采用 EMD 方法消除瞬态散射回波中的高斯白噪声干扰

陈东方[1], 吴先良[2]

(1. 武汉科技大学计算机学院, 湖北武汉 430081; 2. 安徽大学计算机工程学院, 安徽合肥 230039)

摘　要：　本文分析了用经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD) 方法处理非平稳噪声信号的基本原理, 并利用 EMD 方法有效地消除了高斯白噪声对瞬态散射回波的干扰. 文中以一人工合成瞬态回波为例, 对本方法的有效性作了检验.

关键词：　EMD; 瞬态散射回波; 高斯白噪声

中图分类号：　TN78　　文献标识码：　A　　文章编号：　0372-2112 (2004) 03-0496-03

Recovery of Signal from Transient Scattered Response Contaminated by Gaussian White Noise Based on EMD Method

CHEN Dong-fang[1], WU Xian-liang[2]

(1. College of Computer Science & Technology, Wuhan University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430081, China;

2. Institute of Computer Engineering, Anhui University, Hefei, Anhui 230039, China)

Abstract:　The theory of non-steady noisy signal processing based on EMD method is discussed, and this method is used to recover signal from transient scattered response contaminated by Gaussian white noise. The effectiveness of the proposed method is verified with a synthetic transient scattered response.

Key words:　EMD; transient scattered response; Gaussian white noise

1　引言

基于从目标瞬态散射回波信号中提取参数的目标识别方案要求接收的散射回波信号有很高的精确度, 而实际散射场测试系统中, 接收波又不可避免地受到各种噪声的干扰, 如白噪声、时间抖动噪声、局部高频化噪声等等. 因此, 在电磁场的目标识别领域, 如何去除各种噪声对散射回波的影响是一个具有重要意义的课题.

常用的散射回波信号去噪方法有傅里叶滤波、样条拟合[1] 和小波变换极大模算法[3,4] 等等. 傅里叶滤波算法在滤除高斯白噪声的同时也会滤除散射回波信号中十分重要的高频信息; 样条拟合方法可以较好地抑制高斯白噪声, 但同时会将无关信息引入散射回波信号; 小波变换极大模算法的主要缺点是准确度不高[4]. 文献[2]提出了采用频率紧支集正交小波基消噪的方法, 在很大程度上提高了消噪的效果.

经验模态分解方法(EMD) 和相应的 Hilbert 变换是由 Huang 等发展的一种新的数据分析方法[5]. 该方法从本质上讲是对一个信号进行平稳化处理, 其结果是将信号中不同尺度的波动或趋势逐级分解开来, 产生一系列具有不同特征尺度的数据序列, 每一个序列代表一个本征模函数(Intrinsic Mode Function, IMF) 分量. EMD 分解方法可以有效地提取一个数据序列的趋势、去掉该数据序列的均值或去除数据序列中的高频噪声. 当然, EMD 方法的主要目的是得到数据序列的 Hilbert 谱, 我们这里只用到其去噪的功能.

本文根据瞬态散射回波和高斯白噪声的特点, 利用 EMD 方法把瞬态散射回波信号分解成多个 IMF, 然后去掉高频成分, 从而得到去噪后的瞬态回波信号. 这种方法能很好地区别信号和噪声, 不需要预定义滤波系数等, 是一种完全的数据驱动方法, 算法简单易行.

2　EMD 方法去噪的基本原理

2.1　本征模函数(IMF) 的定义

Huang 等把满足下列条件的函数定义为 IMF[5]: (这里将函数与信号看作同一概念)

(1) 极大点与极小点个数之和与过零点的个数之差不超过 1.

(2) 分别由极大点与极小点构成的包络之平均值应处处接近于 0.

EMD 方法的本质就是将信号分解为若干个 IMF 之和, 不同的 IMF 具有不同的尺度特征, 从而有利于我们对信号进行更为细致的分析.

2.2　EMD 方法的基本思路

设原始信号为 $f(t)$, 则其分解过程为:

(1) 找出信号 $f(t)$ 的局部极大(小) 值(局部极大(小) 值的

收稿日期: 2002-11-27; 修回日期: 2003-04-22

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40174032)

含义为: 这一时刻的前一个值比它小(大), 后一个值也比它小(大)), 求出局部极大(小)值分别对应的上包络 $v_1(t)$ 及下包络 $v_2(t)$, 并求出它们的平均值 $m_1(t)=\frac{1}{2}(v_1(t)+v_2(t))$; 然后考察 $h_1(t)=f(t)-m_1(t)$, 若这样得到的新的信号 $h_1(t)$ 仍不满足 IMF 的两个基本要求, 则可对 $h_1(t)$ 重复上述操作, 得到 $h_{11}(t)=h_1(t)-m_{11}(t)$; 若 $h_{11}(t)$ 仍不满足 IMF 的两个基本要求, 则继续对 $h_{11}(t)$ 重复上述过程, 得到 $h_{12}(t)=h_{11}(t)-m_{12}(t)$, , , , 直到一整数 k 时, $h_{1k}(t)=h_{1(k-1)}(t)-m_{1k}(t)$ 基本满足 IMF 条件.

定义 $c_1(t)=h_{1k}(t)$, 即从原始信号分离出第一个 IMF, 其中包含信号局部最小的尺度部分.

(2) 记 $f(t)-c_1(t)=r_1(t)$. 对 $r_1(t)$ 可重复操作(1) 得到 $c_2(t)$, 得到第二个 IMF. 然后令 $r_2(t)=r_1(t)-c_2(t)$, 重复上述操作, , , 当 $r_n(t)$ 基本上呈单调趋势或 $|r_n(t)|$ 很小可视为测量误差时即可停止, 得到 $r_n(t)=r_{n-1}(t)-c_n(t)$. 于是:

$$f(t)=\sum_{j=1}^{n} c_j(t)+r_n(t)$$

这样就把信号 $f(t)$ 分解成一组 IMF 的线性组合, 这种分解方法就称为经验模式分解方法, 简称为 EMD 方法.

2.3　EMD 瞬态回波去噪方法

把一个信号分解为若干个 IMF 之后, 即得到: $f(t)=\sum_{j=1}^{n} c_j(t)+r_n(t)$, 含噪信号的主要噪声(即高频成份) 主要集中在最开始的少数几个 IMF, 用原始信号减去这几个 IMF, 即可除去噪声. 至于到底应该去掉几个 IMF, 要根据不同信号的具体情况而定. 这里, 分解一般不是正交分解, 去噪时去掉几个 IMF, 也要根据具体信号而定, 这正是经验模式分解名称的由来, 具体可参见文献[5].

对回波信号进行 EMD 分解之前, 需要对信号进行预处理. 由于采用样条函数确定上下包络, 需要给出边界点的包络值或者数据的一阶导数. 事实上, 边界上的数据(对于回波信号, 主要是零点处的数据), 只能确定一条包络在边界上的数据, 而对于另一条无法有效地确定. Huang 等研究出了一套比较完善的进行边界数据延拓的方法, 研制成专用软件, 并申请了美国专利. 本文主要是对零点边界以零点为对称点进行对称延拓, 事实证明对于回波信号是有效的.

3　计算实例

例 1　给定 5 对极点及其留数如下:

极点:

- 0.08? j3.01, - 0.1? j3.55, - 0.4? j4.01,

- 0.5? j1.89, - 1.4? j0.89

留数:

0.2? j0.3, 0.6? j0.7, 0.8? j0.9,

1.2? j1.3, 1.4? j1.5,

用它们构成时域仿真波形 $f(t)$, 见图 1(a). 对图示波形加上标准方差为 R= 0.3 的高斯白噪声, 加噪声波形 $fc(t)$ 见图 1(b). 用 EMD 方法对 $fc(t)$ 作分解, 得到的分解成分见图 2. 从图 2 可以看出, c_1 就是高斯白噪声成分, 原始信号减去它后就得到去噪后的信号. 图 1(c) 和 1(d) 分别是经本文方法消噪处理后波形及用小波极大模方法消噪后的波形, 可见在噪声较小时消噪效果都较好.

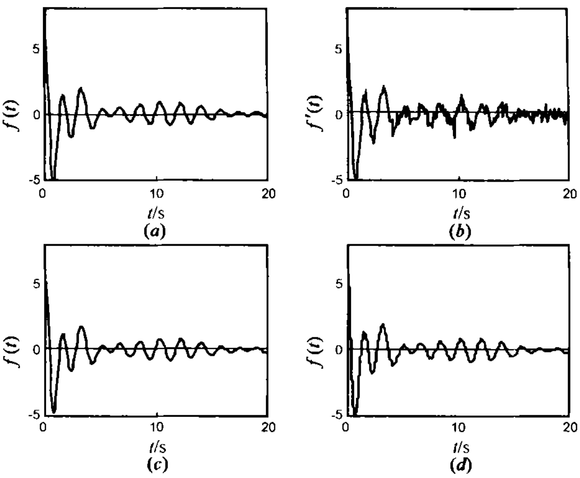

图 1　(a) R= 0.3 时时域检验波形　(b) 加噪声波形
(c) EMD 方法去噪后波形　(d) 小波极大模法去噪后波形

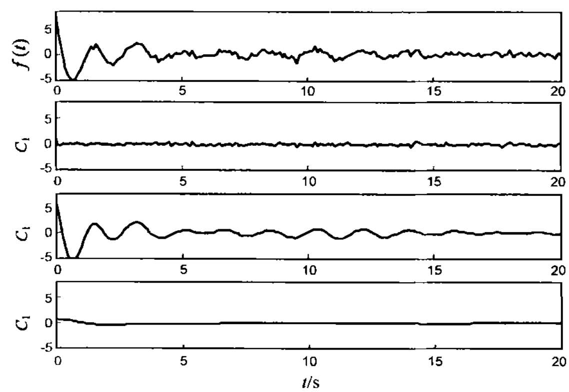

图 2　噪声标准方差 R= 0.3 时 EMD 分解图

例 2　对例 1 的时域检验波形加上标准方差为 R= 0.8 的高斯白噪声, 加噪声波形 $fc(t)$ 见图 3(b), 用 EMD 方法对

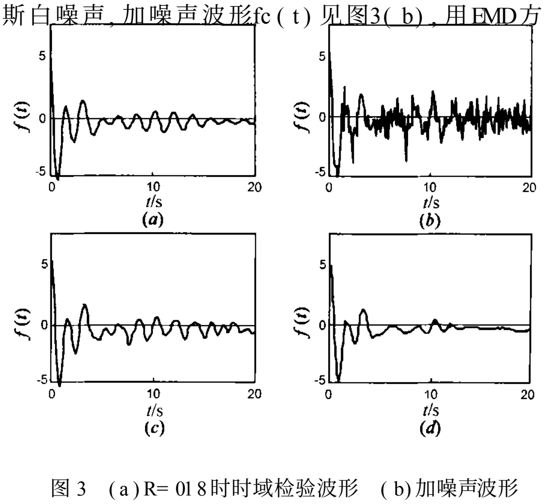

图 3　(a) R= 0.8 时时域检验波形　(b) 加噪声波形
(c) EMD 方法去噪后波形　(d) 小波极大模法去噪后波形

$f_c(t)$ 作分解, 得到的分解成分见图 4. 从图 4 可以看出, c_1 就是高斯白噪声成分, 原始信号减去它后就得到去噪后的信号. 图 3(c) 和 3(d) 分别是经本文消噪处理后波形及用小波极大模方法消噪后的波形, 可见, 对于噪声较大的信号, EMD 方法有更高的精确度.

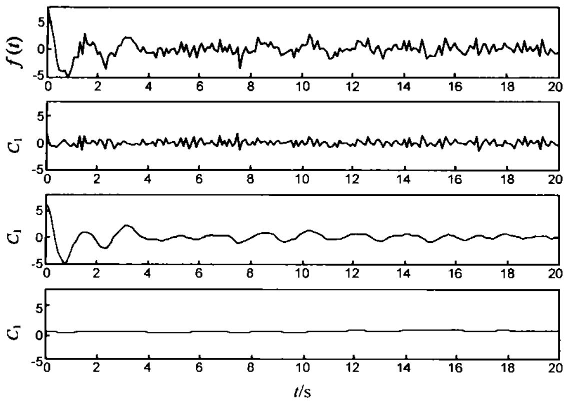

图 4 噪声标准方差 R= 01 8 时 EMD 分解图

4 结论

本文结合瞬态散射回波和高斯白噪声的特点, 采用 EMD 方法把回波信号展开成不同特征成份的 IMF 后, 进行消噪处理. 该方法有效地去除了高斯白噪声对瞬态回波信号的干扰, 而且不删除回波信号中的有用信息, 不引入无关信息, 消噪效果好.

参考文献:

[1] 吴先良, 焦丹, 王良之, 等. 从目标瞬态响应中提取极点的样条拟合及有理逼近方法[J]. 中国科学技术大学学报, 1996, 26(4): 528- 533.

[2] 焦丹, 徐善驾, 吴先良, 等. 采用频域紧支集正交小波基消除瞬态散射回波中的高斯白噪声[J]. 电子学报, 1999, 27(6): 120- 122.

[3] 彭玉华, 汪文秉. 小波用于估测散射波波达时间及去噪[J]. 电子学报, 1996, 24(4): 113- 116.

[4] Mallat S, Hwang W L. Singularity Detection and Processing with Wavelets[J]. IEEE Trans on Inform Th, March, 1992, 38(2): 617- 641.

[5] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non2stationary time series analysis[J]. Proc R soc Lond A, 1998, 454: 903- 995.

作者简介:

陈东方 男, 1967 年 9 月生于湖北天门, 现为武汉科技大学计算机学院讲师, 博士, 研究方向为计算方法、计算机图形学.

吴先良 男, 1955 年生于安徽亳州, 安徽大学电子工程与信息科学系教授, 中国电子学会高级会员, 主要从事电磁散射、电磁理论和数值方法的研究, 出版5 天线理论与工程6等著作.