

# 基于 EMD 的脉冲星信号消噪算法

刘 劲,马 杰,田金文

LIU Jin,MA Jie,TIAN Jin-wen

华中科技大学 图像所 多谱信息处理技术国家重点实验室,武汉 430074

Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence State Key Laboratory for Multi-spectral Information Processing Technologies,Huazhong University of Science and Technology,Wuhan 430074,China

E-mail:majie.hust@sohu.com

LIU Jin,MA Jie,TIAN Jin-wen.Algorithm of pulsar signal de-noising based on EMD.Computer Engineering and Applications,2008,44(20):212-214.

**Abstract:** In order to improve the signal-to-noise of the pulsar signal,an algorithm of pulsar signal de-noising based on Empirical Mode Decomposition(EMD) is proposed.EMD method decomposes pulsar signal into a group of Intrinsic Mode Functions (IMF).Aim to the problem that the effect of EMD threshold de-noising is unstable,when IMF is de-noised,variance of near signal is used to obtain the level of noise,and adaptive threshold is used.Signal with noise is de-noised with low pass filter.The simulation results show that compared with EMD threshold de-noising,the proposed algorithm can achieve higher SNR and be stable.

**Key words:** pulsar;Empirical Mode Decomposition(EMD);de-noising

**摘 要:** 为了提高脉冲星辐射信号的信噪比,提出了一种基于经验模态分解(EMD)的脉冲星信号去噪算法。利用经验模态分解将信号分解为一组固有模态函数(IMF)。针对 EMD 阈值消噪算法性能不稳定这一问题,该算法滤除固有模态函数噪声时,利用相邻信号标准差作为噪声水平的判断准则,并采用自适应阈值,对于噪声含量较高的信号采用低通滤波器消噪。实验结果表明,与 EMD 阈值消噪方法相比,该算法能获得更高的信噪比,并具有较好的稳定性。

**关键词:** 脉冲星;EMD;消噪

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2008.20.064 文章编号:1002-8331(2008)20-0212-03 文献标识码:A 中图分类号:TN911

脉冲星是一种高速自转并具有强磁场的中子星,具有稳定的脉冲周期,许多脉冲星的空间位置、自行、距离、自转周期及导数、自转的初始相位等天体测量和天体物理参数都被精确测定。由于脉冲星能够同时提供时间和空间位置坐标,近年来,利用空间脉冲星网络的航天器导航系统的研究开发受到重视<sup>[1-2]</sup>。但是,脉冲星与地球之间的距离一般在几十万到几百万光年,脉冲信号在传播过程中不可避免地会受到空间介质、宇宙辐射等干扰,接收到的脉冲信号较弱。因此,脉冲星信号的消噪是脉冲星导航应用的前提。

经验模态分解(Empirical Mode Decomposition,EMD)<sup>[3-4]</sup>是 Huang N E 等人提出的处理非线性非平稳信号的时频分析方法,基于信号自适应地从高频到低频逐次分解,获得一组固有模态函数(Intrinsic Mode Function,IMF)。该算法不但具有多分辨分析的优点,而且克服了需要选择基函数的困难。已有学者将经验模态分解应用于信号去噪。这些方法将信号分解后,在小尺度固有模态函数上作门限阈值处理<sup>[5-7]</sup>。但是,当信号占主

要成分时,即使信号幅值较小,利用阈值法消噪也会造成重构信号较大失真。在不同信噪比下,IMF 的噪声含量变化较大,因此,使用 EMD 阈值去噪需根据信噪比选择消噪尺度。然而,脉冲星信号的信噪比变化较大,脉冲星信号消噪算法必须具有较高的稳健性,消噪效果不能依赖于阈值和消噪尺度的选择。

为了解决以上问题,本文提出了一种稳健的 EMD 去噪算法。一般来说,当噪声含量较高时,相邻信号的标准差较大。因此,本文利用相邻信号标准差作为判断准则,采用低通滤波器滤除噪声,在消噪的同时能较好地保留有用信号。在小尺度固有模态函数上,噪声含量较高;反之,噪声含量较低。本文采用自适应阈值,阈值与 IMF 的两个性质相关:尺度和该尺度 IMF 标准差。这样,尺度越大,信号被平滑的比例越小。因此,该算法具有较好的稳健性,降低了对消噪尺度的依赖程度。

## 1 经验模态分解

经验模态分解方法<sup>[3-4]</sup>通过对信号进行分解,获得一系列固

基金项目:中国航天科技集团五院创新基金(No.CAST200629);863 创新基金(No.2006AAJ109)。

作者简介:刘劲(1981-),男,在读博士,主要研究领域为基于脉冲星的导航方法研究;马杰(1973-),男,博士后,副教授,主要研究领域为组合导航方法研究;田金文(1960-),男,博士,教授,博导,主要研究领域为组合导航,遥感信息处理。

收稿日期:2007-12-25 修回日期:2008-03-03

有模态函数。固有模态函数必须满足下列两个条件:

(1)在整个信号长度上,一个固有模态函数的极值点和过零点数目必须相等或者至多只相差一个。

(2)在任意时刻,由极大值点定义的上包络曲线和由极小值点定义的下包络曲线的平均值为零,也就是说固有模态函数的上、下包络线对称于时间轴。

对于给定的信号, Huang N E 所提出的经验模态分解方法如下:

首先,找出信号的极大值和极小值,通过三次样条拟合,从而获得信号的上包络曲线和下包络曲线,计算上、下包络曲线在每一点上的平均值,从而获得一个平均值曲线  $m_1$ , 设待分析的信号为  $x(t)$ , 则

$$x(t) - m_1 = C_1 \quad (1)$$

从理论上讲,  $C_1$  即为第一阶固有模态函数分量。

然后,从原始信号中减去  $C_1$  即可获得信号的逼近分量  $R_1$ :

$$x(t) - C_1 = R_1 \quad (2)$$

对  $R_1$  重复上面的过程, 就可以获得第二阶固有模态函数分量。通过经验模态分解方法对信号的一次次的分解, 就可以获得信号的多个固有模态函数分量和一个逼近分量  $R_n$ 。如果把分解后的各分量合并起来, 即可得到原始信号:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n C_i + R_n \quad (3)$$

上面的分解过程可以解释为尺度滤波过程, 每一个固有模态函数分量都反映了信号的特征尺度, 代表着信号的非线性非平稳信号的内在模态特征。

时间尺度滤波方式的优势是滤波后的结果能够充分保留信号本身所固有的非线性和非平稳特征。而且由于该方法是基于信号局部特征实现的, 因此具有自适应性强, 对数据类型没有限制的特点。

## 2 消噪算法

EMD 去噪算法的一般流程如下: 首先, 对脉冲星信号进行经验模态分解, 得到一组 IMF 信号; 然后, 处理各个 IMF 信号以消除噪声; 最后, 重构 IMF 得到去噪信号。传统 EMD 阈值去噪算法将小的 IMF 信号作为噪声消除, 在消噪的同时, 常将幅值小的有用信号也消除了。如果对消噪尺度判断不准确, 会破坏有用信号。为了解决这个问题, 本文算法采用以下两个策略:

(1) 根据相邻信号标准差判断噪声水平, 对含噪高的信号采用低通滤波器消噪。由于噪声水平较高时, 相邻信号的标准差较大; 反之, 标准差较小。因此, 标准差可作为噪声水平的判断准则。低通滤波器可在消噪的同时能保留小幅值信号。

(2) 选择自适应阈值。各个尺度 IMF 上噪声水平不同, 一般来说, 小尺度 IMF 上的噪声含量较高。本文采用自适应阈值, 阈值是一个随尺度增大而增大的系数和该尺度 IMF 标准差的乘积。这样, 小尺度 IMF 信号被平滑的比例较高。

本文算法具体步骤如下:

(1) 将含噪的脉冲星辐射信号进行经验模态分解, 得到  $n$  个 IMF 分量。

(2) 选择前  $l$  个 IMF 分量用于消噪, 并设置第  $i$  ( $1 \leq i \leq l$ ) 尺度的自适应阈值  $T_i$ :

$$T_i = \frac{(i-1)^2 \sigma_i}{n} \quad (4)$$

其中,  $\sigma_i$  表示第  $i$  尺度信号的标准差。

(3) 计算第  $i$  尺度 IMF 第  $j$  个信号相邻信号的标准差  $\sigma_i^j$ , 即计算第  $j-k \sim j+k$  个信号的标准差。

(4) 判断噪声水平, 若  $\sigma_i^j > T_i$ , 则表示噪声水平较高, 采用低通滤波器除去噪声。本文选择均值滤波器。

(5) 利用得到的  $n$  个 IMF 分量重构信号, 得到滤波后的脉冲星辐射信号。

## 3 仿真结果

本文选取脉冲星 B1953+29 辐射信号进行实验。脉冲星数据来自于 EPN 数据库 (the European Pulsar Network Data Archive)。脉冲信号经消息散后, 经过一段较长时间的累积, 辐射信号轮廓如图 1 所示。EMD 阈值去噪法采用软阈值<sup>[8]</sup>去噪。本文算法中  $k$  取 4, 即判断噪声含量时, 需计算 9 个相邻信号的标准差。两种算法均选取 7 个小尺度 IMF 用于消噪。

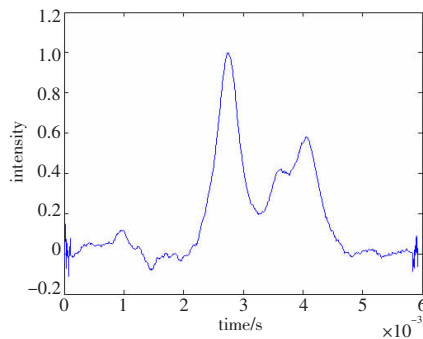


图1 脉冲星原始信号

在实验中, 将脉冲星辐射信号加入高斯白噪声。加噪信号、EMD 阈值去噪信号以及本文算法去噪信号如图 2~图 4 所示, 信噪比分别为 9.788 5 dB、14.347 3 dB、17.904 7 dB。从图中可以看出, 本文算法在消噪的同时较好地保留了有用信号, 而 EMD 阈值法在消噪的同时, 也消除了信号的高频细节, 造成了重构信号较大的失真。

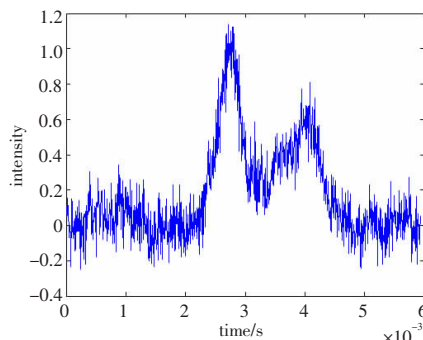


图2 脉冲星加噪信号

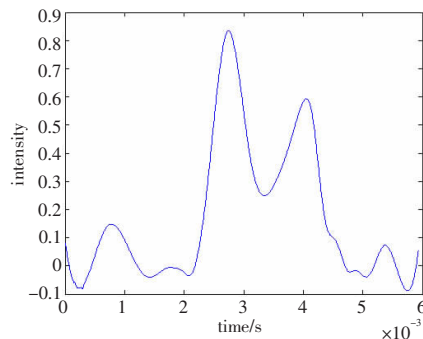


图3 EMD 阈值法去噪信号

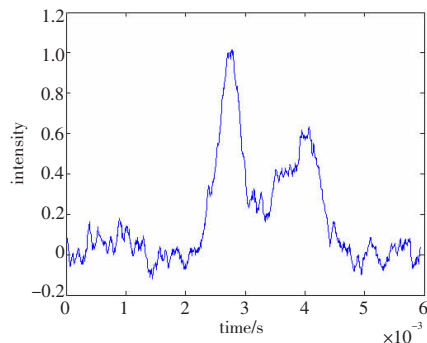


图4 本文算法去噪信号

图5给出了在不同信噪比下,本文算法与EMD阈值去噪算法的比较。当信噪比低时,EMD阈值去噪算法能有效提高信噪比,但是,如果信噪比高,EMD阈值去噪算法消除了有用信号,导致去噪效果变差,甚至会降低信噪比,此时需要调整消噪尺度。而本文算法在不同信噪比下都具有较为稳定的去噪效果,均能有效地提高信噪比。

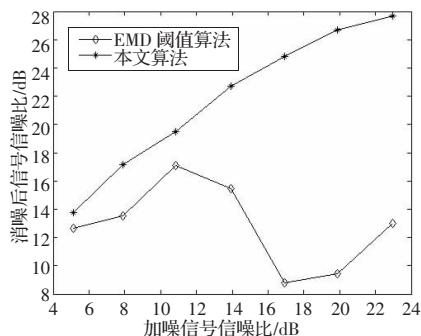


图5 在不同信噪比下,本文算法与EMD阈值去噪算法的效果比较

图6给出了信噪比为19.8680 dB,取不同消噪尺度时,本文算法与EMD阈值去噪算法的比较。从图6中可以看出,EMD阈值去噪算法的性能在很大程度上依赖于去噪尺度的选择,如果消噪尺度选择不当,甚至会降低信噪比。而本文算法性能相对较为稳定,选择不同的消噪尺度,均能将信噪比提高6 dB以上。

#### 4 结论

本文提出了一种基于经验模态分解的脉冲星信号消噪算法。该算法通过相邻信号标准差判断噪声水平,并采用低通滤

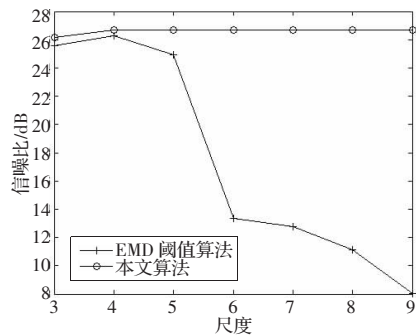


图6 在不同消噪尺度下,本文算法与EMD阈值去噪算法的效果比较

波器去噪,可在保留有用信号能量的前提下有效地去除噪声。采用自适应阈值,阈值与固有模态函数的两个性质(尺度和该尺度固有模态函数的标准差)相关。这样,算法具有较高的稳健性,对消噪尺度的依赖程度很低,在不同信噪比下,该算法均能有效提高脉冲星信号的信噪比。

#### 参考文献:

- [1] Harson J E.Principle of X-ray navigation[D].Dept of Aeronautics and Astronautics,Stanford Univ,Stanford,CA,1996.
- [2] Sheikh S I,Pines D J,Ray P S,et al.Spacecraft navigation using x-ray pulsars[J].Journal of Guidance,Control,and Dynamics,2006,29(1):49-63.
- [3] Huang N E,Shen Z,Long S R,et al.The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-stationary time series analysis[C]//Proc Royal,Soc London,1998,454:903-995.
- [4] Huang N E,Long S R,Shen Z.A new view of nonlinear water waves:the hilbert spectrum [J].Annu Rev Fluid Mech,1999,31:417-457.
- [5] Boudraa A O,Cexus J C,Saidi Z.EMD-based signal noise reduction[C]//Proc World Academy of Science,Engineering and Technology,2004,2:122-125.
- [6] 王春,彭东林.Hilbert-Huang 变换及其在去噪方面的应用[J].仪器仪表学报,2004,25(4):42-45.
- [7] Tang Jing-tian,Zou Qing,Tang Yan,et al.Hilbert-Huang transform for ECG de-noising [C]//IEEE Proc Bioinformatics and Biomedical Engineering,2007:664-667.
- [8] Donoho D L.Denoising by soft-thresholding[J].IEEE Trans on Information Theory,1995,41(3):613-627.
- [9] 刘凯,黄峰,寇正.基于纹理和区域特征的台风卫星云图分割方法[J].计算机工程与应用,2004,40(33):219-220.
- [10] 刘凯,黄峰,罗坚.基于纹理特征的卫星云图台风自动识别方法[J].微型机与应用,2001(9):48-49.
- [11] Palaniappan K,Kambhamettu,Hasler A F,et al.Structure and semi-fluid motion analysis of stereoscopic satellite images for cloud tracking[C]//Proceedings of Fifth International Conference on Computer Vision,Massachusetts,1995:659-665.
- [12] Joe C H Poon,Chau C P,Ghadioli M.Using fuzzy mathematical morphology for locating tropical cyclone in satellite imagery[C]//1997 IEEE International Symposium on Circuit and Systems, Hongkong,1997:1353-1356.
- [13] 宋平,刘正光.数学形态学在卫星云图的处理中的应用[J].微机发展,1999(4):40-42.
- [14] 潘国洪,吕韶义.卫星云图处理技术[J].杭州电子工业学院学报,2003,23(1):66-70.
- [15] 刘凯,黄峰,罗坚.台风卫星云图分割方法研究[J].微机发展,2001(1):54-55.
- [16] 曾明剑,于波,周曾奎,等.卫星红外云图上台风中心定位技术研究和应用[J].热带气象学报,2006,22(3):241-247.
- [17] 刘正光,邱海明,吴冰,等.基于卫星云图的无眼台风中心定位算法[J].天津大学学报,2003,36(6):668-672.