

平稳随机噪声中暂态信号的检测方法

何 斌

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

丛玉良 赵继印

(吉林工业大学 长春 130025)

摘要 提出一种在平稳随机噪声中检测暂态信号的循环双谱切片方法,同时给出仿真结果。

关键词 暂态信号 循环双谱 平稳随机噪声

1 引 言

相关函数随时间按周期或多周期规律变化的信号叫做循环平稳(cyclostationary)信号。循环平稳信号广泛存在于通信、遥感、声纳、控制系统以及那些需要分析和处理具有季节性或其它规律性变化的随机测量数据的各门学科中。对于声纳中经常遇到的暂态信号将其用循环平稳理论来进行研究可得到较好的检测效果。本文提出一种循环双谱切片方法,仿真表明这种方法比循环功率谱方法检测效率高,且简单可行。

2 循环功率谱估计和循环双谱估计

令 $x(t)$ 是一循环平稳过程, $x(t)$ 的二阶循环周期图定义为

$$I_{2x}^{(N)}(\alpha, \omega) = \frac{1}{N} X_N(\omega) X_N(\alpha - \omega) \quad (1)$$

其中 $X_N(\omega) = \sum_{t=0}^{N-1} x(t) e^{-j\omega t}$, 当 $\alpha = 0$ 时, 式(1) $I_{2x}^{(N)}(0, \omega)$ 代表了一般平稳过程的二阶周期图。

循环平稳过程 $x(t)$ 的 k 阶周期图可定义为

$$I_{kx}^{(N)}(\alpha; \omega, \dots, \omega_{k-1}) = \frac{1}{N} X_N(\omega) \dots X_N(\omega_{k-1}) \eta_{\alpha - \omega_0 - \dots - \omega_{k-1}} \quad (2)$$

其中 $X_N(\omega) = \sum_{t=0}^{N-1} x(t) e^{-j\omega t}$, η_r 表示 kronecker 链函数, 即

$$\eta_r = \begin{cases} 1, & \tau = 0 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

$I_{kx}^{(N)}(\alpha; \omega, \dots, \omega_{k-1})$ 仅当 $\omega + \dots + \omega_{k-1} = \alpha$ 时不为零。当 $\alpha = 0$ 时, $I_{kx}^{(N)}(\alpha; \omega, \dots, \omega_{k-1})$ 退化为平稳过程的 k 阶周期图。

3 循环双谱切片用于暂态信号检测

假设为循环平稳暂态信号, 其均值为零, 能量有限, 表示平稳随机噪声, 其均值为零, 接收数据为, 则假设检验可表示为

$$H_0: x(t) = w(t) \quad t = 1, 2, \dots, N \text{ 有信号} \quad (4)$$

$$H_1: x(t) = s(t)t + w(t) \quad t = 1, 2, \dots, N \text{ 无信号}$$

在式(2)中取 $\omega = \omega = \dots = \omega_{k-1} = \omega$ 应得到循环 k 阶多谱切片

$$\begin{aligned} I_{kx}^{(N)}(\alpha, \omega) &= \frac{1}{N} X_N(\omega) \dots X_N(\omega) X_N[\alpha - (k-1)\omega] \\ &= \frac{1}{N} X_N^{(k-1)}(\omega) X_N[(k-1)\omega - \alpha] \end{aligned} \quad (5)$$

$k = 2$ 时, 式(5)变成

$$I_{2x}^{(N)}(\alpha, \omega) = \frac{1}{N} X_N(\omega) X_N(\alpha - \omega) \quad (6)$$

即为循环功率谱。

$k = 3$ 时, 式(5)变成

$$I_{3x}^{(N)}(\alpha, \omega) = \frac{1}{N} X_N^2(\omega) X_N(2\omega - \alpha) \quad (7)$$

即为循环双谱切片。

循环平稳信号 $x(t)$ 的循环 k 阶谱切片当 $\omega = \alpha$ 时不为零, 而平稳噪声的循环 k 阶谱切片当 $\omega = 0$ 时均为零。

然后在得到的循环 k 阶谱切片上用 Fisher 统计量 $G^{(F)}$ 来进行检验, 它定义为循环 k 阶谱切片上的最大峰值与各点数值和之比, 即

$$G^{(F)} = \frac{\left| I_{kx}(\alpha, \omega) \right|_{\max}}{\sum_{n=1} \left| I_{kx}(\alpha, \omega) \right|} \quad (8)$$

给定虚警概率, 则可查 Fisher 检验表确定阈值 T_0 ,

$$\begin{aligned} G^{(F)} > T_0, & \quad \text{判 } H_1 \text{ 成立} \\ G^{(F)} \leq T_0, & \quad \text{判 } H_0 \text{ 成立} \end{aligned} \quad (9)$$

当统计量 $G^{(F)}$ 大于阈值 T_0 时, 则判接受 H_1 假设, 即接收数据中有暂态信号存在; 当统计量 $G^{(F)}$ 小于等于阈值 T_0 时, 则判接受 H_0 假设, 即接收数据中没有暂态信号存在。

4 仿真实验

例设暂态信号 $s(i) = \cos[\frac{51}{512}2\pi i] + \sin(\frac{26}{512}2\pi i) + \mathcal{Q} \exp(-0.01i)$, φ 在 $[0, 2\pi]$ 间服从均匀分布, 其能量有限, 平稳噪声 $w(i)$ 为零均值服从指数分布的非高斯有色噪声, 数据长度 N 取 512 点, 暂态信号频谱在 $\omega = 25, 51, 77$ 等处有非零值. 取 $\alpha = 77$, 信号加噪声波形如图 1 所示, 在信噪比 $SNR = -5\text{dB}$ 时计算其循环功率谱如图 2 所示, 其循环双谱切片如图 3 所示, 查表知此时 $T_0 = 0.048$ (取 $n = 200$).

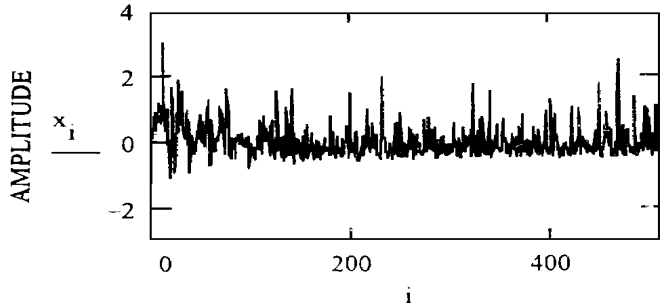


Fig. 1 Transient signal plus non-Gaussian noise SNR= - 5dB

在信噪比 $SNR = -5\text{dB}$ 时计算其循环功率谱如图 2 所示, 其循环双谱切片如图 3 所示, 查表知此时 $T_0 = 0.048$ (取 $n = 200$).

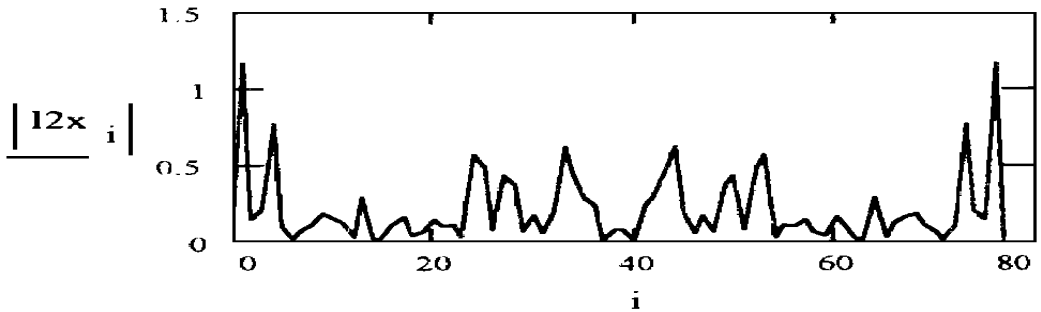


Fig. 2 The slice of cyclespectrum when SNR= - 5dB($\alpha = 77$)

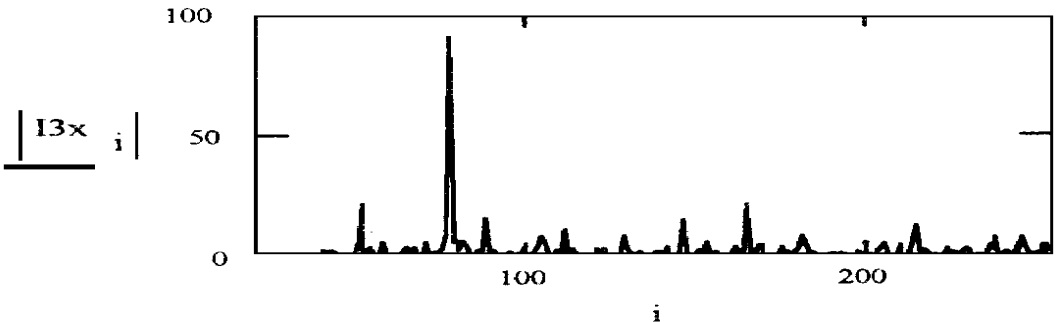


Fig. 3 The slice of cyclebispectrum when SNR= - 5dB($\alpha = 77$)

5 总结

由以上例子可以看出, 循环双谱切片方法不仅适用于平稳随机噪声中的循环平稳暂态信号检测, 而且比循环功率谱方法检测效率高, 计算速度又很快, 比较适合于短数据记录的暂态信号检测.

参 考 文 献

- 1 Yeung G K, Gardner W A. Search-Efficient Methods of Detection of Cyclostationary Signals. IEEE, Trans Signal Processing, 1998, 44: 1214~1223
- 2 张贤达. 时间序列分析- 高阶统计量方法. 北京: 清华大学出版社, 1996

The Method of Detection on Transient Signal in Stationary Random Noise

HE Bin

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

CONG YU -Liang, ZHAO Ji-Yin

(*Jinlin University of Technology, Changchun 130025*)

Abstract

The method of detection on transient signal by the slice of cyclo-bispectrum in stationary random noise is proposed in this paper, simulation results are presented also.

Key words: Transient Signal, Cyclo-bispectrum, Stationary Random Noise

何 斌 男, 1990年毕业于北京理工大学研究生院自动控制专业, 现为副研究员, 主要从事 EDA 方面的工作, 已发表论文10 余篇。