

基于小波变换的抑制心电信号噪声方法研究

郑晓婉¹, 董洁², 苗维普³

- (1. 郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002;
2. 河南财政税务高等专科学校 信息工程系, 河南 郑州 450000;
3. 郑州市起重自动化工程研究中心, 河南 郑州 451191)

摘要:针对在采集心电信号的过程中容易产生多种多样噪声的问题,利用小波函数的多尺度多分辨率的特性,采用小波变换分解重构的方法,选用4尺度对心电信号进行滤波处理.仿真结果表明,该方法对于50 Hz工频干扰、肌电干扰、基线漂移有较好的抑制作用,为心电信号QRS波的识别奠定了良好的基础.

关键词:小波变换;多尺度;分解重建;心电信号噪声抑制

中图分类号:R318.6;TH776 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.003

Research on filtering the interferences of ECG signal based on wavelet transform

ZHENG Xiao-wan¹, DONG Jie², MIAO Wei-pu³

- (1. College of Electr. and Infor. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China;
2. Dept. of Infor. Eng., He'nan College of Finance and Taxation, Zhengzhou 450000, China;
3. Hoisting Auto. Eng. Research Center of Zhengzhou, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: In order to solve the problem that there are all kinds of interferences during the process of collecting ECG signal, according to the characteristics of multi-scale and multi-analysis based on the wavelet transform, the decomposing and rebuilding method was used for four scale-ECG signal filtering. The results showed that the method could filter 50 Hz interference, EMG interference and baseline drift. And it makes a good foundation for testing the QRS wave of ECG signal.

Key words: wavelet transform; multi-scale; decomposing and rebuilding; filtering the interferences of ECG signal

0 引言

人体心电信号是人类最早研究并应用于医学临床的生物电信号之一,它是一种低频率的微弱信号,在进行心电图检测的时候,心电信号会受到多

种噪声的干扰.因此,为了抑制噪声和消除伪迹,增强心电信号中的有效成分,提高波形识别和检测的准确率,心电信号的滤波至关重要.在早期的心电图机中,主要通过硬件电路的设计抑制干扰和噪声.随着微型计算机和微处理器的问世,数字滤波

收稿日期:2012-03-14

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,郑州轻工业学院助教,硕士,主要研究方向为测试计量技术及仪器.

器渐渐显现出取代模拟滤波器的趋势. 常见的数字滤波方法有以下几种: 1) 平滑滤波是较早应用于这一领域的滤波算法, 缺点是具有低通特性, 通频带窄, 对心电信号中的 QRS 波有较大的削峰, 信号衰减很大, 因此只能应用于对信号波形要求不高的场合^[1]; 2) 固定中心频率陷波器是采用 FIR 或 IIR 的数字陷波器, 在工频(50/60 Hz)附近形成阻带实现滤波, 但是工频干扰的中心频率是随时间波动的, 工频干扰的频率波动会严重影响这种方法的滤波效果, 工频附近的心电信号成分会在一定程度上被削弱^[2-3]; 3) 改进的 Levkov 滤波法对心电信号的线性段和非线性段采用不同的处理方式^[4], 但实际应用中心电信号采样频率是固定的, 而工频频率是波动的, 这就有可能影响滤波效果; 4) 自适应滤波器可以跟踪信号和噪声的变化, 从而使滤波器特性随信号和噪声的变化而变化, 以达到最优滤波, 但是自适应滤波器对工频干扰有很强的抑制作用^[5]. 小波变换(wavelet transform)是一种多分辨率分析手段, 在时域和频域都有良好的局部化性质, 它通过对高频分量成分在时域和频域进行逐步精化的取样, 能够注意到对象的任意细节. 同时小波变换还能够将各种交织在一起的不同成分的信号分解为不同频率的分量. 目前, 已有小波变换应用于抑制心电信号噪声的报道, 但尺度的选择或者过大, 或者过小, 都会对消噪效果产生影响. 鉴于心电信号受到的 3 种干扰频率是不同的, 本文选择 4 个尺度, 在不同尺度上将心电信号展开, 再对不同尺度子信号进行分解处理, 以期实现设计简单且提高消噪效果的目的.

1 设计原理

小波具有多分辨率分解的特性, 能将信号在不同尺度下进行多分辨率的分解, 并将由各种不同频率组成的混合信号分解成不同频段的子信号. 利用这一特性, 可采用小波分解与重构的方法去噪, 其基本原理就是, 将含有各种噪声的心电信号分解到不同的频带内, 然后再对噪声所处的频带进行处理, 最后将分解的信号重构, 这样就去除了心电信号中的噪声. 图 1 为小波分解与重构过程原理图.

图 1 中: $\downarrow 2$ 表示抽样, 即每两点取一点; $\uparrow 2$ 表示零插值, 即每两点间补 1 个零点; $H_0(z)$, $H_1(z)$ 分别是分解用的低通滤波器和高通滤波器, 将信号分

解为低频部分和高温部分; $G_0(z)$, $G_1(z)$ 是重构用的综合滤波器, 把分解的信号重构.

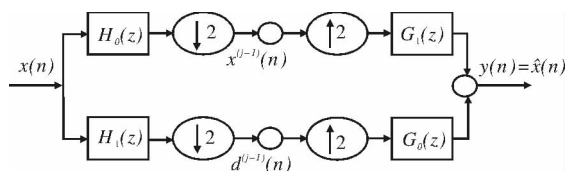


图 1 小波分解与重构过程原理图

2 小波函数的多尺度分解与重构

2.1 多尺度分解

多尺度分解又称为多分辨率分解, 它将小波变换和数字滤波器理论结合起来, 是建立在函数空间概念上的理论. 若把尺度理解为照相机镜头的话, 当尺度由大到小变化时, 就相当于将照相机镜头由远及近地接近目标. 在大尺度空间里, 相当于在远镜头下观察目标, 只能看到目标的概貌; 在小尺度空间里, 相当于在近镜头下观察目标, 能看到目标的细微部分. 因此, 随着尺度由大到小的变化, 在各尺度上可以由粗及细地观察目标, 这就是多尺度的思想.

2.2 分解与重构

文献[6]引入了一种小波变换快速算法, 对离散信号 $x(n)$ 进行分解, 推导出了离散平滑逼近

$$x^{(j)}(k) = \sum_n h_0(n-2k)x^{(j-1)}(n) \quad (1)$$

和离散细节信号

$$d^{(j)}(k) = \sum_n h_1(n-2k)x^{(j-1)}(n) \quad (2)$$

式中, $x^{(j)}(k)$ 代表 $a=2^{-j}$ 下的离散概貌信号, $d^{(j)}(k)$ 代表 $a=2^{-j}$ 下的离散细节信号, 也就是 $x(n)$ 在 $a=2^{-j}$ 下的二进小波变换. 由此可知, 只要 h_{0k} , h_{1k} 已知(可由 $\phi(t)$, $\varphi(t)$ 求得), 就可以计算 $x(n)$ 的二进小波变换值.

重构是分解的逆运算, 对于数字信号的二进小波变换, 其信号重构算法的基本关系式为

$$x^{(j-1)}(n) = \sum_{k \in z} g_0(2k)x^{(j)}(n-2^j k) + \sum_{k \in z} g_1(2k)d^{(j)}(n-2^j k)$$

3 算法与仿真

利用二次样条小波将心电信号分解到 $j=1, 2, 3, 4$ 共 4 个尺度. 这样不同频段的噪声也被分解到

了各个尺度上. 分解后, 在 $j=1, 2$ 的较小的尺度上主要集中了心电信号的高频部分, 其中包括工频干扰和肌电干扰; 在 $j=3, 4$ 尺度主要集中了心电信号中的 QRS 波的能量, 高频干扰和低频干扰在此二尺度上都有了最大的衰减, 且在 $j=3$ 的尺度上 QRS 波的能量最大, 以尺度 $j=3$ 为中心, 无论尺度变大或变小, QRS 波的能量都逐渐减小; 在 $j=5$ 以后的尺度上主要集中了心电信号的低频部分, 其中包括基线漂移^[7]. 表 1 为噪声干扰在各个尺度上的分布.

表 1 噪声干扰在各个尺度上的分布

尺度	频率范围/Hz	工频干扰频率约 50~60/Hz	肌电干扰频率约 30~300/Hz	基线漂移频率约 <0.05/Hz
$S=2^1$	62.5~125	—	部分存在	—
$S=2^2$	18~58.5	部分存在	部分存在	—
$S=2^3$	8~27	—	—	—
$S=2^4$	4~13.5	—	—	—
$S=2^5$	2~6.5	—	—	存在于 $j>5$ 的尺度

根据分解重构原理, 可以将各个尺度上的噪声处理掉, 再将处理后的各尺度上的信号重构, 也就实现了心电信号的滤波. 首先在 $j=3$ 的尺度上找出 QRS 波, 因为在 $j=3$ 的尺度上 QRS 波的能量最大, 然后在其他 3 个尺度上找出与之对应的点, 这样各个尺度的 QRS 波就找到了; 然后, 只保留找到的 QRS 波, 也就是上一步找到的各个点, 而把其他点置 0, 那么也就将噪声去除了; 最后再将处理后的 4 个尺度上的信号重构, 就得到了去除噪声的心电信号. 滤波程序的流程如图 2 所示.

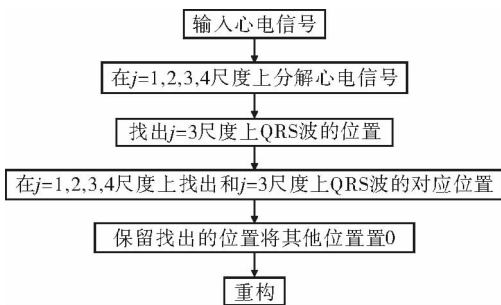


图 2 滤波程序流程图

Matlab 仿真结果如图 3 所示, 可以看出心电信号去噪效果良好.

4 结语

本文利用小波函数的多尺度多分辨分析的特

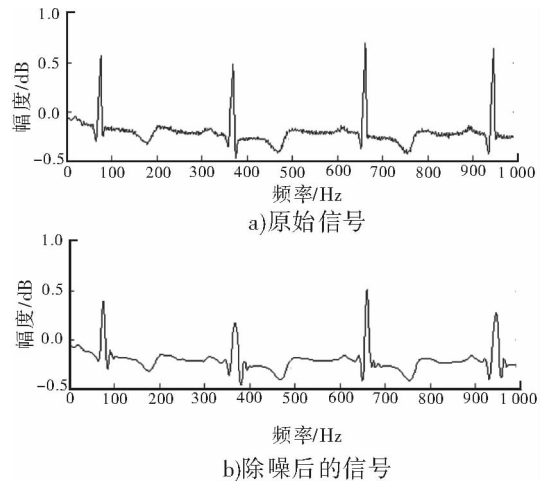


图 3 消噪仿真结果

点, 采用小波变换分解重构的方法, 选用 4 个尺度对心电信号进行了滤波处理. 仿真结果表明, 该方法对于常见的心电信号噪声有较好的抑制作用. 本文在算法上根据能量分布特点选取了 4 个尺度, 对于 50 Hz 工频干扰、肌电干扰、基线漂移有较好的抑制作用, 为下一步 QRS 小型识别打下了良好的基础.

参考文献:

- [1] 范能胜, 陆尧胜. 基于平滑滤波器的心电信号基线漂移的矫正[J]. 医疗卫生装备, 2006(1): 31.
- [2] 孟旭, 唐晓英, 刘伟峰, 等. 消除心电信号工频干扰的新型 IIR 自适应陷波器设计[J]. 医疗卫生装备, 2008(8): 15.
- [3] 王立会, 潘冬明. 一种消除心电信号中工频干扰的陷波器设计[J]. 医疗设备信息, 2007(7): 18.
- [4] 孙京霞, 白延强, 杨玉星. 一种抑制心电信号 50 Hz 工频干扰的改进 Levkov 方法[J]. 航天医学与医学工程, 2000(3): 196.
- [5] 梁津国, 罗二平, 申广浩, 等. 基于自适应滤波器的表面肌电信号消噪方法研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2008(3): 679.
- [6] 李媛. 小波分析及其工程应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2010.
- [7] 刘雄飞, 郭爽, 李长庚, 等. 非均匀噪声分布心电信号的奇异值小波消噪法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2009(5): 1374.