

一种用于便携式12导数字化心电导联线的QRS波检测方法

郑晓婉¹, 闫艳霞¹, 苗维普², 姚文波³, 李海威⁴

(1. 郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002;

2. 郑州市起重自动化工程研究中心, 河南 郑州 451191;

3. 河南省电力公司 信阳供电公司, 河南 信阳 464000;

4. 新开普电子股份有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要:针对便携式12导数字化心电导联线不易识别心电信号QRS波的问题,基于信号处理,利用小波函数良好的时频局域化特性和对时变信号分析的优越性,运用小波变换的奇异点与信号变化剧烈处间的联系理论,以软件方法实现了QRS波的检测.仿真结果表明,该方法对于QRS波、特别是R波的检测,有较高的精确度.

关键词:便携式12导数字化心电导联线;QRS波检测;小波变换;奇异点

中图分类号:R318.6;TH776 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.01.021

Detection method for QRS wave used in portable digital 12-lead ECG cable

ZHENG Xiao-wan¹, YAN Yan-xia¹, MIAO Wei-pu², YAO Wen-bo³, LI Hai-wei⁴

(1. College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;

2. Hoisting Automation Engineering Research Center of Zhengzhou, Zhengzhou 451191, China;

3. Xinyang Power Supply Company, He'nan Electric Power Corporation, Xinyang 464000, China;

4. Newcapec Electronics Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to solve the problem that it is difficult to detect the QRS wave of ECG based on portable digital 12-lead ECG cable, according to the characteristics of time-domain and frequency-domain based on the signal processing method, and the theory of the relation between the singularity and the severe changing point of signal, the detection of QRS wave of ECG was achieved. The simulation results showed that the method had more accuracy for diagnosing QRS wave, especially R wave.

Key words: portable digital 12-lead ECG cable; detection of QRS; wavelet transform; singularity

0 引言

与传统心电导联线相比,便携式12导数字化心电导联线不仅可以采集到人体心电信号,而且可以

同时实现心电检测、心电图(ECG)显示和打印、心电信号分析及疾病诊断等功能^[1].QRS波是ECG信号的特征参数,包含了大量的心电信息.通过对心电信号特征参数进行分析,可以实现对心血管疾病

收稿日期:2014-07-21

基金项目:国家自然科学基金项目(61002007)

作者简介:郑晓婉(1979—),女,河南省南阳市人,郑州轻工业学院讲师,硕士,主要研究方向为测试计量技术及仪器.

的诊断.因此,对QRS波的检测结果不仅可以作为心血管疾病诊断的重要依据,也是检测与分析其他ECG信号特征参数(P波、T波等)的重要依据.国内外许多学者针对QRS波检测做了大量的研究,也形成了不同种类的检测方法,其大体可分为硬件检测方法和软件检测方法.硬件检测方法主要是利用ECG的各种心电参数与噪声间不同的频率特性来实现QRS波的检测,其优点是处理速度快和硬件结构相对比较简单,其缺点是检测不够灵活,对于复杂情况的应对能力较差,能够处理的参数有限.与硬件检测方法相比,软件检测方法的优点是:在实现数字滤波、线性与非线性变换、判定和处理等方面都很方便,对参数的选择、调节和处理具有一定的灵活性,可以应对复杂情况且进行判断,而且可处理的参数也较多,所以软件检测方法在QRS波检测中有一定的优越性.目前,检测QRS波的软件方法大致可分为两种:一种基于图像识别,一种基于信号处理.小波变换检测法就是一种基于信号处理的方法.小波变换已经被应用于心电信号滤波和特征值检测等医疗信号处理方面.与其他QRS波检测方法相比,小波变换本身具有非常好的时频局域化特性,尤其对于时变信号的分析具有独特的优越性,检测更灵活,应对复杂情况能力强,处理的参数范围大,识别R波峰值准确率高.所以小波变换分析法在ECG特征点检测和QRS波检测方面得到了越来越广泛的应用^[2].本文拟运用小波变换的奇异点和信号变化剧烈处之间的联系理论,以软件方法实现QRS波的检测.

1 小波变换与检测原理

QRS波的检测对于便携式12导数字化心电导联线是一项非常重要的功能.在便携式12导数字化心电导联线各种功能中,心血管疾病的诊断主要通过QRS波的识别与分析实现,因此设计一种适用于便携式12导数字化心电导联线的QRS波检测方法十分必要.

1.1 小波变换的奇异点与信号变化剧烈处之间的联系

小波变换的奇异点与信号变化剧烈处之间具有一定的联系^[3].在进行心电信号分析时,QRS波群处于心电信号的突变位置.将心电信号进行小波变换分解到多个尺度上,信号可以由多尺度小波变换的过零点、极值点等奇异点综合表示.

图1所示为小波变换的奇异点与信号变化剧烈

处之间的联系.由图1可知,峰值突变信号用 $x(t)$ 表示,信号突变点的位置对应小波变换的过零点或者极值点.以连续函数一阶导数 $\Psi^{(1)}(t)$ 为母小波作小波变换,信号突变点对应于各尺度下其小波变换的模极大值(过零点).

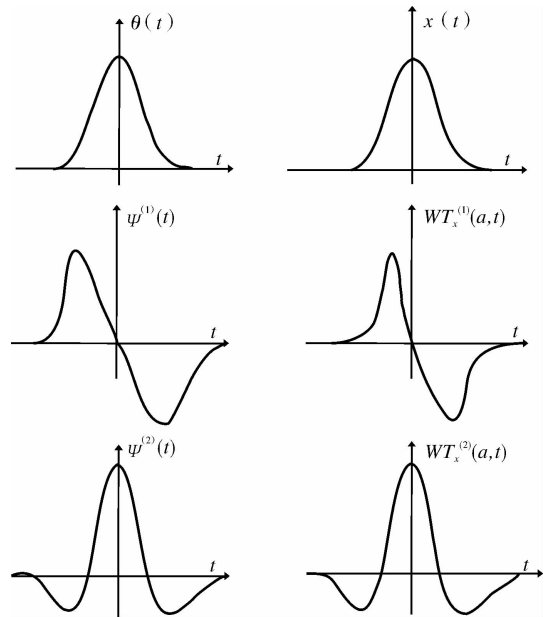


图1 小波变换的奇异点与信号变化剧烈处之间的联系

1.2 QRS波检测原理

Mallat等^[4]研究了信号的奇异点及其与小波变换的关系,得到以下结论: $W_s f(x)$ 是信号 $f(x)$ 的小波变换,当 s 无限趋近于0时,其模极大值对应于信号 $f(x)$ 变化的最激烈处.对于二进小波变换,在较小尺度上信号的奇异点应该对应小波变换的模极大值,但在 $s = 2^j (j \in Z, j > 0)$ 时,并不能真正地趋于零.因此,数字信号的二进小波变换在 $s = 2^j$ 尺度上时,信号的奇异点与小波变换相应的模极大值之间会存在一个偏移量 $\delta_j = \frac{2^j - 1}{2}$ ^[5],即小波变换的时移,其示意图见图2.

利用小波变换将心电信号分解到 $j = 1, 2, 3, 4$ 这4个尺度上.在 $j = 3, 4$ 尺度上QRS波最为集中,而R波的最大小波变换幅度则集中在 $j = 3$ 尺度上,由此可以选取 $j = 3$ 尺度进行R波检测.由小波变换与信号奇异点的对应关系可得到小波变换与R波之间的关系,如图3所示.由图3可知,在 $j = 3$ 尺度上,小波变换的一个正负极值对对应着心电信号的QRS波,QRS复合波的R峰值点对应于正极大值和负极小值连线的零交叉点,也就是过零点再加上时

移为 $\frac{2^3 - 1}{2}$ 的偏移量. 同理, 即可实现对 Q 波、S 波的检测.

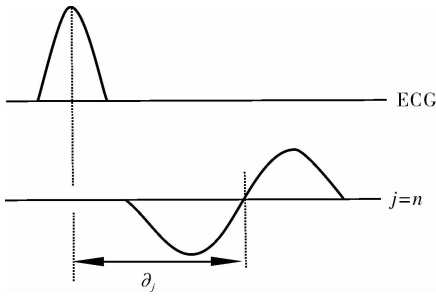


图 2 小波变换时移示意图

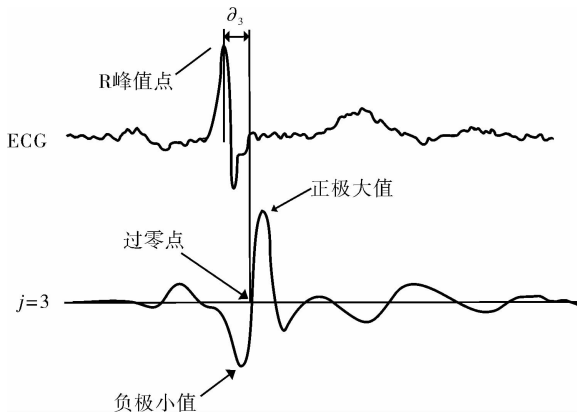


图 3 心电信号 R 波与小波变换的关系

1.3 R 波复检策略

对 QRS 波的检测可能出现漏检和伪迹, 从而影响心血管疾病的诊断, 因此有必要对已检测出的 R 波进行复检. 设置斜率阈值可以实现对伪迹点的判断.

设正极大值和负极小值分别为 H_{maxi} 和 H_{mini} , 其对应位置分别为 T_{maxi} 和 T_{mini} , 斜率

$$L = \left| \frac{H_{maxi} + H_{mini}}{T_{maxi} + T_{mini}} \right|$$

设置斜率阈值 K , 如果一组正负极值对应的斜率 $L < K$, 可以认为其为伪迹点, 将其去除.

2 检测方法

根据上述原理, 本文设计的 R 波检测方法具体步骤如下.

- 1) 心电信号输入;
- 2) 利用小波变换对心电信号进行 $j = 1, 2, 3, 4$ 这 4 个尺度上的分解;
- 3) 在 $j = 3$ 尺度上检测正负极值对应的过零点, 并记录该点;

- 4) 计算并记录该正负极值对所对应的斜率 L ;
- 5) 将所找到的过零点加上偏移量 $\frac{2^3 - 1}{2}$ 进行时移处理得到时移点;

6) 在 $j = 4$ 尺度上找出处理得到的时移点所对应的点, 检测在该点的左右是否还存在正负极值, 如果存在, 则记录此点并记作 R 点;

- 7) 设置阈值 K ;
- 8) 对找到的 R 波复检^[6];

9) 如果 R 点通过复检, 则可确定该点为 R 波的峰点, 否则将该点去除.

R 波检测流程如图 4 所示.

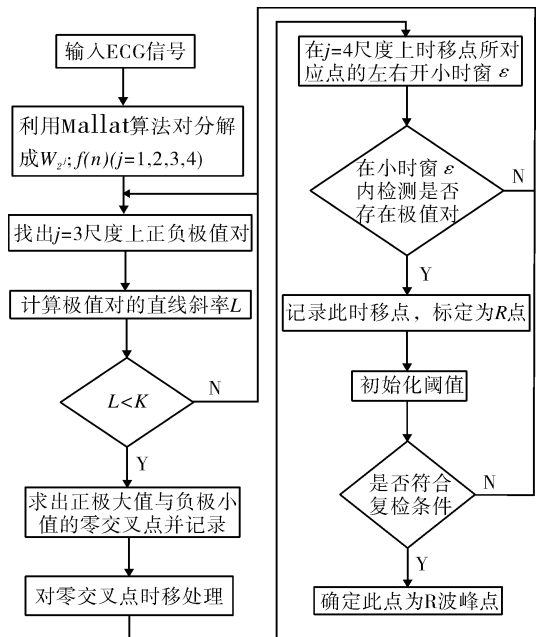


图 4 R 波检测流程图

3 实验分析

通过 Matlab 软件, 使用本文提出的检测方法, 对 QRS 波的检测进行了仿真实验, 结果如图 5 所示. 由图 5 可看出, 叉号处为识别出的 R 波, 识别率较高, 识别较准确.

同时利用该检测方法对 MIT-BIH 心率失常库的 40 个记录进行了检验分析, 其中漏检 2 次, 误检 3 次, 综合平均正确率为 97.71% (见表 1), 说明利用该 QRS 波检测方法对心率失常库记录中的常见心血管疾病判别效果较好.

4 结论

针对便携式 12 导数字化心电导联线不易识别

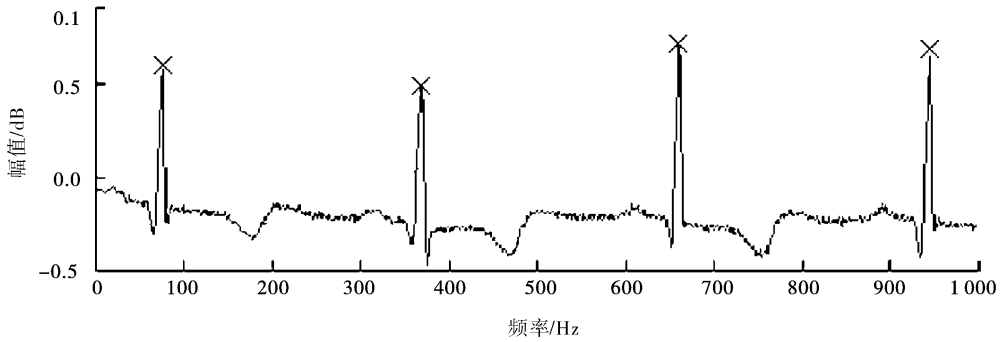


图5 仿真实验结果

表1 检验分析结果

MIT-BIH 心率失常库记录序号	漏检/次	误检/次	错检总数/次	平均正确率/%
100 ~ 109	0	1	1	97.21
110 ~ 129	1	0	1	97.44
200 ~ 209	1	2	3	96.22
210 ~ 219	0	0	0	100.00

心电信号 QRS 波的问题,采用基于信号处理的方法,利用小波函数良好的时频局域化特性和对时变信号分析的优越性,运用小波变换的奇异点和信号变化剧烈处之间的联系理论,以软件方法实现了 QRS 波的检测.通过仿真实验发现,该方法对于 QRS 波的检测有较好的效果,特别对 R 波的检测精确度较高.

该方法仍存在待解决的问题,在后续的研究中,应主要针对漏检这一问题,进一步提高检测

精度.

参考文献:

- [1] 郑晓婉,董洁,苗维普.基于小波变换的抑制心电信号噪声方法研究[J].郑州轻工业学院学报:自然科学版,2012,27(4):9.
- [2] 刘明才.小波分析及其应用[M].2版.北京:清华大学出版社,2013.
- [3] 汪振兴,张思杰,曾孝平.心电信号 ST 段形态识别算法[J].计算机应用,2011(10):2811.
- [4] 邹进,何乐生.基于区域极值法心电 QRS 波的检测[J].电子测量技术,2012(3):100.
- [5] 何史林,陈广飞,应俊,等.串口型心电信号检测模块设计[J].医疗卫生装备,2012(10):30.
- [6] 姚成,司玉娟,郎六琪,等.基于小波提升的 ECG 去噪和 QRS 波识别快速算法[J].吉林大学学报:工学版,2012(4):254.