

文章编号: 1001-2486(2002)04-0073-04

海洋环境中基于 WVD 的 LFM 信号检测方法*

袁俊泉, 皇甫堪, 王展

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 海洋环境中弱信号的谱与海杂波的谱相混叠, 目标和背景的位置差异很小, 经典的频域或空域处理对海杂波中弱信号的检测难以奏效。鉴于 Wigner-Ville 分布 (WVD) 对线性调频信号 (LFM) 具有时频聚集性这一特点, 提出了一种海洋环境中基于 WVD 的 LFM 信号检测方法。利用雷达采集的真实海杂波数据, 在不同信杂比的条件下, 研究了该方法与经典频域法在信号检测中的差别。通过实验分析, 与经典方法相比, 该方法具有明显的优越性, 且信杂比达到 -14.3dB 时, 其仍能很好地对信号进行检测。

关键词: 海杂波; WVD; 时频聚集性; 信杂比

中图分类号: TN911.7 **文献标识码:** B

A New Approach with Wigner-Ville Distribution Based On LFM Signal Detection in the Ocean

YUAN Jun-quan, HUANGFU Kan, WANG Zhan

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Generally speaking, the spectrum of feeble signal folds the spectrum of sea clutter, and the location discrepancy between the target and its surroundings is small. So it is difficult for the classical processing in the frequency domain or space domain to detect the feeble signal in the ocean. This paper presents a new approach with Wigner-Ville distribution based on the linear frequency modulation signal detection in the ocean whereas WVD has the time-frequency local characteristic for LFM signal. It studies the difference between the new approach and the classical frequency approach for signal detection using the real data of the sea clutter collected by the radar in the condition of the several signal-clutter-ratios. The results show that the new approach has evident advantages compared with the classical approach. When the signal-clutter-ratio is -14.3dB , it still detects the target effectively.

Key words: sea clutter; WVD; time-frequency local characteristic; signal-clutter-ratio

海洋环境中的低速小目标 (如浮标和小艇) 信号的有效检测始终是一个困难的问题。由于海面目标的速度相对海杂波背景很低, 信号的谱与海杂波的谱相混叠, 经典的 Doppler 频域分离法 (如 MTI 和 MTD 技术) 难以奏效。海洋环境中, 目标和背景几乎重合在一起, 位置差异很小, 经典的空域分离法 (如自适应天线旁瓣对消、发射零点控制技术以及一些空间谱估计技术等) 也难以取得良好的效果。

自从 1980 年 Claaser^[1]对 Wigner-Ville 分布 (WVD) 理论及特性进行了详细分析以来, 以 WVD 为代表的时频分布, 受到诸多学者的广泛重视。Kumar^[2]等人首先对基于 WVD 的检测方法与匹配检测方法进行了比较; Martir^[3]利用 WVD 分析了非平稳过程的演变谱; Kenny^[4]基于 WVD 对来自分散雷达目标的后向散射信号作了时频分析。近几年来, 基于 WVD 的目标分类和检测已成为另一研究热点^[5-6]。

线性调频 (LFM) 信号常作为探测设备, 如雷达、声纳和地震勘探的发射信号。由于目标在径向方向常有一定的等加速度, 其多卜勒频率的变化也近似是线性的。因此, 研究这类信号的检测, 有着广泛的实际意义。

* 收稿日期: 2002-04-16

作者简介: 袁俊泉 (1976-), 男, 博士生。

1 WVD 及其特性

信号 $s(t)$ 的 WVD 定义为

$$W_s(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t + \tau/2) s^*(t - \tau/2) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (1)$$

其中 $s(t)$ 为解析信号。从上式可以看出, 对于特定时刻 t , WVD 是将过去时刻的信号乘以将来时刻的信号, 然后作傅氏变换而得。因此, 我们若要判断 WVD 是否全为零, 只要将该时刻左段折叠到右段, 看两者是否重叠, 如有重叠, 则 WVD 不全为零, 否则全为零。

WVD 具有许多优良性质^[1], 这里仅介绍与本文有关的两条重要性质:

(1) Moyal 公式

$$|(u, v)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) v^*(t) dt \right|^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_u(t, f) W_v^*(t, f) dt df \quad (2)$$

该公式是基于 WVD 的信号检测的基础。

(2) 对 LFM 的时频聚集性

令 LFM 信号为

$$s(t) = \exp[j2\pi(f_0 t + \frac{1}{2} m t^2)] \quad (3)$$

则

$$s(t + \frac{\tau}{2}) s^*(t - \frac{\tau}{2}) = e^{j2\pi(f_0 + m)\tau} \quad (4)$$

代入公式(1)得

$$W_s(t, f) = \delta(f - f_0 - mt) \quad (5)$$

也就是说, LFM 信号的 WVD 为沿直线 $f = f_0 + mt$ 分布的冲击线谱, 即分布的幅值集中出现在表示信号的瞬时频率变化律的直线上。

2 基于 WVD 的 LFM 信号的检测

二元假设检验为

$$H_0: r(t) = c(t) \quad (6)$$

$$H_1: r(t) = s(t, \theta) + c(t)$$

式中 $r(t)$ 、 $s(t, \theta)$ 、 $c(t)$ 分别代表接收信号、动目标信号及海杂波。 θ 为目标中的未知参数, 对于线性调频(LFM)信号来说, $\theta = [f_0, m]$, f_0 和 m 分别是 LFM 信号的中心频率与调频率。

用 WVD 进行信号检测, 其概念与时域的相关处理相同, 但它是在时频二维进行处理。基于 WVD 的检测统计量为^[7]

$$\eta_{WVD} = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} r(t) s^*(t) dt \right|^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_r(t, f) W_s^*(t, f) dt df \quad (7)$$

而的 LFM 的 WVD 为

$$W_s(t, f) = \delta(f - f_0 - mt) \quad (8)$$

将上式代入(7)式可得

$$\eta_{WVD} = \int_{-\infty}^{+\infty} W_r(t, f_0 + mt) dt \quad (9)$$

若设检测门限为 η_0 , 则对于 LFM 信号基于 WVD 的判决准则为

$$\max_{f_0, m} \int_{-\infty}^{+\infty} W_r(t, f_0 + mt) dt \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \eta_0 \quad (10)$$

3 实验结果与分析

本文的杂波数据来源是某 S 波段雷达所采集的真实海杂波,其原始数据如图 1 所示。为了研究的需要,我们根据所需的信杂比,来调整杂波数据的幅度。假定 LFM 信号的中心频率为 100Hz,调频率为 50。为了便于比较,首先给出了 LFM 信号基于最大熵谱估计法所得的功率谱,实验结果如图 2。

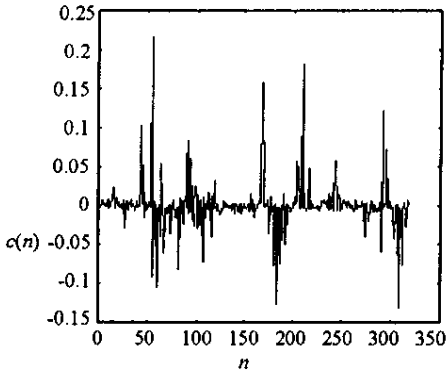


图 1 原始的海杂波

Fig.1 Original sea clutter

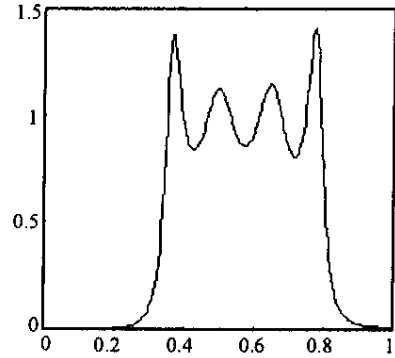


图 2 信号的功率谱

Fig.2 PSD of signal

分别对三种信杂比(SCR): -0.3dB 、 -5.3dB 与 -14.3dB 情况下基于 WVD 的 LFM 信号检测结果与基于最大熵谱估计法的频域分析法进行了比较,实验结果分别如图 3~5。

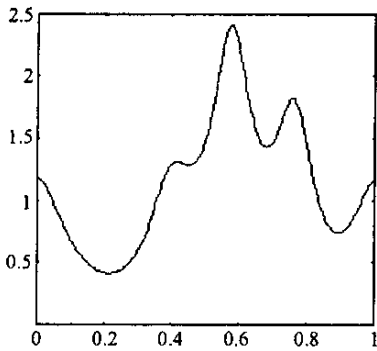


图 3(a) 最大熵谱法的功率谱(SCR = -0.3dB)

Fig.3 (a) PSD from MESF(SCR = -0.3dB)

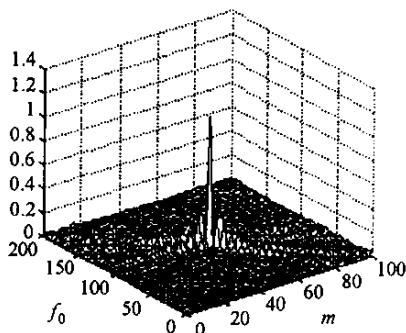


图 3(b) 基于 WVD 的检测(SCR = -0.3dB)

Fig.3 (b) detection based on WVD(SCR = -0.3dB)

从图中可以看出,对于较大的信杂比如 -0.3dB ,基于最大熵谱估计法也可以完成信号的检测,但基于 WVD 的信号检测效果更加优越。随着信杂比的减小,最大熵谱估计法不再给出信号的正确检测,我们无法从功率谱得到有关信号的信息,而 WVD 却保持了很好的检测能力,如从图 4(a)中很难判断有无信号,即使可以认为有信号存在,也不能确定信号的频率是多少,而图 4(b)所给出的信息十分明显。当信杂比为 -14.3dB 时,基于 WVD 的检测效果虽然有所下降,但如果我们提高检测门限,仍能信号从海杂波中正确检测出来。

4 结论

针对经典的空域或频域法,对海洋环境中弱信号的有效检测存在一定的缺陷,并利用 WVD 对 LFM 信号具有很好的时频聚集性这一特点,提出了一种基于 WVD 的 LFM 信号检测新方法。通过对真实海杂波数据进行处理,并与传统的基于最大熵功率谱估计的频域处理方法进行比较,证明了在低信杂比

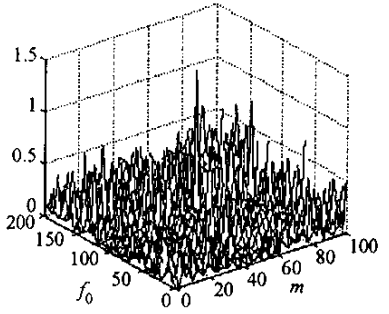
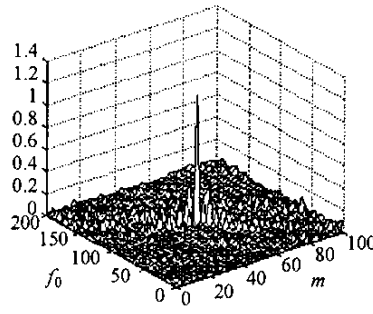
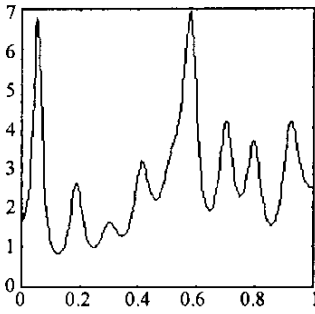


图4 (a)最大熵谱法得出的功率谱(SCR = - 5.3dB)

Fig.4 (a) PSD from MESE (SCR = - 5.3dB)

图4 (b)基于 WVD 的检测 (SCR = - 5.3dB)

Fig.4 (b) Detection based on WVD(SCR = - 5.3dB)

图5 基于 WVD 的检测 (SCR = - 14.3dB)

Fig.5 Detection based on WVD(SCR = - 14.3dB)

时,该方法具有较好的优越性,其在信杂比为 - 14.3dB 时仍能够检测出目标。基于 WVD 检测新方法的门限 γ_0 与检测概率 P_d 、虚警概率 P_f 及信杂比 SCR 之间关系的理论分析,可作为进一步的研究方向。

参考文献 :

[1] Claesen T A C M , Mechlenbraucker W F G. The Wigner distribution - a tool for time - frequency analysis[J]. Philips J. Research , 1980 ,35(6) : 217 - 250 276 - 300 372 - 389.

[2] Kumar V J ,Carrol C. Performance of Wigner distribution function based detection method[J]. Optical Engineering , 1984 ,23(6) :732 - 737.

[3] Martin W ,Flandrin P. Wigner - Ville spectral analysis of nonstationary processes[J]. IEEE Trans. ASSP ,1985 33(6) :1461 - 1470.

[4] Kenny O P ,Boashash B. Time - frequency analysis of backscattered signals from diffuse radar targets[J]. IEE Proceeding - F ,1993 ,140(3) :198 - 208.

[5] Kumar P K ,Prabhu K M M. Classification of radar returns using Wigner - Ville distribution[C]. IEEE ICASSP - 96 ,1996 :3105 - 3108.

[6] Kumar P K ,Prabhu K M M. Simulation studies of moving - target detection : a new approach with Wigner - Ville distribution[J]. IEE Proc. Radar , Sonar Navig. ,1997 ,144(5) 259 - 265.

[7] 张贤达. 现代信号处理 [M]. 北京 清华大学出版社 ,1995.

