

基于Wigner高阶谱的ECG信号分析

唐 艳, 汤井田

(中南大学信息物理学院 长沙 410083)

【摘要】采用二阶Choi-Wigner Ville变换来分析晚电位信号,解决了用时域或频域方法不能观测到晚电位的问题,并对消除交叉干扰项的问题进行了研究。该方法取得很好的效果,特别针对非高斯信号,它能给出更好的时频分辨率,给医生提供一种新的诊断工具。

关键词 时频分析; 心电图; 高阶统计量; 心室晚电位
中图分类号 R318 **文献标识码** A

Analysis of ECG Signal Base on Wigner-Ville High-Order Spectra

TANG Yan, TANG Jin-tian

(School of Info-Physics and Geomatics Engineering, Central South University Changsha 410083)

Abstract The study of electrocardiograph signals (ECG) in the time or in the frequency domain taken separately doesn't allow the detection of arrhythmia and late potentials. The second order Choi Wigner Ville transformation can be applied for the detection of cardiac late potentials, and the problem of how to remove cross-terms is analyzed. The method is effective, especially for real non Gaussian signal. It gives better time frequency resolution and provides doctor with a tool for diagnosis.

Key words time-frequency analysis; electrocardiograph; higher order statistic; ventricular late potential

利用体表信号平均心电图检出心电图QRS波终末部分高频、低幅的碎裂波称为晚电位(Late Potential, LP)。当前,数字处理工具提供了较好的分析心脏电活动的方法,大量的研究针对发生在心脏内部传导的微小电位和晚电位^[1-4]。傅里叶变换(FFT)、小波分析及神经网络等工具都被广泛用于分析中^[5-6]。所有这些技术都对晚电位的研究具有一定的成效。

心电图(ElectroEncephaloGrm, ECG)信号表示心脏的电活动,对于晚电位这种瞬时现象,时间或频率域分析方法不足以表示这些波的非平稳变化是在信号中,因此,需要更加精确、综合的方法来研究这一问题。实验中,在正常心电信号中加入了不同位置、幅度和宽度的高斯脉冲来代表晚电位。并发现具有晚电位的ECG信号频谱和没有晚电位的频谱相似。单用频率不能正确观测到晚电位,因为它没有考虑到信号分析的时间进展,本文提出采用高阶统计时频分析的方法观测心室晚电位。

1 晚电位的时频分析

ECG信号为非平稳信号, Wigner-ville变换(WVT)给出分离时间和频率的方法。Wigner-ville变换公式为^[7-8]:

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

式中 $x(t)$ 为分析信号的解析表达式。在频域中表示为:

$$W_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f + \eta/2)X^*(f - \eta/2)e^{-j2\pi f\eta} d\eta \quad (2)$$

式(1)、(2)中, WVT等同于 $x(t - \tau/2)x(t + \tau/2)$ 的傅里叶变换, 这里 $x(t - \tau/2)x(t + \tau/2)$ 表示离散Wigner-Ville的核。通过删除负频率的频谱, 可得到频域中的解析信号。DWV表达式为:

$$W(n, m) = 2 \sum_{k=-L}^L x(n+k)x^*(n-k)e^{-j\frac{2\pi}{M}mk} \quad (3)$$

对ECG信号采用离散Wigner-ville变换(Disperse Wigner-ville, DWV)方法:图1a所示是没有LP的ECG

信号，结合时间和频率域对信号进行分析；图1b是对ECG信号作Wigner-Ville变换的结果。图2a所示是有LP的ECG信号，LP不尖锐；图2b是对ECG信号作Wigner-Ville变换的结果。从图1b、2b中可以看到ECG信号的特征，但是因为交叉干扰项的问题，两者区别不明显；在QRS复合波和LP之间出现的干扰波形，可以用伪Wigner-Ville分布，通过频域的平滑，来降低或消除，结果如图3b所示。通过实践，医生可以运用时频工具来提高诊断。

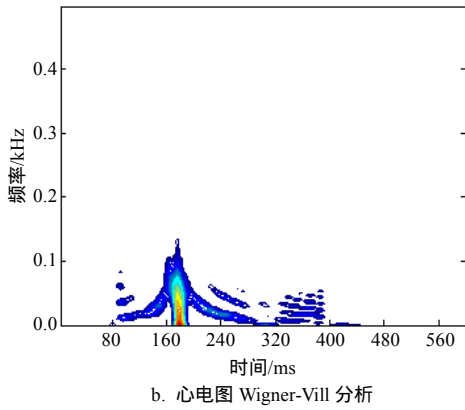
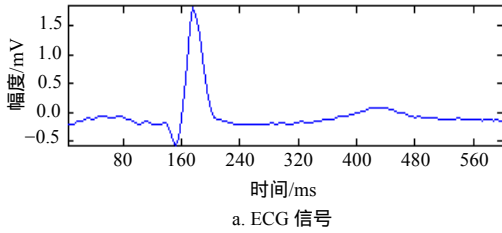


图1 没有晚电位心电图Wigner-Vill分析

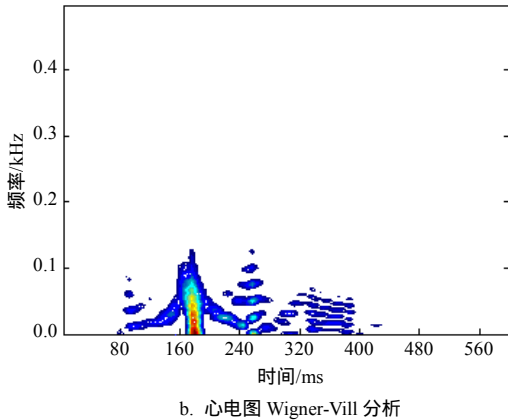
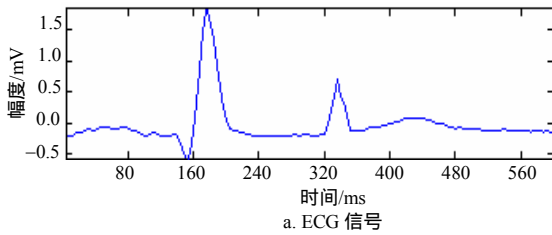


图2 有晚电位心电图Wigner-Vill分析

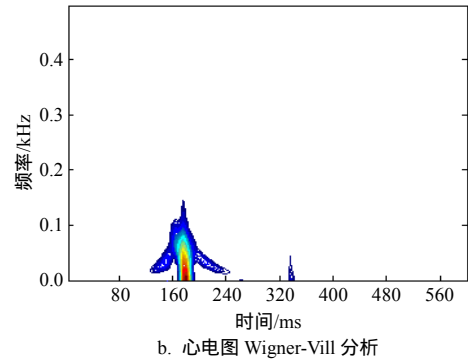
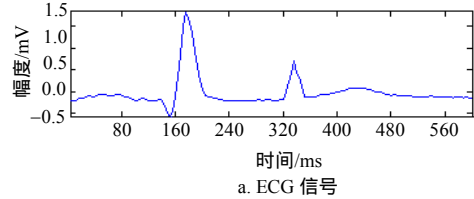


图3 晚电位心电图伪Wigner-Vill分析

2 高阶时频分析

高阶统计量方法是近几年国内外信号处理领域内的一个前沿课题。高阶统计量广泛应用于所有需要考虑非高斯性、非最小相位、有色噪声、非线性或循环平稳性的各类问题中。ECG信号为非高斯信号，由非平稳信号组成，应用高阶统计量方法对其进行分析，能够得到更多的信息。

2.1 高阶WVT

$x(t)$ 是复合信号，HWVT如下^[9]：

$$W(t, f_1, f_2 \dots f_k) = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} x^* \left(t - \frac{1}{k+1} \sum_{m=1}^k \tau_m \right) \times \prod_{i=1}^k x \left(t + \frac{k}{k+1} \tau_i - \frac{1}{k+1} \sum_{j=1, j \neq i}^k \tau_j \right) \exp(-j2\pi f_i \tau_i) d\tau_i \quad (4)$$

该定义表示k次傅里叶变换(k是矩阵的维数)，如果定义 $R_{kt} = x(t - \alpha) \prod_{i=1}^k x(t + \tau_i - \alpha)$ 为是时间偏移，则：

$$W_{kx}(t, f_1, f_2 \dots f_k) = R_k(\tau_1, \tau_2 \dots \tau_k) \prod_{i=1}^k \exp(-j2\pi f_i \tau_i) d\tau \quad (5)$$

Wigner双谱定义如下：

$$W_{x2}(t, f_1, f_2) = \int_{\tau_1} \int_{\tau_2} x^* \left(t - \frac{1}{3}(\tau_1 + \tau_2) \right) x \left(t + \frac{1}{3}(2\tau_1 - \tau_2) \right) x \left(t + \frac{1}{3}(2\tau_2 - \tau_1) \right) \exp(-j2\pi(f_1\tau_1 + f_2\tau_2)) d\tau_1 d\tau_2 \quad (6)$$

在计算时，仅算切片 $f_1 = f_2$ ，为了避免混迭，FFT的计算点数应不小于信号 $x(t)$ 长度的两倍。采用的FFT的计算点数大于信号 $x(t)$ 长度两倍的最小2的幂次。Wigner高阶谱是在Wigner分布上定义的高阶谱，是时变的非高斯信号的基本表示，将该方法应用到心电信号的诊断中，并进行仿真实验，研究结果表

明, 该方法是有效的。

2.2 ECG信号的应用

本文对ECG信号采用了双谱WVT。图4表示时频平面图, 图中晚电位位置较好的表现出来, 并比任何一类WVT表现的更为清楚。但是像Wigner分布一样, Wigner双谱同样受交叉项的干扰, 它们来自多个分量信号中不同信号分量之间的交叉作用。为了降低这些干扰, 本文运用高阶Choi-Williams变换(HCWVD), 采用了频率滤波方法。图5所示显示了一个更好的晚电位位置, 并且没有干扰。用HOS的时频表示法给出了准确的结果, 能够帮助医师更好地诊断。

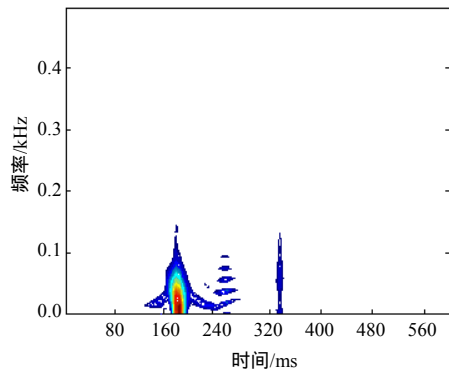


图4 晚电位心电图HWVD分析

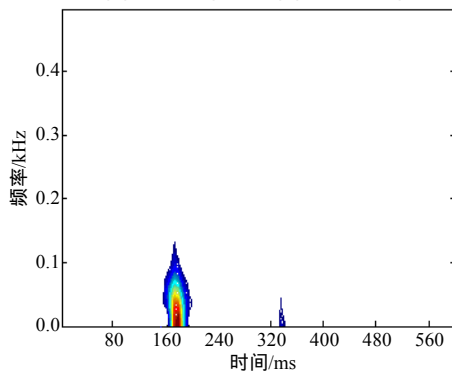


图5 晚电位心电图HCWVD分析

3 结论

Wigner高阶谱是在Wigner分布上定义的高阶谱, 是时变的非高斯信号的基本表示, 本文将该方法应用到心电信号的诊断中, 并进行仿真实验, 研究表明, 该方法是有效的。对于观测心率不齐, HOS WVT(双谱WVT)测试ECG记录显示出比传统的WVT更好的分辨率。该方法最大的缺点是耗时; 对于适时应用, 这些算法应该采用专门的芯片, 来降低计算时间。

参考文献

- [1] 罗融, 庄稼. 心室晚电位测量系统的研制[J]. 测试技术学报, 1996, (10): 720-725.
- [2] 丁北生, 张力新, 曹玉珍. 信号叠加技术在心室晚电位信号检测中的应用[J]. 天津大学学报, 1997, (9): 666-671.
- [3] 王忠友, 吴水才, 林家瑞. 一种用于心室晚电位逐搏检测的时序自适应滤波器[J]. 北京生物医学工程, 2001, (6): 88-90.
- [4] 王忠友, 吴水才, 林家瑞. 心室晚电位检测仪的研制[J]. 医疗卫生装备, 2001, (1): 4-7.
- [5] FAKAPU O, GIRARD J P. Evolution temporelle et fréquentielle de l'ECG, analyse battement par battement[J]. Tech. Biol, 1993, 14(1): 102-113
- [6] 吴水才, 王忠友, 林家瑞. 用小波和神经网络测试心室晚电位[J]. 华中理工大学学报, 2000, (8): 114-116.
- [7] 皇甫堪, 陈建文, 楼生强. 现代数字信号处理[M]. 第2版. 北京: 北京电子工业出版社, 2003: 370-396.
- [8] KFUTTENTHALER W, LAWATSH F H. Time frequency design and processing os signal via smoothed wigner distribution[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 41(1): 278-287.
- [9] FONOLLOSA J R. Wigner higher order moment spectra: definition, properties, computation and application to transiant signal analysis[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1993, 41(1): 245-267.

编辑 孙晓丹