

· 研究原著 ·

文章编号 1000-2790(2005)09-0852-03

基于自适应滤波的心电图中呼吸信号的提取方法

席涛 杨国胜 汤池 焦腾 (第四军医大学生物医学工程系电子学教研室 陕西 西安 710033)

Method for deriving respiratory signal from ECG signal based on adaptive filtering

XI Tao, YANG Guo-Sheng, TANG Chi, JIAO Teng

Department of Electronics, School of Biomedical Engineering, Fourth Military Medical University, Xi'an 710033, China

【Abstract】 AIM: To design a new method to extract the respiratory signal from the ECG signal by adaptive filtering based on the recursive least-square (RLS) algorithm. **METHODS:** After processing the ECG signal, we selected the R-wave amplitude sequence and the R-R interval sequence as the primary input and the reference input of the adaptive filter based on the recursive least-square (RLS) algorithm to estimate the respiratory signal. **RESULTS:** The estimated respiratory signal obtained by the adaptive filter showed well pertinence in time domain and frequency domain to the real respiratory signal. **CONCLUSION:** The method for deriving respiratory signal from ECG signal based on the adaptive filtering is well designed and the result is reliable. It is a highly efficient, non-invasive and low-cost approach for the respiration detection.

【Keywords】 respiration detect; ECG signal; adaptive filtering; RLS algorithm

【摘要】 目的: 利用基于递归最小二乘(recursive least-square, RLS)算法的自适应滤波器对心电图信号进行滤波, 提取心电信号中的呼吸信号。方法: 通过对常规的肢体导联心电图检测设备获取的心电信号进行处理, 提取心电图特征信号 R 波幅度序列和 R 波间期序列作为自适应滤波器的原始输入信号和参考信号, 通过 RLS 算法的自适应滤波, 提取心电图中调制的呼吸分量。结果: 经过时、频域分析, 自适应滤波后估算出的呼吸信号与真实的呼吸信号在时域和频域都显示出了良好的相关性。结论: 本方法设计合理, 结果准确可靠, 是一种简便高效、无创、低成本的呼吸监护手段。

【关键词】 呼吸检测; 心电图信号; 自适应滤波; 递归最小二乘法

【中图分类号】 R318.13 **【文献标识码】** A

收稿日期 2004-12-30; 修回日期 2005-01-27

作者简介: 席涛(1977-)男(汉族)陕西省西安市人, 硕士生(导师杨国胜)。Tel: (029)83374845 Ext. 807 Email: xt771225@163.com

0 引言

心电图是临床诊断心血管疾病一项重要的无创检查方法。大量临床资料显示, 动态心电信号常伴有严重的基线漂移, 其频率范围一般在 0.05 ~ 2.00 Hz 之间。由于其与心肌缺血和心肌梗死的主要判定依据的心电信号 ST 段和 Q 波频率分量接近, 为避免误诊, 这类噪声通常作为无用信息被滤除掉^[1]。近年来研究发现, 心电图中心率和 QRS 波群表现出的周期性波动主要是因为呼吸运动的影响。这是由于呼吸周期内, 描述心脏电波主要传播方向的心脏电轴旋转造成 QRS 波群形态发生了变化。呼吸同样也会导致心率的显著波动, 吸气时心率加速, 呼气时心率减缓。也就是说, 心电图中作为噪声被滤除掉的部分包含有呼吸信息, 这就为我们通过对心电信息的分析研究获取呼吸信号的方法提供了事实依据。本研究拟用基于递归最小二乘(recursive least-square, RLS)算法的自适应滤波器对心电图信号进行滤波, 以获取调制于其上的呼吸信号。

1 方法

1.1 自适应滤波 自适应滤波是近 30 a 来发展起来的信号处理方法, 广泛应用于系统辨识、回波消除、自适应谱线增强、自适应信道均衡、语音线性预测、自适应天线阵等诸多领域中。当输入信号的统计特性未知或者变化时, 自适应滤波器能够自动地迭代调节自身的滤波器参数, 以满足某种准则的要求, 从而实现最优滤波^[2,3]。Fig 1 给出了自适应滤波器的一般原理框图。其中 k 为迭代次数, $x(k)$ 表示输入信号, $y(k)$ 为自适应滤波器输出信号, $d(k)$ 定义了期望信号。误差信号 $e(k)$ 可以根据 $d(k) - y(k)$ 计算得出。为了确定滤波器系数的适当更新方式, 利用误差信号构造一个自适应算法所需的性能函数(或者目标函数)。目标函数的最小化意味着在某种意义上, 自适应滤波器的输出信号与期望信号实现了匹配。

1.2 利用 RLS 算法自适应滤波提取调制于心电信号中的呼吸信号 RLS 算法源自于最小方差的方法, 其目的在于选择自适应滤波器的系数, 使观测期间的输出信号 $y(k)$ 与期望信号在最小二乘的意义上最匹

配。经过验证,呼吸信号对 R 波间期 (R-R) 时间序列和 R 波幅度 (RW) 时间序列的作用是附加的,它的传播路径等价为一个线性滤波器。而且 R-R 时间序列和 RW 时间序列中的噪声成分互不相关,它们与呼吸信号也不相关。因此,本研究中设计的自适应滤波器以 R-R 序列作为原始输入, RW 序列作为参考信号,试图消除两个序列中相关的成分使方差最小化为 $MSE = [e_k^2]$,从而估算出调制于心电信号之上的呼吸信号。

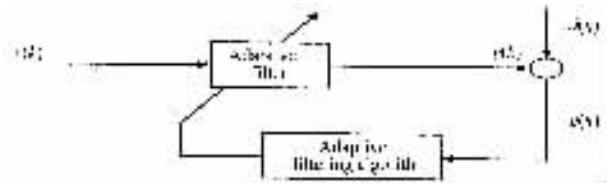


Fig 1 Functional block diagram of the adaptive filtering algorithm
图 1 自适应滤波原理框图

Fig 2 为对心电信号进行自适应滤波以提取呼吸信号的原理图。在我们的应用中自适应滤波器被作为有限长冲激响应 (FIR) 滤波器。滤波器 (估算信号) 的输出 y_k 给出如下:

$$y_k = W_k^T X_k \quad (1)$$

$X_k^T = [X_{0k} \dots X_{L-1k}]$ 是输入序列长度为 L 的向量, 而 $W_k^T = [w_{0k} \dots w_{L-1k}]$ 是 L 阶权重的自适应滤波器系数向量, 它们刻画出了滤波器传递函数的性质。

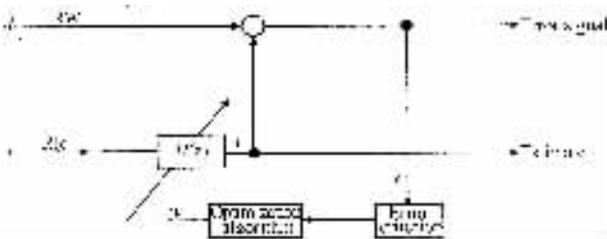


Fig 2 Functional block diagram of the RLS adaptive filtering algorithm for respiratory signal derivation from ECG signal
图 2 RLS 自适应滤波法提取心电信号中呼吸信号原理图

误差信号的公式如下:

$$e_k = d_k - y_k = d_k - W_k^T X_k$$

因此, MSE 可以被表示为如下形式:

$$MSE = E[e_k^2] = E[(d_k - W_k^T X_k)^2] \quad (2)$$

RLS 算法引入误差信号的加权平方和

$$\epsilon_k = \sum_{i=1}^k \lambda^{k-i} e_i^2 \quad (3)$$

这里 $e_i = d_i - W_k^T X_i$, 参数 λ 为指数加权因子, 其值选择在 $0 < \lambda \leq 1$ 范围内。该参数也称为遗忘因子, 因为过去的信息对系数的更新来说, 其可忽略程度是不断

增加的。

由于每一个误差是由期望信号和最近采用的系数 W_k 得到的滤波器输出之差所组成, 所以通过逐次迭代并将 ϵ_k 对 W_k 进行求导, 可以得到最优系数向量 RLS 算法逐次更新系数向量 W_k 为:

$$W_k = [\sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} X_i X_i^T]^{-1} \sum_{i=0}^k \lambda^{k-i} X_i d_i \quad (4)$$

并因此使得误差在每次迭代过程中都被重新计算和优化。当均方差 $E[e_k^2]$ 达到极小时, 滤波器的输出 y_k 将趋近于真实的呼吸信号。

2 结果

采用的心电信号由 LMS-2B 型二道生理记录仪进行肢体导联检测, 真实的呼吸信号由束缚在受试者胸部的压电传感器获得, 信号采集系统采用 12 位精度的 USB 接口数据采集卡, 采样频率为 1 kHz。检测对象为 26 岁健康男子, 信号在其静止坐立、自由呼吸情况下进行采集。

本研究方法首先应对收集到的原始心电信号进行简单预处理, 滤除高频噪声以及工频干扰。然后通过对心电信号进行数据处理, 通过设定阈值的方法分别提取出 RW 间期序列数据和 RR 序列数据作为原始输入信号和参考信号。最后再分别对原始信号和输出信号作 FFT 变换, 在频域对信号进行频谱分析, 检验估算结果和算法效果 (Fig 3, 4)。

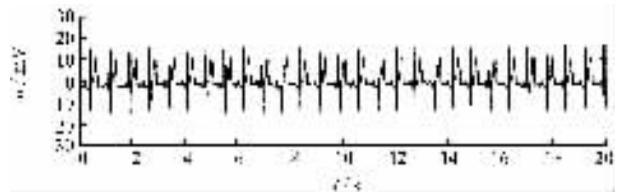


Fig 3 ECG signal 图 3 原始心电图信号

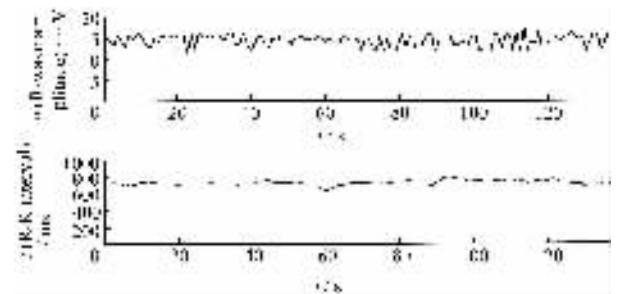
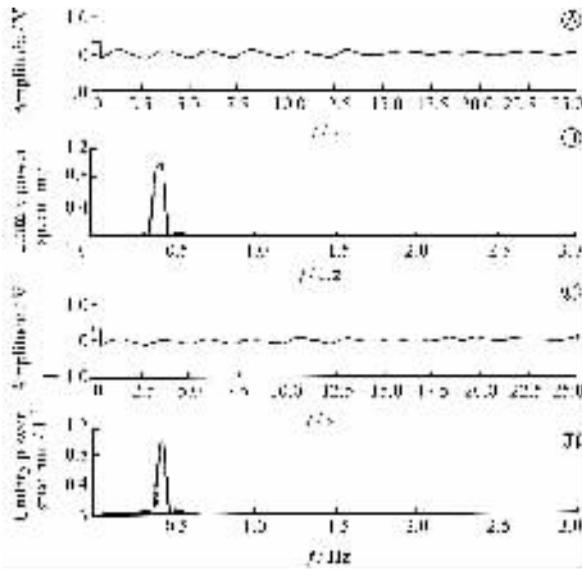


Fig 4 Waveform of the R-wave amplitude sequence and the R-R interval sequence

图 4 R 波幅度波形和 R 波间期波形

从 Fig 5 可以看出, 在滤波器输出端获得的由心电图分析得到的呼吸信号与真实的呼吸信号显示出

了良好的相关性,其频谱与真实信号的频谱在同样的频点上显示了主峰值,也证明了滤波器输出与呼吸信号的一致。



A: Waveform of the real respiratory signal in time domain; B: Waveform of the real respiratory signal in frequency domain; C: Waveform of the estimated respiratory signal in time domain; D: Waveform of the estimated respiratory signal in frequency domain.

Fig 5 Comparison of the real respiratory signal and the estimated respiratory signal

图5 真实呼吸信号与估算呼吸信号的对比

3 讨论

呼吸行为对于心脏和循环系统有很重要的影响,人体呼吸的监测对于临床诊断具有非常重要的作用。自适应滤波技术是获取由心电图提取呼吸信号的一项有力的工具。采用自适应滤波设计,能自动跟随实际噪声信号频率变化,克服传统滤波器滤波频率固定的不足,参考输入信号直接取自原始 ECG 信号,不必另外添加测量电极,降低硬件成本。更为重要的是,当呼吸信号无法直接获取时,它为传统的心电图分析甚至是长期 Holter 监护记录提供了新的临床信息。

【参考文献】

- [1] 李小燕,王涛,冯焕清,等. 基于小波变换的自适应滤波器消除 ECG 中基线漂移[J]. 中国科学技术大学学报, 2000; 30(4): 450-454.
Li XY, Wang T, Feng HQ, et al. Removal of ECG baseline drift using adaptive filter based on wavelet transform [J]. *J Chin Univ Sci Technol*, 2000; 30(4): 450-454.
- [2] Paulo S. R. Diniz. *Adaptive filtering: Algorithms and practical implementation* (Second Edition) [M]. Peking: Publishing House of Electronics Industry, 2004: 121-143.
- [3] 邹艳碧,高鹰. 自适应滤波算法综述[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2002; 1(2): 44-50.
Zou YB, Gao Y. A summary of adaptive filtering algorithms [J]. *J Guangzhou Univ (Nat Sci Edition)*, 2002; 1(2): 44-50.

编辑 王雪萍

· 经验交流 · 文章编号 1000-2790(2005)09-0854-01

微创大隐静脉曲张刨吸术 24 例的护理

范雪玲,李彩会

(河北省人民医院普外二科,河北石家庄 050051)

【关键词】静脉曲张;微创刨吸术;护理

【中图分类号】R473.6;R654.4 【文献标识码】B

1 临床资料 我院血管外科从 2004 年初至今开展微创大隐静脉曲张刨吸术 24(男 20,女 4)例,年龄 38~72(平均 55)岁,均为单纯性下肢浅静脉曲张,病变位于双侧 9 例,单侧 15 例,术后无一例发生急性蜂窝组织炎,深静脉血栓,下肢功能障碍,肢体麻木等严重并发症,均痊愈出院,效果满意。术前检查包括血常规、生化、凝血酶原时间、胸片、心电图、下肢浅静脉造影、深静脉通畅试验、四肢多普勒等。

2 讨论 因微创大隐静脉曲张刨吸术是新开展手术项目,针

收稿日期 2004-08-25; 修回日期 2004-09-13

作者简介 范雪玲(1972-),女(汉族),河北省石家庄市人,大专,主管护师,护士长。Tel.(0311)3626489

对血管手术的特殊性,医护人员应多次耐心仔细与患者交谈,详细说明手术方法,术前准备与术中配合的必要性,解除患者紧张恐惧心理。因烟碱对血管有收缩作用,应告诉嗜烟患者坚持戒烟。术前需测定凝血功能,测定血小板计数,出凝血时间及凝血酶原时间,同时了解患者有无出血倾向或血友病史,作为术后进行抗凝治疗参考依据及预防术后出血。对下肢静脉曲张伴有水肿疼痛者,术前应将肢体抬高 30°,以利静脉、淋巴回流,减轻肿胀疼痛。严格准备手术区皮肤,肥皂水清洗下肢、腹股沟及会阴部,更换病员服。对下肢静脉曲张并发慢性小腿溃疡者,术前应加强创面换药,严格加以包扎,治愈后再行手术。患者术毕用弹力绷带加压包扎伤口 48 h,同时抬高患肢 30 度,卧床制动 1 wk,严密观察患肢远端的皮肤温度、颜色、感觉和脉搏搏动的情况,密切观察患者体温及伤口渗出情况,如伤口渗出较多时应及时更换敷料,如伤口出现红肿,应及时使用红外线照射,并合理应用有效抗生素控制感染。

该手术操作简便,切口面小,患者痛苦轻,恢复快且效果好,具有治疗与美体的双重功效^[1]。

【参考文献】

- [1] 符国伟,徐欣,王玉琦,等. 微创刨吸术治疗静脉曲张 22 例报告[J]. 中国实用外科杂志, 2003; 23(1): 59.

编辑 潘伯荣