

基于EEMD消除ECG基线漂移的新算法

◆ 彭云

摘要: 本文基于集成经验模式分解(EEMD)和小波阈值滤波,选取几个高阶IMF作小波阈值滤波处理,然后再进行信号的重构,提出了一种更为精确地消除心电图(ECG)基线漂移的新算法。采用MIT-BIH数据库中的心电数据对该算法进行验证,验证了该方法相对于其他方法能够更为精确地消除ECG中的基线漂移。

关键词: 心电图;基线漂移;集成经验模式分解;小波阈值;去噪

概述

心电图(ECG)是一种被广泛用来检测心脏病的现代技术。然而ECG信号十分微弱,在采集时往往伴随着很强的噪声干扰。在各种噪声中对影响最大的是基线漂移噪声^[1]。目前国内外已出现了多种方法来滤除基线漂移噪声。较为常见的高通滤波器滤波法^[2],其最大缺点是使心电波形的ST段发生较大的形变。中值滤波算法能够很好的滤除脉冲噪声并且具有保护信号的细节信息优势,但是需要不断地调节滤波滑动窗的宽度,否则其降噪结果会带来心电信号畸变。基于经验模式分解(EMD)^[3]算法在矫正心电信号的基线漂移噪声中有较好的成效,但是EMD分解存在严重的模式混叠现象。因此,本文提出了一种基于集成经验模式分解(EEMD)小波阈值滤波的降噪算法,此算法相对于其他算法可以有效地和精确地去除基线漂移噪声。

一、集成经验模式分解算法

EMD通过一定的筛选过程自适应地将信号分解成有限个固有模态函数(IMF)。然而实际信号中往往会叠加脉冲干扰或者间歇性成分等异常事件,导致EMD存在模式混叠现象。为解决EMD存在的模式混叠现象,Wu和Huang提出了一种整体经验模式分解^[4](EEMD)概念,它是一种噪声辅助的信号处理方法。在信号中加入的高斯白噪声不但可以平滑脉冲干扰,而且能提供一个均一化的相关尺度分布,使得经EEMD分解后,不同时间尺度的IMF自动分布到合适的参考尺度上。

二、EEMD阈值滤波去除基线漂移

传统的EEMD去噪算法是将最后几个高阶IMF尺度置零,通过重构剩下的IMF来消除基线漂移,其结果会造成心电图波形严重的失真。因此,本文提出一种利用类似小波变换中的硬(软)门限去噪方法,对最后几个高阶IMF分量作门限阈值处理,更为精确地滤除ECG中的基线漂移,并有效地保持了心电信号的细节信息。

2.1小波阈值函数的选取 本文采取Donoho等人^[5]提出的软阈值方法作为IMF处理门限,其表达式为

$$\lambda_i = \sigma_i \sqrt{2 \log(N)} \quad (1)$$

其中, N为IMF的长度, σ_i 为第i层IMF分量的噪声水平,其定义为

$$\sigma_i = \text{Med}_i / 0.6745 \quad (2)$$

其中, Med_i 为第i层IMF分量的绝对中值,其表达式为:

$$\text{Med}_i = \text{Median} \{ |C_i(t) - \text{Median}(C_i(t))| \} \quad (3)$$

第i层IMF分量 $C_i(t)$ 的估计值为

$$\hat{C}_i(t) = \begin{cases} \text{sign}(C_i(t))(|C_i(t) - \lambda_i|), & |C_i(t)| > \lambda_i \\ 0, & |C_i(t)| < \lambda_i \end{cases} \quad (4)$$

2.2EEMD阈值滤波去噪算法。本文将小波软阈值与EEMD相结合来去除ECG信号的基线漂移干扰,其算法步骤如下:

(1) 设定含基线漂移干扰的ECG信号 $X(t)$,经EEMD分解后得到有限个IMF分量 $C_i(t)$,

$$X(t) = \sum_{i=1}^{N+1} C_i(t) \quad (5)$$

式(5)中, $C_{N+1}(t)$ 表示分解后的余项。

(2) 确定IMF阈值滤波的阶数。由于基线漂移的频率范围在0.05HZ ~ 2HZ之间,因此可对最后4层IMF做傅里叶变换,若其中心频率在基线漂移范围之间,则对此层IMF做软阈值处理,得到新的IMF,记作 $W_j(t)$ 。

(3) 重构剩余的 $C_i(t)$ 和 $W(C_j(t))$ 得到降噪后的信号

$$\tilde{X}(t) = \sum_{i=1}^{K-1} C_i(t) + \sum_{j=K}^{N+1} W_j(t) \quad (6)$$

其中, K表示开始对IMF做阈值滤波的阶数。

三、实验结果与分析

本文截取MIT-BIH Arrhythmia Database^[6]中一段比较干净的心电信号和MIT-BIH noise stress test^[7]数据库中所提供的真实基线漂移信号bw叠加作为原始信号。含噪的心电信号表达式如下: $F(t) = S(t) + BW(t)$ (7)

其中, $S(t)$ 为MIT-BIH 心率失常数据库中103.dat前2000个采样点数据作为干净的心电信号。 $BW(t)$ 为截取MIT-BIH noise stress test数据库中所基线漂移信号bw的一段2000个采样点数据,其信噪比为0.5211dB。

本次试验取集成的次数M为100,增加的信噪比为4dB的高斯白噪声,选取IMF8、IMF9以及残余项Res作阈值滤波处理得到新的IMF分量,最后将所有的IMF重构。为了验证

该算法的有效性,分别采用中值滤波算法、小波变换算法、EMD算法^[4]对原始信号进行处理。

表 1: 四种去噪算法的性能比较

算法名称	SNR(dB)	ρ	MSE
中值滤波	1.1546	0.7574	0.1602
小波变换	1.6851	0.8523	0.1257
EMD 阈值	0.9207	0.7455	0.1648
EEMD 阈值	1.8056	0.8496	0.1265

通过计算信噪比、均方根误差和互相关系数来比较以上四种去噪算法的效果。表1详细地列出了含噪心电信号处理结果,其中SNR为去噪后信号的信噪比,MSE为信号去噪后的均方误差, ρ 为去噪后的信号与原始信号的互相关系数。

表1数据表明,基于EMD阈值去噪算法,由于EMD分解存在严重的模式混叠,其去噪效果最差。中值滤波算法效果不理想,其原因在于滑动窗口的选择直接影响去噪效果。本文提出的算法在对高阶IMF作小波阈值处理,相比于小波变换算法算法,其自适应性不仅避免了小波基函数选择的困

难,并且降噪后的信噪比得到明显的改善。

四、结束语

本文提出的EEMD阈值滤波去除ECG信号基线漂移的算法,对真实的基线漂移干扰具有较好的滤除效果,基本上不失真地保留了信号的其他信息。

□

参考文献

- [1]王林泓.动态心电信号分析系统的研究[D].重庆大学,2002.
 - [2]Manuel B.V,Binwei W,Kenneth E.B..ECG signal denoising and baseline wander correction based on the empirical mode decomposition[J].Computers in Biology and Medicine,2008,38: 1-13.
 - [3]Manuel B.V,Binwei W,Kenneth E.B..ECG signal denoising and baseline wander correction based on the empirical mode decomposition[J].Computers in Biology and Medicine,2008,38: 1-13.
 - [4]Wu, Z. H., Huang, N. E.. Ensemble empirical mode decomposition: A noise-assisted data analysis method[J].Adv Adapt Data Anal 2009,1(1): 1-41.
 - [5]Donoho D L,De-Noising by Soft-Thresholding [J].IEEE Trans Inform Theory,1995,41(3): 613-627.
 - [6]MIT - BIH心率失常数据库[EB/OL],http://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb.
 - [7]MIT - BIH噪音测试数据库[EB/OL],http://www.physionet.org/physiobank/database/nstdb.
- (作者单位: 国家知识产权局专利局专利审查协作广东中心)

(上接127页)

Liang等研究了一个多时段、多产品、有生产和库存能力约束的生产—库存—配送问题,需求随机,考虑了配送计划中的路径问题,建立了具有概率约束的随机规划模型,并设计了混合智能优化算法求解该问题^[8],仿真分析表明,集成优化方法可减少配送次数、配送车辆和总的车辆行驶距离,使得配送费用大为降低,并且有效减少了延期交货的情况,降低了系统总成本;随着问题规模的增大,集成优化策略的效果更为显著。

三、结论及研究展望

综上所述,有关生产—库存—配送的集成化优化问题的研究已引起学者和管理者们的关注,相关的模型也得到了不断的改进。然而很多问题的研究是在理想化的约束条件下进行的,得到的结论的实用价值也有很大的局限性,所以,相关问题的研究仍需进一步深入开展。

现实中存在很多的随机因素,如何有效控制不确定性因素对物流系统的影响,科学合理的度量和处理这些因素,研究随机环境下的集成优化问题是需要继续深入研究的问题之一。其次,实际生产运作涉及很多环节,从实用角度出发,尽可能多的考虑物流系统中各种因素,特别是将逆向与正向物流集成化考虑,建立高度集成的数学模型,也是值得研究的问题。

□

参考文献

- [1]Benjamin J.An Analysis of Mode Choice for Shippers in a Constrained Network with Applications to Just-in-time Inventory[J].Transportation Research B 24B,1990(3): 229-245.
- [2]Pyke DF,Cohen MA.Performance Characteristics of Stochastic Integrated Production—distribution Systems[J].European Journal of Operational Research,1993,68(1): 23-48.
- [3]Chan Felix T.S.,Chung S.H..Multi Criterion Genetic Optimization for Due Date Assigned Distribution Network Problems[J].Decision Support Systems.2005,39(4): 661-675.
- [4]Ozdamar L,Yazgac T.A hierarchical planning approach for a production—distribution system[J].International Journal of Produc,37(16): 3759-3772.
- [5]Barbaroso G,zgür D.Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system[J].European Journal of Operational Research,1999,118(3): 464-484.
- [6]Dogan K,Goetschalckx M.A primal decomposition method for the integrated design of multi-period production—distribution systems[J].IIE Transactions,1999,31(11): 1027-1036.
- [7]Chandra P,Fisher M L.Coordination of production and distribution planning[J].European Journal of Operational Research,1994,72(3): 503-517.
- [8]梁春华,周泓,赵健.一种求解供应链环境下生产—配送问题的集成优化方法[J].控制与决策,2011(1): 27-31.

(本文是天津市哲学社会科学研究规划项目(编号: TJGL12-079)的研究成果之一)

(作者单位: 侯玲娟,天津师范大学管理学院;侯志江,天津理工大学图书馆)