

改进非平稳信号的分析方法

王波, 杨建宇, 熊金涛

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】研究了WVD和短时傅里叶变换两种时频分析方法的优势和局限性,从两种方法的定义出发,分析了两者间存在的联系,通过构造窗函数,提出一种改进的非平稳信号分析方法,并进行了相应的计算机仿真,结果表明信号的时频特性得到了改善,该方法还适用于多分量非平稳信号的分析。

关键词 时频分布; 非平稳信号; 调频信号; 参数估计

中图分类号 TN911.23 文献标识码 A

A Improved Method of Analysis of Nonstationary Signal

Wang Bo, Yang Jianyu, Xiong Jintao

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Wigner ville distribution and short time Fourier transform are the main time-frequency analysis methods. However, both of them have their advantages and limitations. On the base of the definition of the two transform, this paper analyzes the connection between them, then proposes an improved method through the construction of window function. Computer simulation shows the time-frequency character of signal is improved and the method is applicable to the analysis of multicomponent nonstationary signal.

Key words time-frequency distribution; nonstationary signal; frequency-modulated signal; parameter estimation

在非平稳信号中的线性调频信号应用十分广泛,尽管已有很多有效的分析方法^[1],但对多分量信号的分析依然是研究的热点。目前运用较为广泛的是WVD(Wigner-Ville Distribution)和短时傅里叶变换(STFT)两种时频分析方法,WVD对线性调频信号的分析十分有利,具有很好的时频聚集性,但其缺陷是这种方法为双线性变换,当信号为多分量时存在交叉项干扰,虽然通过平滑技术可以减少干扰项,但其时频聚集性将下降,而传统的STFT虽然无交叉项的干扰,但却存在时频聚集性差的缺陷。本文针对WVD和STFT局限性,给出一种改进的时频分析方法。

1 WVD和STFT的定义及变换原理

WVD是广泛用于非平稳信号分析的一种时频分布,其定义为

$$W_x(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t + \frac{t}{2})x^*(t - \frac{t}{2})e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

WVD可以看作是信号时间自相关函数的傅里叶变换,由于它是信号的二次时频,所以对于多分量信号必然存在交叉干扰项。目前已有的许多时频分析方法,基本都是在多分量交叉干扰项抑制和保持信号时频

收稿日期: 2003-09-20

基金项目: 教育部跨世纪优秀人才基金资助项目(B13010201KSJ0202)

作者简介: 王波(1978-),男,硕士生,主要从事通信与信息系统、信号处理方面的研究。

聚集性之间进行折中。实际上即使是单分量信号，WVD也存在自身干扰项。考察信号

$$x(t) = Ae^{jf_1(t)} \quad (2)$$

其WVD分布为

$$W_x(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} Ae^{jf_1(t+\frac{t}{2})} Ae^{-jf_1(t-\frac{t}{2})} e^{-j\omega t} dt = A^2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{j[f_1(t)+f_1^{(1)}(t)\frac{t}{2}+f_1^{(2)}(t)\frac{t^2}{4\cdot 2!}+\dots]-j[f_1(t)-f_1^{(1)}(t)\frac{t}{2}+f_1^{(2)}(t)\frac{t^2}{4\cdot 2!}+\dots]} e^{-j\omega t} dt \quad (3)$$

当信号相位的二阶以上导数为0时，WVD对应于信号瞬时频率为冲击函数，具有最佳的时频聚集性。而当信号相位二阶以上导数不为0时，则相位中的高阶部分将会带来自身干扰项，影响时频聚集性，如图1所示。

STFT定义为

$$F_x(t, \omega; h) = \int_{-\infty}^{\infty} x(u)h^*(u, t)e^{-j\omega u} du \quad (4)$$

式中 $h(u, t)$ 为窗函数，一般令 $h(u, t) = h(u-t)$ 。

STFT是信号的线性表示，本身不存在交叉项的干扰，适用于多分量信号分析，其分辨性能很大程度依赖于窗函数类型及窗宽的选择。实际中被考察信号一般都是非平稳的，但STFT假定在窗函数宽度内信号近似平稳，其窗函数类型通常选择低通型窗函数，如高斯窗，汉宁窗等。当窗函数一旦选定，其时频聚集性也就随之确定。根据不确定原理，窗函数时宽和带宽不可能同时达到任意小，因此其时频聚集性不佳，如图2所示。

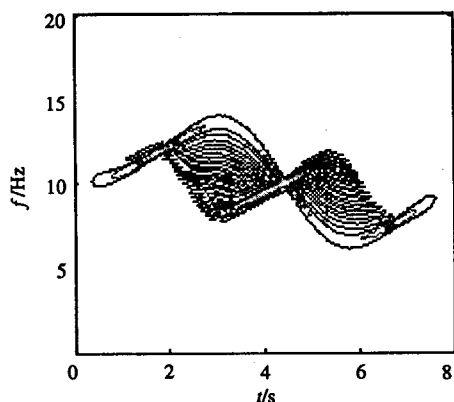


图1 WVD 信号时频分布

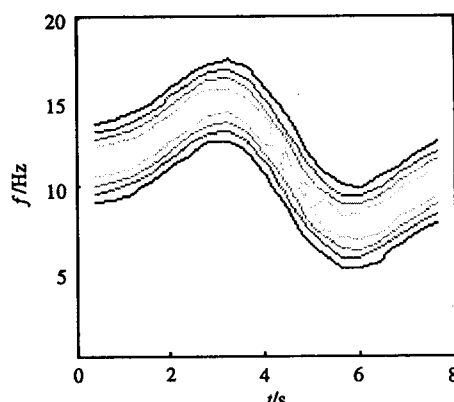


图2 STFT 信号时频分布

由图1、2可以看出，对于非平稳信号，STFT无自身干扰项，但聚集性较差，而WVD的聚集性较好，但存在的自身干扰项已经使信号本身无法清晰分辨。

2 改进的时频变换

综上所述，WVD具有很好的聚集性，而STFT具有很好的抗干扰性，下面分析两者之间的联系。

令 $t + \frac{t}{2} = u$ ，代入式(1)可得

$$W_x(t, \omega) = \int x(u)x^*(-u+2t)e^{-j2\omega u} 2e^{j2\omega u} du = 2e^{j2\omega t} \int x(u)x^*(-u+2t)e^{-j2\omega u} du = 2e^{j2\omega t} \int x(u)h^*(u, t)e^{-j2\omega u} du \quad (5)$$

式中 窗函数 $h(u, t) = x(-u+2t)$ 。

由式(5)看出，WVD可视为是STFT的一种特殊形式，为了得到最佳的时频聚集性，设计的窗函数与信号本身紧密相关，其代价是存在交叉项干扰。因此，在STFT变换基础上，结合信号自身特性来设计窗函数，用以达到消除交叉干扰项、提高时频聚集性的目的。

由于非平稳信号在小的时间段内可近似为线性调频信号，故可将分析线性调频信号的方法运用于更一般的非平稳信号，为此构造窗函数

$$h(t) = a(t) \exp[-jm_i t^2 / 2] \quad (6)$$

式中 m_i 为调频因子。

该算法是将信号时宽 T 分成若干小时间段 T_0 , 其中 T_0 类似于 STFT 小时窗的确定, 满足 $T_0 \ll T$, 根据实际情况还可进行调整, 当信号分析需要时间分辨率高时可取小一些, 需要频率分辨率高时可取大一些, 然后在各时间段内进行 Radon 变换^[2,3], 估计出调频率并在各时间段内利用构造好的窗函数进行 STFT, 再连接各时间段构成整个信号的时频分布。

3 仿真试验结果

考察如下观测信号

$$S(t) = \sum_{i=1}^2 a_i(t) \exp\{j2\pi[f_i t + (m_i t^2 / 2)]\} \quad (7)$$

信号由两个分量构成, 其中调频率 $m_1=0, m_2=4$ 。幅度因子 $a_1(t)=1, t \in [3,7]$; $a_2(t)=1.5, t \in [1,5]$, 其余时间 $a_1(t), a_2(t)$ 均为 0。

STFT 可以看成窗口调频因子为 0 时的信号时频变换, 如图 3 所示。从图中可以看出, 调频率同为 0 的信号分量 1 具有很好的聚集性, 而信号分量 2 特性较差。

固定时窗调频因子为 m_2 时的时频分布如图 4 所示, 从图中可以看出, 信号分量 2 的聚集性有所改善, 而信号分量 1 特性较差。改进方法的时频分布如图 5 所示, 在 1~5 s 的时间段, 由于信号分量 2 能量较大, 窗口调频因子自适应调整为 m_2 , 因此信号分量 2 具有较好的聚集性。在 3~5 s 的时间段, 信号分量 1、2 同时存在, 由于信号分量 1 与时窗不匹配, 聚集性较差, 而在 5~7 s 时间段, 由于信号分量 1 能量变为最大, 窗口调频因子自适应调整为 m_1 , 聚集性显著改善。

WVD 对于线性调频信号具有最好的时频聚集性, 其时频分布如图 6 所示, 从图中还可以看出, 两个信号分量之间存在巨大的交叉干扰项, 已对信号的分析产生影响。

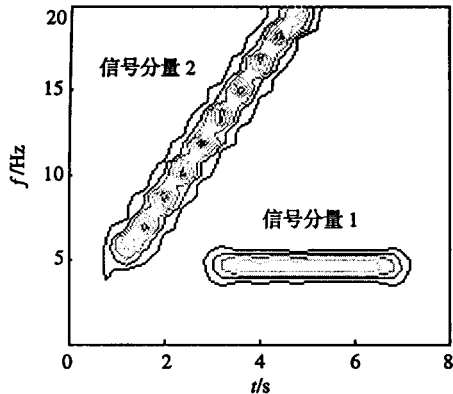


图 3 传统 STFT 的时频分布

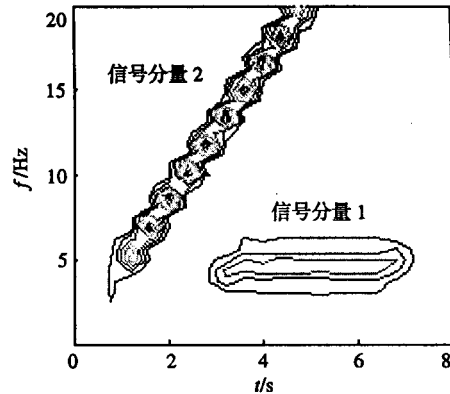


图 4 固定时窗调频因子为 m_2 的时频分布

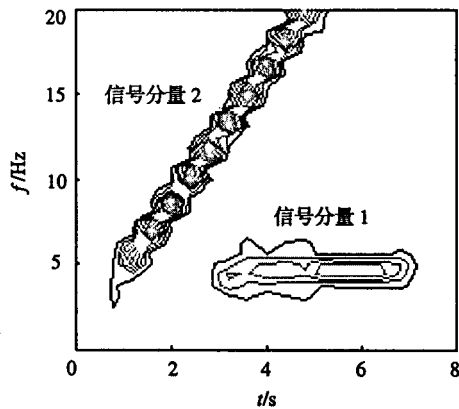


图 5 改进时频变换的时频分布

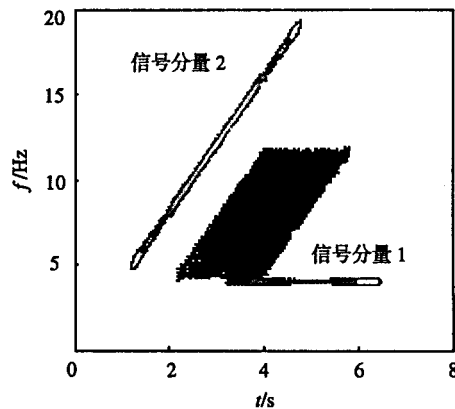


图 6 WVD 时频分布

(下转第 34 页)

是一个重要的影响因素。

参 考 文 献

- [1] Wan S P, Hu Y. A new coding scheme of optical CDMA[J]. China Institute of Commun, 2001, 22(1): 12-17
- [2] Yang G C, Kwong W C. Performance comparison multiwavelength CDMA and WDMA+CDMA for Fiber-Optic Networks[J]. IEEE transactions on communications, 1997, 45(11): 1 246-1 434
- [3] 吉建华, 范 戈. 基于光正交码的多波长OCDMA与WDM+OCDMA系统的性能分析[J]. 光通信技术, 2002, 26(2): 30-33
- [4] Li Chuanqi, Sun Xiaohan. Configuration research of 2D-OOC signature sequence code for OCDMA System[J]. ACTA PHOTONICA SINICA, 2003, 32(1): 50-54
- [5] Yang G C, Kwong W C. Performance analysis of optical CDMA with prime code[J]. Electron Lett, 1995, 31(7): 569-570
- [6] Ng E K H, Weichenberg G E, Sargent E H. Dispersion in multiwavelength optical code-division multiple-access systems: impact and remedies. communications[J]. IEEE Transactions on, 2002, 50(11): 1 811-1 816

编 辑 刘文珍

(上接第11页)

4 结 束 语

本文给出的改进非平稳信号分析方法具有自适应性,既弥补了传统STFT时频聚集性差的缺点,又克服了WVD存在交叉项干扰、适用范围小的局限,因此是一种较为有效的非平稳信号分析方法。

参 考 文 献

- [1] 张贤达, 保 铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [2] Wood J C, Barry D T. Radon transformation of time-frequency distributions for analysis of multicomponent signal[J]. IEEE Transactions on signal processing, 1995, 42: 3 166-3 177
- [3] Wood J C, Barry D T. Linear signal synthesis using the Radon-Wigner transform[J]. IEEE Trans on ASSP, 1994, 42: 2 105-2 111

编 辑 徐培红