

一种基于经验模式分解的心电QRS波检测方法

李向军

(中国计量学院信息工程学院 杭州 310018)

【摘要】讨论了一种信号分析法——经验模式分解法,用于检测心电信号中QRS波的可行性和有效性,并提出了相应的检测算法。实验结果表明,适当选择心电信号在经验模式该方式分解后的内在模函数,特别是其高频分量,可有效地抑制或缓解各种主要噪声干扰,使用简单算法即可分离QRS波的特征点。该方法经标准心电信号进行有效验证,获得了较高的准确率。

关键词 检测算法; 经验模式分解; 内在模函数; QRS波
中图分类号 TP274 **文献标识码** A

A QRS Detection Algorithm Based on the Empirical Mode Decomposition

LI Xiang-jun

(College of Information Engineering, China Jiliang University Hangzhou 310018)

Abstract The possibility and efficiency of a way by the Empirical Mode Decomposition (EMD), a recently popular signal analysis method, to check the position of QRS in an ECG is discussed in this paper. The result displays that the high frequency parts of Intrinsic Mode Functions (IMF) in the ECG are effective to separate the feature point of QRS from the ECG. That is verified by standard signals and the accurate rate is relatively high.

Key words detect algorithm; empirical mode decomposition; intrinsic mode function; QRS complex

在心电信号的自动分析技术中, QRS波群的检测与定位是关键问题。准确可靠的QRS波群检测, 不仅为诊断心律失常提供重要依据, 而且在此基础上才有可能确定P波、ST段等参数, 计算心率及心率变异性, 为进一步分析心电的其他细节信息奠定基础^[1]。作为生物电信号代表的心电信号, 以其复杂性和实用性成为各种信号处理方法应用的重要领域。从常用的心电QRS波群检测算法可见大多数已知信号处理方法的踪影, 从早期基于模拟电路的硬件算法, 到数字技术和计算机技术发展后的各种软件算法。在心电信号的QRS波群检测算法中, 最有效的方法是将待测信号在时域或频域进行适当变换, 以分离或加强QRS分量, 抑制各种噪声干扰, 再进行判决定位。其发展也随着信号处理理论的发展, 经历了滤波器法^[2]、小波分析法^[3]、滤波器组法^[4]等变化, 基于心电信号时频变换的QRS波检测方法在该领域研究中具有重要意义。

传统滤波器检测法实际上是建立在信号的傅里

叶分析方法基础之上的检测算法, 主要部分都对心电信号进行一种单一尺度的全局变换, 有些完全在时域, 有些完全在频域, 不能揭示作为非平稳的心电信号的时频局域性质, 所以其准确率很难再获得进一步提高。多尺度时频分析方法——小波分析法可以改善以上不足。适当选择基本小波, 可以同时显示信号在时域和频域中的整体和局部化特征, 使其在识别信号中的突变成份方面具有很大优势。因此许多科研人员将其用于提高QRS波检测算法的准确性和心电信号特征点标定的研究, 取得了很好的效果, 使算法的准确率达99.8%以上^[3]。但小波变换计算量较大, 实时算法的实现还存在困难。而且由于小波分析本质上是一组可调的窗口傅里叶变换, 在分析识别信号前应选择合适的小波基函数。而识别心电这类非线性非平稳信号时, 如何选择一个小波基函数是一个难题, 缺乏自适应性是小波分析的主要缺陷。

经验模式分解(Experimental Mode Decompositi-

on, EMD)的信号处理方法^[5]受到人们的关注。时间序列的信号经过EMD,分解成一组本征模函数(Intrinsic Mode Function, IMF),分解基来自信号本身,具有自适应性,而不是像傅里叶变换将信号分解成先验的正弦或余弦函数。该方法在地震信号分析、机械振动分析和生物医学信号处理^[6-8]等领域的研究中都取得了成果。由于各种干扰和本身产生机制的原因,心电信号是典型的非线性、非稳态信号,但其P波、QRS波群以及T波等又具有很强的局部尺度特征。由于EMD的分解基来自信号本身,有很强的自适应性,非常适合对心电信号进行分析,提取诸如QRS波群等时间尺度的局部特征信息。本文通过具体的数据分析,提出一种以EMD分解信号为预处理的信号的QRS波检测方法,探讨EMD方法在心电QRS波群检测方面应用的可行性和有效性。

1 EMD方法的基本原理

EMD分解方法是将待处理信号(常为非平稳、非线性信号)在时域范围内分解成一组有限的稳态和线性的子信号序列集,即若干IMF的集合。IMF是满足以下条件的一系列数据:(1)整个数据段内,极值点和过零点数目必须相等或相差不多。(2)在任何时间点上,由局部极大点构成的包络线和局部极小点构成的数据包络线的平均值为零。

每一IMF所包含的频率成分不仅与采样频率有关,而且随信号本身变化而变化,因此EMD方法是自适应的信号处理方法,非常适合处理非线性和非平稳过程。显然大多数信号不是IMF分量,任何时刻信号中可能包含不只一个IMF分量。因此,必须将信号分解为IMF信号的集合,即根据数据集的极大值和极小值使用三次样条插值来实现EMD分解,具体过程如下:(1)确定原始信号待处理时间段内数据集 $X(t)$ 的局部极大值集 X_{\max} 和极小值集 X_{\min} 。(2)分别根据 X_{\max} 和 X_{\min} 作三次样条插值,以确定 $X(t)$ 的上包络和下包络,使 $X(t)$ 完全处于上下包络之间。(3)根据上下包络,求出 $X(t)$ 的局部均值 $m_{11}(t)$ 。除去该包络线所代表的低频成分的数据序列,即原始信号与局部极值的差值,记为 $h_{11}(t) = X(t) - m_{11}(t)$ 。(4)以 $h_{11}(t)$ 代替 $X(t)$ 重复以上步骤,直到 $h_{1,k-1}(t)$ 与 $h_{1,k}(t)$ 之间的方差小于某一设定值,即 $h_{1,k}(t)$ 是一个IMF分量,则令 $c_1 = h_{1,k}(t)$, $r_1 = X(t) - h_{1,k}(t)$, $X(t) = r_1$ 。其中, c_i 是信号中频率最高部分的分量。(5)重复以上步骤,直到 r_n 或 c_n 比预定值小,或剩余函数 $r_n(t)$ 变成单调函数时,原

始信号的EMD分解结束,得到 $X(t) = \sum_{i=1}^n c_i + r_n$ 。由

此可获得频率成分从高到低的 n 个IMF模式分量,以及最后的残余信号。经验模式分解是基于信号的局部时间特征尺度分析原信号,克服了傅里叶变换用高次谐波频率分量拟合非线性、非平稳信号的缺点。

2 基于EMD心电QRS检测方法及其应用分析

文献[8]将EMD以及Hilbert变换应用于ECG分析领域,在心率变异性分析上的应用取得了良好的效果。通过对ECG信号直接进行EMD分解,可知特性尺度的IMF也非常适合用于QRS波探测。图1所示为一个受到工频干扰、肌电干扰心电信号片断及其EMD分解后的几个IMF分量。由图可知,在EMD分解后的高频分量中,特别是一次高频分量 I_1 中对基线漂移等低频干扰都进行了有效抑制,而QRS波所处位置的分量非常明显,其他微弱的高频干扰被平稳化,不会对R波检测造成很大的影响。虽然R波的特征周期通常约为17 Hz,其瞬时频率和幅度却很高,这样具有很高瞬时幅频的QRS波群就分配到IMF的高频分量中。而且QRS波群的位置,特别是R波的位置又不失真,只要使用较为简单的阈值判决算法,就可以确定QRS波群的位置。

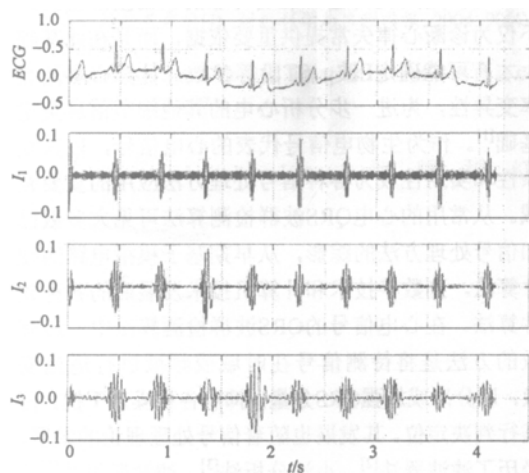


图1 受到工频、肌电和呼吸等干扰的心电信号与其IMF分量

在QRS波检测中的另一类困难是克服病人心电图本身由于疾病发生的畸变,如QRS波群突然减小、变形的T波或P波与QRS波的相似性等问题。当对心电信号进行EMD分解时, I_1 能分解出QRS波群而抑制变形的P波或T波,如图2所示。

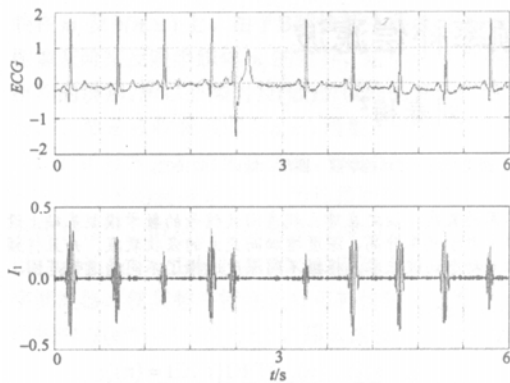


图2 IMF高频分量对心率失常中改变T波的抑制

由图可以看出,对心电信号进行EMD分解后,IMF的高频分量对各种干扰和心电信号本身由于生理原因产生的畸变,有较好的抑制和缓解作用,能够准确分离出QRS波群,可作为定位QRS波群的预处理信号。为了进一步验证这种可能性,本文设计了一个简单自适应幅度判决算法,应用设定适当的阈值和不应期等检测策略,对取自MIT/HIB心律失常标准数据库的样本心电信号,经EMD分解后的 I_1 进行R波检测,并给出了检测结果的分析。该幅度判决算法如下:1)初始化:心拍数为 $b=0$,心拍位置数组为 $P[b]$,装入待测心电信号的 I_1 分量为 S 。2)设定门限值:设心跳次数小于300次/min,标准采样频率为360 Hz/s,向前寻找处于同一心拍的72个点的绝对均值 M ,并设 $A=2M$ 为门限值。3)检测心拍和心拍位置:(1)第一个大于 A 的数据 S_i 到来,则一个心拍开始,即 $b=1$, $P[1]=i$ 。(2)下一个大于 A 的数据 $S[i']$ 到来,首先判断是否与上一个大于 A 的数据 S_i 的距离是否大于72。如果小于则属于同一个心拍,反之大于72,表示第二个心拍到来,即 $b=2$, $P[2]=i'$ 。然后向前寻找72个点的绝对均值来更新 A 。(3)重复步骤(2)直到数据末尾,计算结束。

使用EMD方法对MIT/HIB标准心电数据进行QRS波检测,结果如表1所示。该方法具有很高的准确率,达到99.2%以上,定位也比较精确。由此可证明使用EMD方法提取心电信号特征值的有效性。

表1 使用EMD方法对MIT/HIB标准心电数据进行QRS波检测的结果

数据文件	心拍/个	漏峰/个	假峰/个	检出率/(%)	正确率/(%)
100	2 274	3	4	99.82	99.87
101	1 874	10	17	99.46	99.10
102	2 192	33	25	98.49	98.85
103	2 084	5	6	99.76	99.71
104	2 311	20	31	99.13	98.66
总计	10 735	71	83	99.22	99.21

3 讨论

由于心电信号波形的复杂性和肌电干扰、基线漂移等各种类型噪声的存在及生理上的变异性,使QRS波群的定位问题难以得到圆满解决,而用设计的信号处理算法,对心电信号进行时域或者频域的线性或者非线性的变换来增强QRS波信号,抑制各种噪声干扰是很有效的方法,成为各种有效检测算法的核心部分。经验模式分解及Hilbert变换是近来流行的多尺度时频分析方法,在具有小波算法多尺度分析优势的同时,更具有自适应性。本文的实验结果显示经验模式分解在QRS波群检测领域具有应用潜力,值得进一步进行研究。

参考文献

- [1] DASKALOV I K, CHRISTOV I I. Electrocardiogram signal preprocessing for automatic detection of QRS boundaries[J]. Medical Engineering and Physics, 1999, 21: 37-44.
- [2] TOMPKINS W J. Biomedical digital signal processing[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993.
- [3] LI Cui-wei, ZHENG Chong-xun, YUAN Chao-wei. Detection of ECG characteristic points using wavelet transforms[J]. IEEE Trans. on BME, 1995, 42(1): 21-28.
- [4] AFONSO V X, TOMPKINS W J. ECG beat detection using filter banks[J]. IEEE Trans. BME, 1999, 46(2): 192-202.
- [5] HUANG N E, SHEN Zheng, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proc of the Royal Society of London, 1998, 454(A): 903-995.
- [6] CH L. Application of the empirical mode decomposition-Hilbert spectrum method to identify near-fault ground-motion characteristics and structural responses[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2001, 91: 1339-1357.
- [7] 胡劲松, 杨世锡, 周方洁, 等. 旋转机械振动信号基于EMD的HT和Winger分布时频分析比较[J]. 汽轮机技术, 2003, 45(10): 336-338.
- [8] ECHEVERRIA J C. Application of empirical mode decomposition to heart rate variability analysis[J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 2001, 39: 471-479.