

一种性能优越的二次时频分布

徐毅, 阮成礼, 魏茂刚

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】提出了一种新型的性能优越的二次时频分布核。通过对步进频率信号以及点频信号的时频分析处理, 可以看到, 这种核的时频分布比较于魏格纳分布以及Braham Barkat提出的分布, 能更好地抑制交叉项; 同时, 这种核的频域分辨率与BD方法相当, 而在时域上的分辨率则比它要更好。

关键词 双线性时频分布; 魏格纳分布; 交叉项; 时频域分辨率

中图分类号 TN911.72 文献标识码 A

A Predominant Performance Quadratic Time-Frequency Distribution

XU Yi, RUAN Chen-li, WEI Mao-gang

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract There are two important problem in the research of time-frequency distribution, which are restraining the cross terms and amending the resolutions of the time domain and the frequency domain. A new and predominant performance quadratic time-frequency kernel is presented in this paper. The new kernel can well restraining the cross terms compared with the WVD and the BD. And it has a good performance in the time domain and the frequency domain together.

Key words quadratic time-frequency distribution; wigner ville distribution; cross terms; the resolutions of the time domain and the frequency domain

由于能对信号的二维特性(时域和频域)进行处理, 信号的时频分析在近些年来获得较快的发展, 并得到广泛的应用。发展至今, 信号的时频分析方法已经有了多种研究方法。其中, 二次时频分析方法就是信号时频分析中的一种重要方法。文献[1]中对其进行了介绍, 并且指出了核函数的设计是其中的关键问题。

在所有的二次时频分析方法中, 魏格纳分布(Wigner Ville Distribution, WVD)是最简单的方法。这种方法的频域分辨率比较高, 但是它有一个严重的问题: 交叉项。在时频分析中, 还有一个问题也尤其重要, 就是时频域分辨率。短时傅里叶由于受不确定性原理的约束, 使得其在时域和频域上不能同时获得好的分辨率, 因而限制了它在很多场合下的应用。绝大多数的时频分析, 都是围绕着如何有效的抑制交叉项以及获得好的频域分辨率这两个问题展开的。这些二次时频分析方法中, 包括有WVD, 频谱图^[2-3]。这些方法虽然都可以获得较好的频域分辨率, 但是交叉项问题都没有很好的得到解决。在文献[4]中分析比较了几种双线性时频分析方法在频域分辨上的性能。文献[5]提出了一种核分布(Braham Distribution, BD)。通过对核分布的时频分析, 发现这种核的频域分辨率很高, 但是时域分辨率偏差, 而且交叉项抑制并不是很好。基于文献[5]提出的核, 本文对它进行改进, 得到了一种新的核分布。通过对步进频率信号以及点频信号的分析, 发现, 在适当选择了核分布的参数后, 这种核分布可获得较好的性能。如, 更好的抑制交叉项、时域聚集性、频域聚集性等。

收稿日期: 2003-11-21

作者简介: 徐毅(1978-), 男, 硕士, 主要从事电磁场与微波技术方面的研究。

1 原理

在文献[1]中归纳了所有的二次时频表示,其方程表达式为:

$$C(t, \omega) = \frac{1}{4\pi^2} \iiint s^*(u - \frac{1}{2}\tau) s(u + \frac{1}{2}\tau) \phi(\theta, \tau) e^{-j\theta t - j\tau\omega + j\theta u} du d\tau d\theta \quad (1)$$

式中 $s(u)$ 为待分析的时域信号; $\phi(\theta, \tau)$ 为核分布函数,它确定了时频分布及其特性。

1.1 两个信号和的WVD

假定把一个信号分成两段之和,即:

$$s(t) = s_1(t) + s_2(t) \quad (2)$$

对式(2)做WVD变换,得:

$$W(t, \omega) = W_{11}(t, \omega) + W_{22}(t, \omega) + W_{12}(t, \omega) + W_{21}(t, \omega) \quad (3)$$

上面各项的表达式为:

$$W_{mn}(t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int s_m^*(t - \frac{1}{2}\tau) s_n(t + \frac{1}{2}\tau) e^{-j\tau\omega} d\tau \quad m=1,2, n=1,2 \quad (4)$$

式中 $W_{11}(t, \omega), W_{22}(t, \omega)$ 为自项, $W_{12}(t, \omega), W_{21}(t, \omega)$ 为交叉项。后面两项就是时频分析中在时频域上产生交叉项的原因。在理想的情况下,能很好地抑制后两项,并保留前两项。

1.2 理想核分布函数的模糊域性质

令 $\varphi(t, \omega)$ 是核分布函数在时频域 (t, ω) 上的表达式, $\psi(t, \tau)$ 是时域 (t) 与模糊域 (τ) 上的表达式,则它们与模糊域 (θ, τ) 表达式之间的关系式为:

$$\varphi(t, \omega) = \frac{1}{4\pi^2} \iint \phi(\theta, \tau) e^{-j\theta t - j\tau\omega} d\theta d\tau = \frac{1}{2\pi} \int \psi(t, \tau) e^{-j\theta t} d\tau \quad (5)$$

文献[6]中指出,核分布函数的模糊函数对时间、频率联合分辨提供了一个保守的估计,并且指出了为降低杂波干扰,模糊函数在模糊域上的分布必须降低在杂波分布区上的幅值。因为在式(3)中,自项对应到模糊域后,总是在零点附近;而交叉项对应到模糊域后,总是相对远离零点位置。所以,为了抑制交叉项,应该尽量使核的模糊域分布限制在零点附近。

1.3 核分布函数的提出

在文献[5]中提到了 $1/\cosh^2(t)$ 这个时域核部分。对其做傅里叶变换,发现在谱域上的聚集度很高。所以在设计核分布函数时,本文利用了这个时域核部分,并对其进行了修改,使性能更加优越。又考虑到 $e^{-\tau^2/\delta}$ 在 τ 域上也可有很好的聚集度。把它与上面的时域核部分联合起来,就构成了一种新的核分布函数:

$$\psi(t, \tau) = [e^{-\tau^2/\delta} / \cosh^n(t)]^\sigma \quad (6)$$

式中有三个参数 (σ, n, δ) 可以控制该分布函数进行时频分析时的性能。

2 性能比较分析

将要以本文提出的核分布函数进行时频分析,并将结果与WVD以及BD方法进行比较。

2.1 步进频率信号的比较分析

根据表达式:

$$s_1(m) = \begin{cases} \exp(j2\pi f_0) & 0 < m < 2M \\ \exp(j2\pi(f_0 + ([m/M] - 2)\Delta f)) & 2M \leq m < 8M \end{cases} \quad (7)$$

产生一组步进频率信号。其中, $[\cdot]$ 表示取整,数据采样的总长度为 $8M = 2048$, $M = 256$,脉冲重复频率 $PRF = 10$ Hz,初始频率 $f_0 = 0.2$ Hz,频率步进 $\Delta f_0 = 0.5$ Hz/M。分析的时间范围为 $2M \sim 6M$,选取的积累时间长度为 $2M$ 。核分布参数分别取为 $n = 5, \delta = 8, \sigma = 0.1$ 。分别用WVD, BD以及本文提出的核分布函数分析该信号,分析结果如图1所示。图1a是WVD分析得到的结果,可看出,不但在频域上出现了交叉项,而且在时域上同样也出现了。这是WVD方法自身的缺陷。因为它的核在模糊域上的分布是 $\phi(\theta, \tau) = 1$,所以对所

有可能出现的交叉项都没有滤除。图1b是BD方法分析得到的结果,可看出,BD方法在频域上的聚集度是三种方法中最好的;但是,BD在时域上的聚集度却相对有些偏差。图1c是本文提出的核分布函数分析得到的结果,可看出,其在频域上的聚集度与BD方法相当,但是在时域上的聚集度要更优越些。

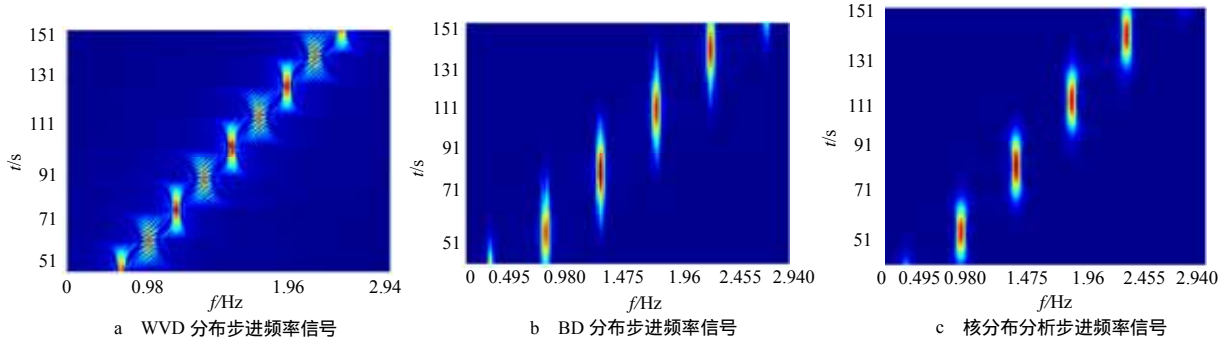


图1 WVD, BD及核处理步进频率信号的情况

3.2 点频信号的比较分析

根据表达式:

$$s_2(m) = \exp(j2\pi(f_1t + f_2t + f_3t)) \tag{8}$$

产生一组多点频信号。其中,数据采样的总长度为 $8M = 2048$, $M = 256$, 脉冲重复频率 $PRF = 10$, 三个频率点分别为 $f_1 = 0.3 \text{ Hz}$, $f_2 = 0.5 \text{ Hz}$, $f_3 = 0.75 \text{ Hz}$ 。分析的时间范围为 $2M \sim 6M$, 选取的积累时间长度为 $2M$ 。核分布参数分别取为 $n = 3$, $\delta = 5$, $\sigma = 0.1$ 。还是分别用WVD, BD以及本文提出的核分布函数3种方法对信号进行分析,分析结果如图2所示。由于信号在时域上是不变的,所以将三维处理结果投影到频率—幅值平面上。

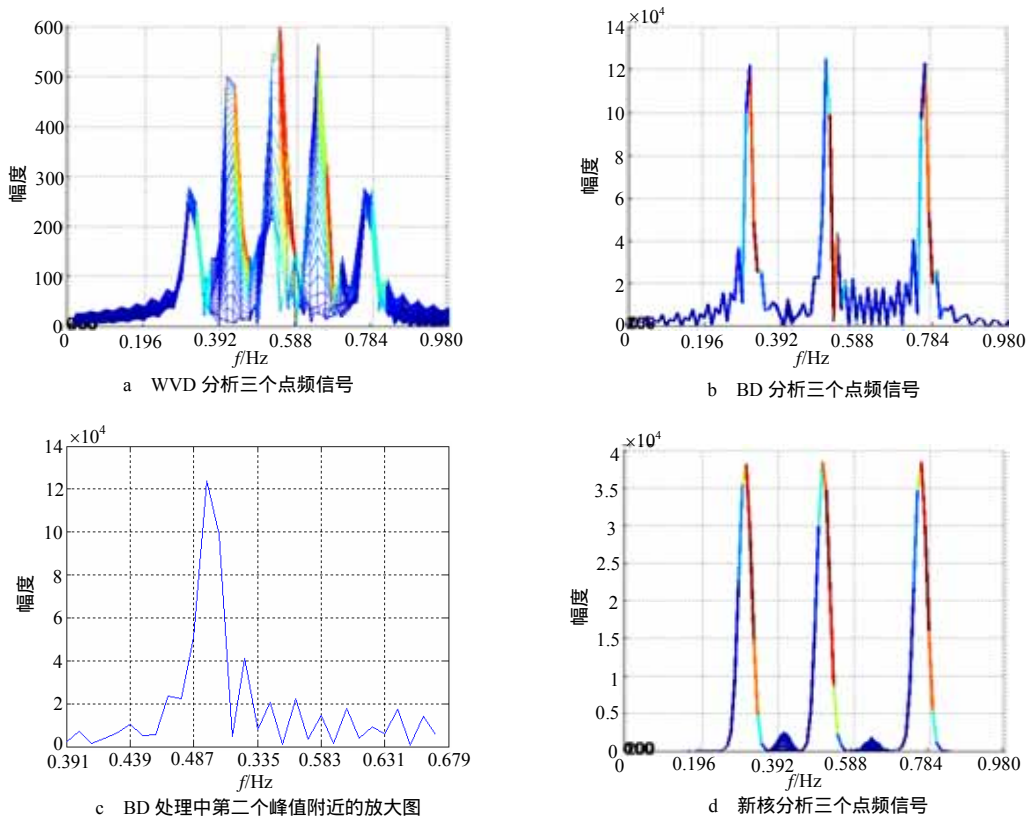


图2 WVD, BD以及新核处理点频信号的情况

图2a是WVD分析得到的结果。可看到,交叉项严重的干扰了对频域分量的判断,其幅值甚至超过了某些真实分量。图2b是BD方法分析得到的结果。可看出,这种方法较好地抑制了交叉项,但是其中的杂波较多,幅度也偏大,会影响对实际频域分量的判断。图2c是选取某个时刻BD处理结果中第2个峰值附近进行局部显示得到的图像。由图可看到,其最大的杂波分量是41 000,波峰的最大幅值是124 000。由此可得到,最大杂波幅值与最大峰值幅值的比值是1:3。比较图2d,它的频域分布更“干净”些,而且其最大的杂波分量幅值是1 800,最大幅值是38 500,最大杂波幅值与最大幅值的比值是1:22左右。即,本文提出的核分布函数比BD方法的信噪比提高了8.65 dB。比较3种方法,本文提出的分布函数在抑制交叉项上要好得多。

3 结 论

本文从时频核的模糊域分布与抑制交叉项两者之间的关系出发,设计了一种新的核分布函数。通过对步进频率信号以及点频信号的分析,并与WVD、BD方法进行比较,显示这种核分布函数在时频分析中能更好的抑制交叉项,在信号的频域分析与BD方法相当,而在信号的时域分析上则表现得更好。

参 考 文 献

- [1] 科 恩 L 著. 时-频分析: 理论与应用[M]. 白居宪 译. 西安: 西安交通大学出版社, 1998. 114-128
- [2] Choi H I, Williams W J. Improved time-frequency representation of multicomponent signals using exponential kernels[J]. IEEE Trans. on Acoust Speech Signal Processing, 1989, 37: 862-871
- [3] Zhao Y, Atlas L E, Marks R J. The use of cone-shaped kernels for generalized time-frequency representations of nonstationary signals[J]. IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing, 1990, 38: 1 084-1 091
- [4] Boashash B, Susic V. A Resolution performance measure for quadratic time-frequency distributions[C]. Statistical Signal and Array Processing, 2000, Proceedings of the Tenth IEEE Workshop on 2000, 584-588
- [5] Barkat B, Boashash B. A High-resolution quadratic time-frequency distribution for multicomponent signals analysis[J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2001, 49(10): 2 232-2 239
- [6] 林茂庸. 信号理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1990.120-123

编 辑 孙晓丹

《JESTC》征稿启事

《Journal of Electronic Science and Technology of China》(缩写: JESTC, 中译刊名《中国电子科技》, 刊号: CN51 - 1658/TN)于2003年底创刊。本刊是教育部主管, 电子科技大学主办, 反映我国电子领域科研成果的学术类季刊, 主要面向海外发行。JESTC所刊载的文章包括通信系统与网络、信号处理、信息与图像处理、电路与系统、微电子学、电子元件与材料、计算机科学、微波技术、物理电子学、光电子学、自动化控制、电子政务与电子商务、以及新兴电子技术应用等专业。

JESTC本着繁荣海内外电子领域学术交流的宗旨, 立足于为国内外大学和研究机构的科技工作者提供展现最新科技成果的精品平台, 力争在短期内办成被国内外知名数据库收录的精品期刊。目前, 本刊已被英国IEE INSPEC、万方数据、中国学术期刊光盘版等数据库全文收录。

热忱欢迎高校师生和科技工作者踊跃投稿, 为繁荣国际学术交流做积极贡献。

地 址: 成都市建设北路电子科技大学学报编辑部

邮 编: 610054

电 话: 028-83201443 83202308

E-mail: journal@uestc.edu.cn

http://202.112.14.184/department/Default.aspx?site=88

本刊编辑部