

黄变换的穿越筛分法

张 勇^{1,2}, 陈 滨¹

(1. 电子科技大学电子工程学院 成都 610054; 2. 江西财经大学电子学院 南昌 330013)

【摘要】基于黄变换提出了一种分解非线性、非平稳时间序列的穿越筛分方法,该方法先搜索到信号的局部极值点,然后定位出相邻局部极值点间的穿越点,最后使用三次样条对穿越点列插值,可近似得到信号的包络中值。通过实例比较分析了穿越筛分法与黄变换的经验模态分解方法,筛分结果表明该方法简单有效,可以从观测时间序列中筛分出较好的各阶固有模态函数。

关键词 穿越筛分法; 包络中值; 经验模态分解; 固有模态函数
中图分类号 TN911.23 文献标识码 A

Crossing Sifting Method Based on Huang Transform

ZHANG Yong^{1,2}, CHEN Bin¹

(1. School of Electronic Engineering, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054;
2. School of Electronics, Jiang Xi Univ. of Finance & Economics Nanchang 330013)

Abstract Crossing sifting method is developed based on Huang transform, which is used for analyzing nonlinear and non-stationary time series. The novel method can obtain the approximate mean of signal upper and lower envelopes directly by interpolating the crossing series using cubic spline function. After finding the local extrema of time series, the crossing series can be located by neighbor extrema. The empirical mode method of Huang Transform and new method are compared through several examples. The simulation results show the new method is a simple and valid one, and it can decompose a signal into some satisfying intrinsic mode functions.

Key words crossing sifting method; envelopes mean; experiential mode demodulation; intrinsic mode function

黄变换是一种分析非线性、非平稳时间序列的方法^[1],已应用于地震、海洋、生物医电、设备健康诊断、图像和语音等非平稳实测数据的分析中^[1-7]。经验模态分解方法是黄变换的核心内容,它将信号序列筛分为一般有限个固有模态函数,再借助希尔伯特变换得到其时频能谱。

当一个信号的包络中值处处为零时,称为固有模态信号或固有模态函数。经验模态分解方法通过反复计算信号与其包络中值的差,依次求出各阶固有模态函数。在寻求信号包络中值时,需要找出信号序列的局部极大值点列和局部极小值点列,可借助三次样条函数插值得到信号的上下包络,进而求出上下包络的平均值,即包络中值。这个过程需要进行2次三次样条插值运算,比较费时。本文提出了一种穿越筛分法,只需1次三次样条插值就可以求出信号的包络中值。

1 穿越筛分方法

相邻两个极值点之间的中值点称为穿越点。穿

越筛分法首先遍历原始信号序列找出局部极值点序列,不需区分极大值和极小值,相邻极值点的中值即为穿越点的值。穿越点的时刻点往往不是原始序列的时刻点,通过穿越点所在的时间间隔内左右数据点的贡献比定位其时刻点,得到信号的穿越点列后,借助三次样条函数插值可直接求出信号的包络中值,然后按照与黄变换的经验筛分方法相同的方法,依次筛分出各阶固有模态函数。

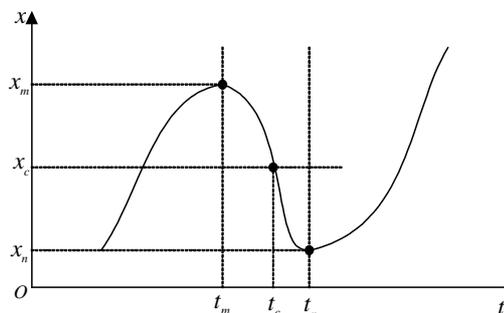


图1 定位穿越点的图解方法

收稿日期: 2005-04-06

作者简介: 张 勇(1975-),男,博士,主要从事混沌信号处理方面的研究。

如图1所示,对于任一组相邻的极值点 $x_m(t_m)$ 、 $x_n(t_n)$,若寻求它们之间的穿越点 $x_c(t_c)$,应首先求解 x_c 的值,即 $x_c = 0.5(x_m + x_n)$ 。然后以纵坐标大小为 x_c 作时间轴的平行线与曲线 $x(t)$ 的交点为穿越点,对应的时间坐标 t_c 为穿越点的时刻。

用靠近边界处的两个穿越点作镜像,可得到边界处的穿越点。

在得到穿越点序列后,对该序列使用三次样条插值即可求得信号的包络中值,然后按照与黄变换相同的筛分方法即可筛分出各阶固有模态函数。具体过程如下:

(1) 求出输入信号 $X(t)$ 的穿越点序列,对序列使用三次样条插值方法得到信号的包络中值 $m_0(t)$,即 $h_1(t) = X(t) - m_0(t)$ 。如果 $h_1(t)$ 的包络中值处处为零,则为第一阶固有模态函数,即 $c_1(t) = h_1(t)$;如果 $h_1(t)$ 不满足固有模态函数的条件,将 $h_1(t)$ 视为输入信号,求 $h_1(t)$ 的包络中值 $m_1(t)$,即 $h_2(t) = h_1(t) - m_1(t)$ 。依此类推可得: $h_k(t) = h_{k-1}(t) - m_{k-1}(t)$,直到 $h_k(t)$ 满足固有模态函数的条件,即 $c_k(t) = h_k(t)$, $c_k(t)$ 为第一阶固有模态函数。

(2) 令 $X(t) - c_1(t)$ 为新的输入信号,重复(1)的过程,可以得到第二阶固有模态函数 $c_2(t)$ 。

(3) 继续分解下去,可以依次得到各阶固有模态函数 $c_3(t)$ 至 $c_n(t)$ 和一个剩余趋势项 $r_n(t)$,将输入信号筛分为:

$$X(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t) \quad (1)$$

式中 $r_n(t)$ 的波动幅度很小。

2 实例分析

用3个实例对比分析穿越筛分法和黄变换的经验模态分解方法,分析结果分别如图2~图9所示。

实例 1:

$$X(t) = \cos(2\pi(5 + 0.1t)t) + \exp(-0.2t)\cos(2\pi 20t) + 0.5t + 0.5t^2 \quad (2)$$

实例 2: 分析Rossler方程式的X分量为:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = -(Y + Z) \\ \frac{dY}{dt} = X + \alpha Y \\ \frac{dZ}{dt} = \beta + Z(X - \gamma) \end{cases} \quad (3)$$

式中 $\alpha = \beta = 0.2$; $\gamma = 3.5$; $\{X(0) \ Y(0) \ Z(0)\} = \{-2 \ 3 \ 0\}$ 。

实例 3: 分析受迫的van der Pol方程为:

$$\frac{d^2X}{dt^2} + \mu(X^2 - 1)\frac{dX}{dt} + X = \gamma \sin(2t) \quad (4)$$

式中 $\mu = 2.0$; $\gamma = 0.3$; $X(0) = X'(0) = 1.0$ 。

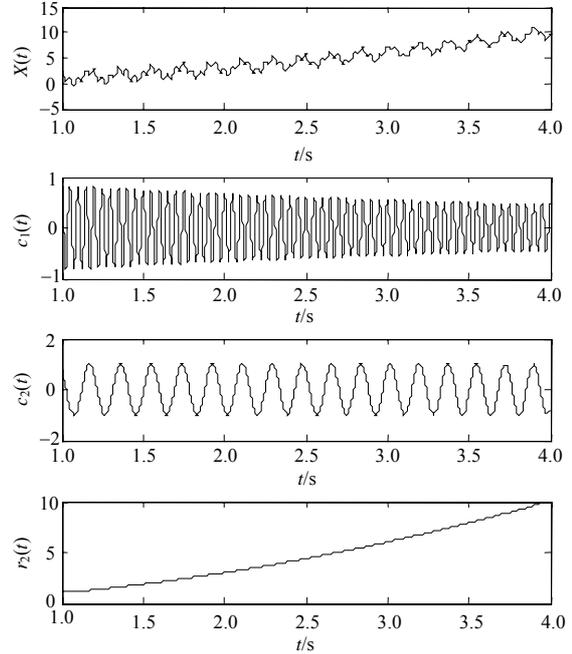


图2 实例1黄变换的筛分结果

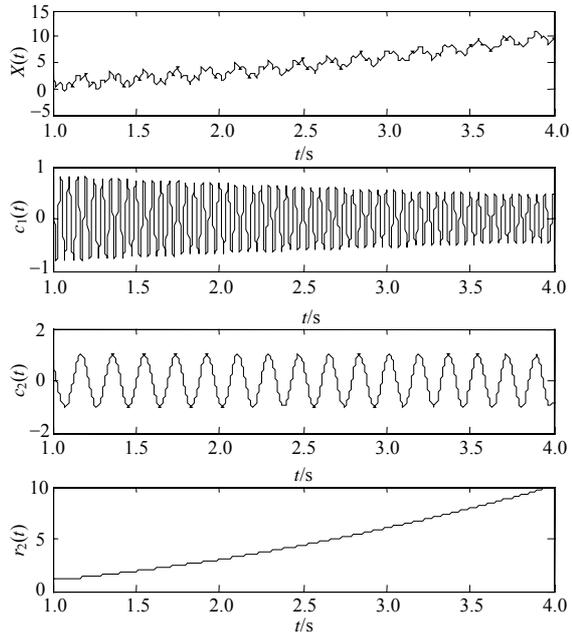


图3 实例1穿越筛分法的分解结果

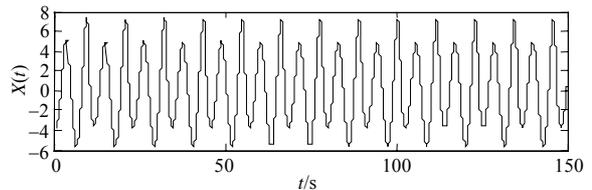


图4 实例2式(3)的X分量

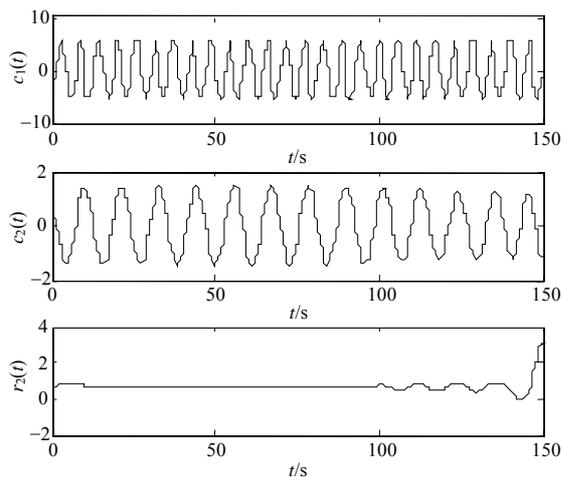


图5 实例2黄变换筛分式(3)X分量的结果

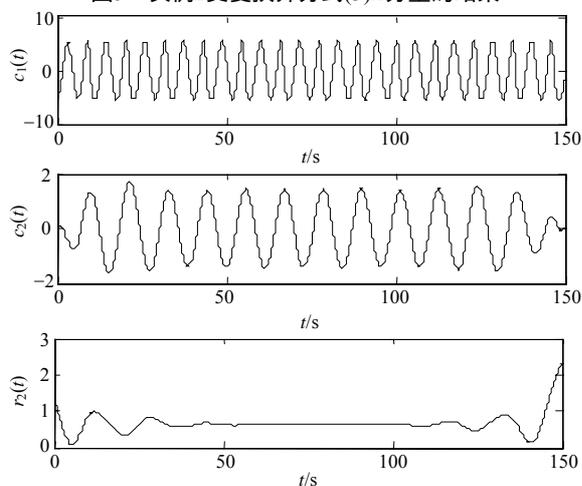


图6 实例2穿越筛分法分解式(3)X分量的结果

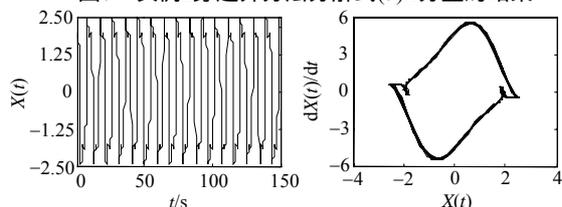
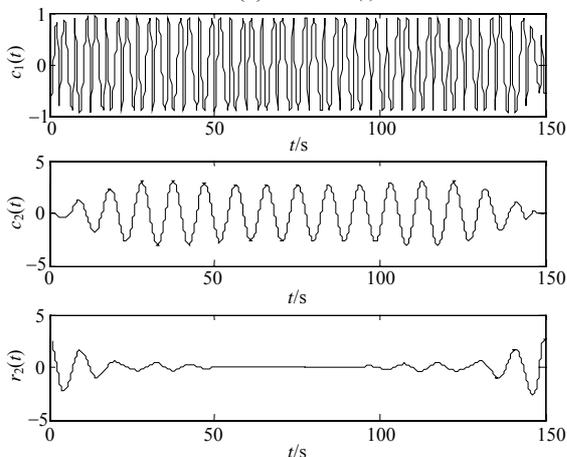
图7 实例3式(4)的信号 $X(t)$ 及其相图

图8 实例3黄变换筛分的结果

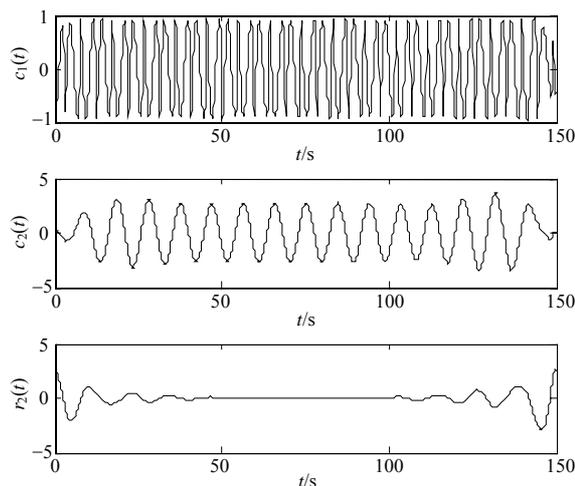


图9 实例3穿越筛分法分解的结果

从图2~图9可以看出,穿越筛分法可以得到与黄变换的经验模态分解方法近似的结果,由于采用了不同的边界处理方法,在边界处有细微的差别。

3 结束语

通过实例验证,本文提出的穿越筛分法每步只需要1次三次样条插值,可得到与黄变换的经验模态分解方法相当的效果,具有一定的推广应用价值。

参考文献

- [1] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear non-stationary time series analysis[C]// Proc. R. Soc., London, 1998, A 454: 903-995.
- [2] CHEN Yang-bo, FENG M Q. A technique to improve the empirical mode decomposition in the Hilbert-Huang transform[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2003, 2(1): 75-85.
- [3] HUANG Da-ji, ZHAO Jin-ping, SU Ji-lan. Practical implementation of Hilbert-Huang Transform algorithm[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 22(1): 1-14.
- [4] SHI Chun-xiang, LUO Qi-feng. Hilbert-Huang transform and wavelet analysis of time history signal[J]. Acta Seismologica Sinica, 2003, 16(4): 422-429.
- [5] HUANG N E, ZHENG Shen, STEVEN R L. A new view of nonlinear water waves: the Hilbert spectrum[J]. Annu. Rev. Fluid. Mech., 1999, 31: 417-457.
- [6] CHEN Chau-huei, LI Cheng-ping, TENG Ta-liang. Surface-wave dispersion measurements using Hilbert-Huang transform[J]. TAO, 2002, 13(2): 171-184.
- [7] AIBENNA D V. Wave and group transformation by a Hilbert spectrum[J]. Coastal English Journal, 2002, 44(4): 283-300.

编辑 黄莘