

一种冗余小波变换的心电信号噪声消除方法

王发牛,程志友,梁 栋,王 年

(安徽大学 计算机智能与信号处理教育部重点实验室,安徽 合肥 230039;

安徽大学 电子科学与技术学院,安徽 合肥 230039)

摘 要:平稳小波变换去除心电信号噪声较好抑制了小波空间适应法消噪产生的伪 Gibbs 现象,但其重建过程相对复杂。提出对受噪声污染的心电信号移位一次,将移位信号及原信号分别进行正交小波变换阈值去噪,以它们的平均作为去噪结果。实验表明可以获得与平稳小波变换相同的去噪效果,但算法实现更简单快速。

关键词:心电信号;平稳小波变换;冗余小波变换;去噪

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2006)11-0199-02

An ECG Signal Denoising Method Based on
Redundant Wavelet Transform

WANG Fa-niu, CHENG Zhi-you, LIANG Dong, WANG Nian

(Ministry of Education Key Lab. of Intelligent Computing and Signal Processing, Anhui Univ., Hefei 230039, China;

Department of Electronics Science & Technology, Anhui Univ., Hefei 230039, China)

Abstract: Stationary wavelet transform used for removing ECG signal noises can reduce pseudo-Gibbs phenomena induced by wavelet threshold denoising, however its reconstruction isn't simple. Propose performing wavelet threshold on ECG itself and its right shifting version, their averaging is the denoising result. Experiment shows good denoising result can be obtained just as stationary wavelet transform method can get. Proposed algorithm can be easily implemented, and it runs fast.

Key words: ECG; stationary wavelet transform; redundant wavelet transform; denoising

0 引言

心电信号(ECG)在采集过程中由于受肌电等高频信号干扰,常叠加高斯白噪声,要进行正确的参数测量,必须抑制噪声,提高信噪比。因此,噪声去除是心电信号处理分析的一个重要关键步骤,要求抑制噪声的同时能较好保持心电信号的重要几何特征。通常采用的低通滤波方法,在有效消除噪声的同时,也会模糊细节信息,造成P、Q、R、S、T波幅度衰减。小波变换作为信号处理的一种有力手段,在信号处理领域得到了重要应用。小波变换根据信号与噪声在不同尺度上的特性,选取不同阈值进行去噪,更适用于对具随机性、非平稳性的ECG信号噪声去除^[1,2]。小波空间适应法^[3]对ECG信号消噪,克服了传统滤波方法的不足,但消噪后在信号奇异点附近容易产生伪Gibbs振荡现象,破坏心电信号的几何特征。文献[2]采用平稳小波变换^[2,4]进行心电信号噪声消除,克服了小

波空间适应法的弱点,进一步改善了去噪效果。

平稳小波变换是一种非抽样的小波变换,特点是变换系数间具有冗余性,能提高去噪效果,但实现过程、数据结构相对复杂。文中通过增加对ECG的移位信号处理,增加小波变换系数冗余性,取得与平稳小波变换相同的去噪效果。在实现上该方法相对简单,去噪过程也速度更快。这里对文中方法、小波空间适应法和平稳小波变换法ECG信号去噪分别做了实验。

1 平稳小波变换心电信号噪声消除

小波变换进行信号去噪通常分为3步:1)输入信号进行离散小波变换;2)对小波系数进行阈值处理;3)进行逆小波变换,得到去噪信号。

用 $X(n) = W[x(n)]$ 代表 $x(n)$ 的离散小波变换,去噪处理表示为:

$$\hat{x}(n) = D[x(n)] = W^{-1}[\Delta_r[W[x(n)]]] \quad (1)$$

式中 Δ_r 是阈值处理操作,有硬阈值和软阈值两种方式。小波变换最广泛采用的是正交小波变换,即小波空间适应法(WT)消噪。正交小波变换前后数据点数不变,数据间是非冗余的,消噪后的信号在奇异点附近易产生伪Gibbs振荡现象。为了减少伪Gibbs现象,常采用软阈值处理。

收稿日期:2006-02-28

基金项目:安徽省高校青年教师科研资助项目(05020413)。

作者简介:王发牛(1973-),男,安徽铜陵人,讲师,研究方向为信号处理与模式识别;梁 栋,教授,博士生导师,研究方向为计算机视觉与信号处理等。

平稳小波变换(SWT)是在正交小波变换基础上提出的一种小波变换方式,是非正交的小波变换。对于平稳小波变换过程,记 H 和 G 分别为正交小波变换低通滤波器和高通滤波器,其滤波器系数分别为 h_j 和 g_j 。 Z' 为补零插值算子,则 $H^{[r]}$ 和 $G^{[r]}$ 的滤波器系数分别为 $Z'h$ 和 $Z'g$,即在 h_j 和 g_j 的每两个系数间补 $2^r - 1$ 个零。若原始信号序列为 f_k ,令 $a_0 = f_k$, $H^{[0]} = H$, $G^{[0]} = G$,则对信号的平稳小波变换分解为:

$$\begin{cases} a_{j+1} = H^{[j]} a_j \\ d_{j+1} = G^{[j]} a_j \end{cases} \quad (2)$$

式(2)表明平稳小波变换分解过程中没有下抽样操作,每次平稳小波变换的逼近信号和细节信号长度同原信号长度相同,系数间是非正交的,具有冗余性。

记 D_ϵ 为对序列的下抽样算子, $\epsilon = 0$ 时,表示偶位置上的下抽样, $\epsilon = 1$ 时,表示奇位置上的下抽样。平稳小波变换的逆变换过程为:令 $d_j(\epsilon_1, \dots, \epsilon_j)$ 为对平稳小波变换逼近信号 a_j 依次进行 $D_{\epsilon_1}, \dots, D_{\epsilon_j}$ 的 j 次下抽样后的信号。 $d_j(\epsilon_1, \dots, \epsilon_j)$ 为对平稳小波变换细节信号 d_j 依次进行 $D_{\epsilon_1}, \dots, D_{\epsilon_j}$ 的 j 次下抽样后的信号。当 $\epsilon_{j+1} = 0$ 时,

$$R_0^{[j]}(a_{j+1}, d_{j+1}) = H^* a_{j+1}(\epsilon_1, \dots, \epsilon_j, \epsilon_{j+1}) + G^* d_{j+1}(\epsilon_1, \dots, \epsilon_j, \epsilon_{j+1}) \quad (3)$$

当 $\epsilon_{j+1} = 1$ 时,

$$R_1^{[j]}(a_{j+1}, d_{j+1}) = H^* a_{j+1}(\epsilon_1, \dots, \epsilon_j, \epsilon_{j+1}) + G^* d_{j+1}(\epsilon_1, \dots, \epsilon_j, \epsilon_{j+1}) \quad (4)$$

上式中 H^* 和 G^* 是正交小波滤波器 H 和 G 的对偶算子,则平稳小波变换的逆变换为:

$$a_j(\epsilon_1, \dots, \epsilon_j) = \frac{1}{2} [R_0^{[j]}(a_{j+1}, d_{j+1}) + R_1^{[j]}(a_{j+1}, d_{j+1})] \quad (5)$$

由上述过程可见信号平稳小波变换的逆变换重建过程是对变换系数的奇、偶序列分别重建,然后求平均。文献[2]采用平稳小波变换进行 ECG 噪声消除,表明能很好地抑制小波空间适应法消噪产生的伪 Gibbs 振荡现象,较好地保持信号的时域特征。但是平稳小波变换的分解和重建过程相对复杂,另外阈值处理步骤通常要采用对高频细节信号各层各自进行噪声方差估计。

2 冗余小波变换心电图信号噪声消除

由平稳小波变换分解式(2)可知,变换系数间冗余性来自于取消了正交小波变换的 Mallat 快速金字塔算法[5]中下抽样操作,多尺度分解通过对滤波器系数的补零来实现。令 $c_0(n)$ 是信号的离散采样数据,对 $c_0(n)$ 一次正交小波分解,即经过滤波器 H ,再进行 D 下抽样,表示为:

$$c_1 = DHc_0 \quad (6)$$

下抽样 D 可以是偶位置下抽样,也可以是奇位置下抽样。以奇位置下抽样为例,则序列 c_1 是滤波器输出 Hc_0 的奇数位序列,相对于平稳小波变换一次分解少了 Hc_0 的

偶数位序列(记为 c_e)。如果对原信号 $c_0(n)$ 进行一次向右的循环移位,再进行式(6)的正交小波分解,那么正好得到前面 Hc_0 的偶数位序列。因此得到了一种与平稳小波变换类似的冗余小波变换方法,即分解是对 $c_0(n)$ 及其移位一次信号的正交小波分解(小波系数分别为 c_1 和 c_e)。对于重建逆变换来说,是 c_1 和 c_e 分别重建的平均。在对 c_e 进行正交小波逆变换后,再进行一次反向(向左)循环移位,与 c_1 重建信号平均,即得到原信号。

心电信号多种多样,有些心电信号 QRS 波峰形尖锐,且 Q, R 波幅度较小,小波空间适应法消噪后容易产生 Gibbs 振荡现象,采用以下对心电信号的噪声消除方法。记信号是被噪声污染的心电信号, $n \in [0, N-1]$,以 S_1 代表对其循环右移一位, $(S_1 x)_n = x_{n+1 \bmod N}$,逆操作循环左移一位为: $(S_1)^{-1} = S_{-1}$,去噪步骤如下:

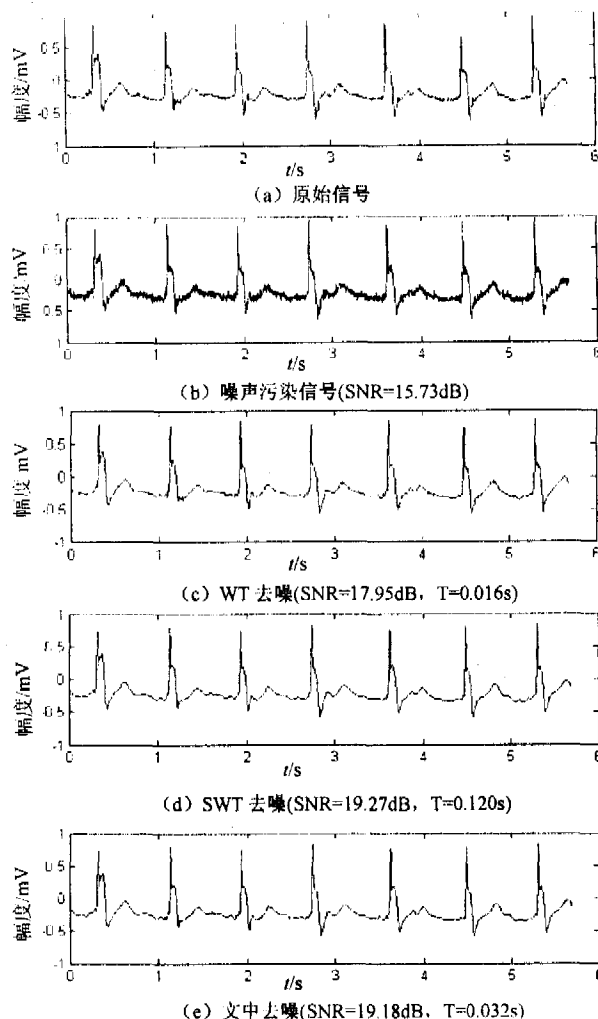


图 1 不同方法去噪结果比较

- 1) 对信号 x_n 进行小波空间适应法去噪,结果为 \hat{x}_n ;
- 2) 对信号 $(S_1 x)_n$ 进行小波空间适应法去噪,结果为 \hat{x}_e ;
- 3) 输出 $(\hat{x}_n + (S_1)^{-1} \hat{x}_e) / 2$ 作为去噪结果。

小波变换进行信号去噪,对各层细节信号并不关心数据间位置关系,只需对各系数采取阈值处理。由此文中方

(下转第 203 页)

端软件会对数据进行处理,还原成现场设备运行的状态图,供公司的技术人员调用、参考,为电梯客户提供服务。

图 2 为客户端和服务端应用程序的简要流程图。

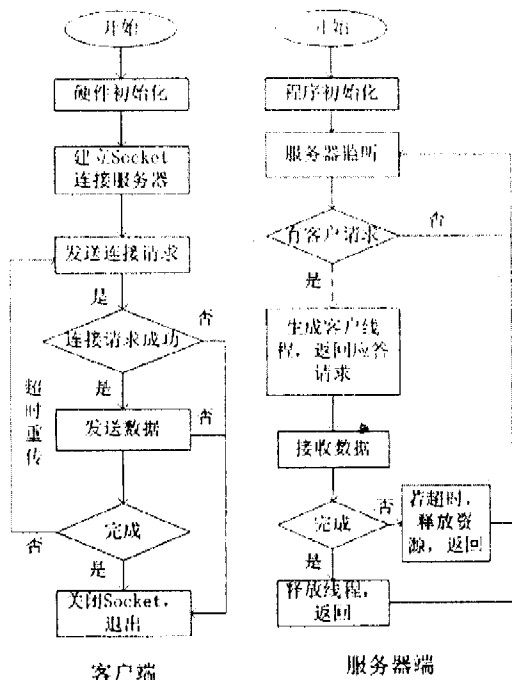


图 2 系统软件简单流程

3 结束语

GPRS作为新一代无线通讯方式,覆盖面广,可靠性高,投入、维护运行成本低,数据传输延迟短,扩展性强。基于 GPRS 无线电梯远程监控系统,客户端利用 Socket 连接到已知 IP 的公网中的服务器,公网中的服务器对客户的连接进行监听。并可随时对电梯运行状态进行监控,及时处理故障报警。这套系统的应用,不但可以解决因复杂地理环境使得数据无法传输及设备监控问题,而且可以达到节约运行费用、提高数据应用率及监控服务水平的目的。

参考文献:

- [1] 王志勤. GSM 系统的数据业务[J]. 电信技术, 1995(8): 8-11.
- [2] 刘德勇, 朱明富. 基于 Internet 的远程协作故障诊断系统技术[J]. 现代电子技术, 2001(12): 23-25.
- [3] 许克滨, 陈 新. 一种基于 GPRS 网络的 GPS 数据传输系统的实现[J]. 福州大学学报, 2004(10): 541-546.
- [4] 王 强. 远程监控系统的应用与研究[D]. 南京: 河海大学, 2003.
- [5] 袁 辉, 刘亚文, 邵 飞. C++ Builder 网络编程核心技术[M]. 北京: 机械出版社, 2003.

(上接第 200 页)

法本质上同平稳小波变换应当是等价的,都是滤波器输出系数的奇偶序列分别重建的平均。因而在噪声消除上能起到相同的抑制伪 Gibbs 振荡作用,但该方法显然具有简单的实现形式,只包括信号移位和常用的小波空间适应法,对信号的循环移动通过内存地址改变只涉及对信号首尾的操作。

3 实验结果

分别对小波空间适应法(WT)、平稳小波变换方法(SWT)和文中方法做了去噪实验比较。对一原始心电信号(取自 MIT 心电信号数据库)加入白噪声,滤波器选择 Symmlet7 小波滤波器,对污染信号进行 4 层小波变换,对低频信号保持不变,各层细节信号采用软阈值处理。图 1 是去噪结果、信噪比(SNR)及运行时间 T(1.2GHz Pentium III CPU)情况。可见文中方法与平稳小波变换去噪效果基本相同,时间效率优于平稳小波变换。

4 总 结

文中提出应用冗余小波变换去除心电信号噪声,将心

电信号及其移位信号分别进行正交小波变换阈值去噪,以它们的平均作为去噪结果,实验结果表明该方法能取得与平稳小波变换基本相同的去噪效果。其实现相对容易,所需时间少于平稳小波变换方法,因此文中方法适合于心电信号的噪声消除。

参考文献:

- [1] 李光林, 吕维雪. 基于小波变换的心电信号的分析与处理[J]. 浙江大学学报, 1998, 32(1): 82-87.
- [2] 高清维, 李海鹰. 基于平稳小波变换的心电信号噪声消除方法[J]. 电子学报, 2003, 31(2): 238-240.
- [3] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage[J]. Biometrika, 1994, 81(3): 425-455.
- [4] Nason G P, Silverman B W. The stationary wavelet transform and some statistical applications in wavelet and statistics. Lecture notes in statistics[M]. [s. l.]: Springer Verlag, 1995: 281-299.
- [5] Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Transaction on PAMI, 1989, 11(7): 674-693.

欢迎刊登广告, 电话: (029)85522163