种基于离散 Wigner-Ville 分布的目标加速度提取方法[J]. 现代雷达, 1998(3): 28 ~ 31.
- [6] WANG Shengli, ZHU Li. Changeable sampling processing for chirp signals in the SAR[A]. Fourth International Conference on Signal Processing[C]. Beijing, China: 1998. 1473 ~ 1476.

作者简介:



王盛利 1978 年考入华东工程学院, 1988 年考取南京电子工程研究中心的硕士研究生, 毕业后到南京电子技术研究所从事雷达系统和信号处理工作至今, 现为高级工程师, 同时也为西安电子科技大学博士研究生。



朱力 1986 年阜阳师范学院毕业, 1992 年电子科技大学研究生毕业, 获硕士学位, 同年分配到南京电子技术研究所至今, 主要从事雷达总体和信号处理工作, 现为工程师, 发表论文 20 余篇。