

小波变换在天线近场测试中的应用研究

黄文涛

(中国电子科技集团公司第 38 研究所 天馈部, 安徽 合肥 230031)

摘要 小波变换是各领域科学研究必备的有力工具。文中介绍了小波变换的理论知识, 小波变换消噪的原理和过程, 具体研究它在抑制天线近场测试中引进噪声的应用。仿真结果表明, 小波变换消噪既能有效地去除信号噪声, 又能较好的保留原信号中的突变信息。

关键词 小波变换; 消噪; 天线测试

中图分类号 TN82 文献标识码 A 文章编号 1007-7820(2009)09-016-04

Application of Wavelet Transformation to Antenna Near Field Testing

Huang Wentao

(Department of Antenna Feedback, No. 38 Research Institute China Electronic Technology Group Corporation, Hefei 230031, China)

Abstract Wavelet transformation is a powerful tool in many areas of research. This paper discusses the fundamental theory of wavelet transformation, the principle and process of denoising using wavelet transformation and its applications to suppress the noise of antenna near field testing. The simulation results show that the wavelet denoising method can effectively restrain the noise and reserve the fault character information in the original signals.

Keywords wavelet transformation; denoising; antenna test

在天线测试中, 接收的信号经常受到噪声信号的干扰和影响, 例如, 环境中各种电磁干扰信号的存在, 电源接地不好, 测试系统和被测系统互联都可能引进各种噪声信号。传统的去噪方法是基于 Fourier 分析, 只能用于信号和噪声频带重叠部分非常小或者完全分开的情况, 通过滤波的方法将消除噪声。但在实际中, 信号和噪声的频带是任意重叠的, 用传统的方法不能有效的去除噪声。新发展的小波变换被称为数学分析的“显微镜”, 是一种灵活的信号处理工具, 是一种新的多分辨分析方法, 可以聚集到分析对象的任意细节, 优于 Fourier 分析算法^[1]。文中主要通过 Matlab 仿真方法探讨小波变换消噪在天线近场测试中的应用。

收稿日期: 2009-06-09

作者简介: 黄文涛(1982-), 男, 助理工程师。研究方向: 天线近场测量等。

1 小波变换的定义

设 $f(t)$ 为 $R = (-\infty, +\infty)$ 上的能量有限信号, 则该连续函数的小波变换定义为

$$WT_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Phi * \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad a \neq 0 \quad (1)$$

式中

$$\frac{1}{\sqrt{|a|}} \Phi * \left(\frac{t-b}{a} \right) = \Phi_{a,b} \quad (2)$$

称为由母小波 $\phi(t)$ 生成的尺度伸缩和平移, 其中 a 为尺度参数, b 为平移参数^[2]。小波变换通过尺度上的伸缩和空间上平移来分析信号。根据小波变换系数 $WT_f(a, b)$, 可以精确的恢复原信号 $f(t)$, 其逆变换分式为

$$f(t) = \frac{1}{C_\phi} \int_0^{+\infty} \frac{1}{a^2} da \int_0^{+\infty} WT_f(a, b) \Phi_{a,b}(t) dt \quad (3)$$

2 小波变换消噪的原理

设一个含噪声的一维信号模型为

$$s(i) = (f(i) + n_1(i)) * n_2(i) \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

式中 $s(i)$ 表示为含噪信号, $f(i)$ 表示为原信号, $n_1(i)$ 表示为加性噪声, $n_2(i)$ 表示为乘性噪声, 大多数情况下信号降噪过程可看成线性不变模型, 上式可写为

$$s(i) = f(i) + n(i) \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (5)$$

式中, $n(i)$ 为噪声。

小波去噪的目的就是抑制信号中的噪声信号 $n(i)$, 恢复出真实信号 $f(i)$ 。在实际中, 有用信号通常表现为低频信号或平稳信号, 噪声信号则表现为高频信号, 小波变换运用在信号降噪处理中, 主要针对信号经小波变换后在不同分辨率下呈现不同的规律, 在不同分辨率下设定不同阈值门限, 调整小波系数达到降低噪声的目的, 所以降噪过程可按以下 3 个步骤进行处理:

(1) 对含噪信号进行小波分解, 选择小波并确定小波分解层次为 N , 则噪声部分通常包含在高频频中;

(2) 对小波分解的高频系数进行门限阈值量化处理;

(3) 根据小波分解的第 N 层低频系数和经过量化后的 $1 \sim N$ 层高频系数进行小波重构, 从而降低噪声恢复出有用信号^[3]。其流程图, 如图 1 所示。

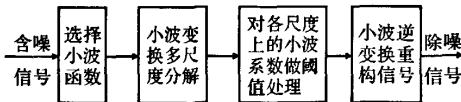


图 1 小波变换除噪流程

而上述步骤中, 阈值的选取和量化是最关键的。常见的阈值处理方法有两种:

(1) 硬阈值法。

$$\hat{d}_{j,k} = \begin{cases} d_{j,k} & |d_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |d_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (6)$$

(2) 软阈值法。

$$\hat{d}_{j,k} = \begin{cases} \text{sign}(d_{j,k})(|d_{j,k}| - \lambda) & |d_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |d_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (7)$$

式中 $d_{j,k}$ 为小波系数, 阈值一般取 $\lambda = \sigma \sqrt{2 \log(N)}$, 其中 N 为信号长度, σ 为噪声的标准偏差。 σ 可以利用第一层的小波系数 $d_{1,k}$ 来估计, 通常取 $\sigma = (\text{median}|d_{1,k}|)/0.6475$, 其中 $\text{median}|d_{1,k}|$ 表示第一层所有小波变换系数的中间值。

虽然软硬阈值得到了广泛应用, 也取得了较好的效果, 但是存在硬阈值函数的不连续性和软阈值函数的中估计小波系数与带噪信号的小波系数之间存在着恒定的偏差的缺点。文中将采用文献^[4]中的一种新的阈值函数^[4,5]

$$\hat{d}_{j,k} = \begin{cases} \text{sign}(d_{j,k}) \left(|d_{j,k}| - \frac{\beta\lambda}{\beta + |d_{j,k} - \lambda|} \right) & |d_{j,k}| \geq \lambda \\ 0 & |d_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (8)$$

式中 β 为调节因子, 为正数。

新阈值函数具有连续性, 且当 $|d_{j,k}| \geq \lambda$, 其高阶可导, 便于进行各种数学处理。当 $|d_{j,k}| \rightarrow +\infty$ 时, $\hat{d}_{j,k} \rightarrow d_{j,k}$, 因此克服了软阈值函数中 $\hat{d}_{j,k}$ 和 $d_{j,k}$ 存在恒定差的缺点。且当 $\beta \rightarrow 0$ 时, 为硬阈值函数, 当 $\beta \rightarrow +\infty$ 时, 为软阈值函数, 因此可以通过调节 β 来得到实用的阈值。

3 仿真实验分析

为了验证小波变换消噪在天线近场测试中的有效性, 通过在天线的口径场叠加噪声的方法, 利用 Matlab 工具对天线测试中可能带入的常见噪声分别进行仿真实验。天线采用 1×64 个单元, 单元间距 $\lambda/2$, Taylor 分布。实验中选择 dB3 小波, 分解层数为 3 层, 式(8)中的 β 选为 100。

实验中引进正负 1 dB 的随机噪声, 小波消噪后的结果图, 如图 2 所示(见 18 页)。

其相应的远场波瓣对比图, 如图 3 所示。

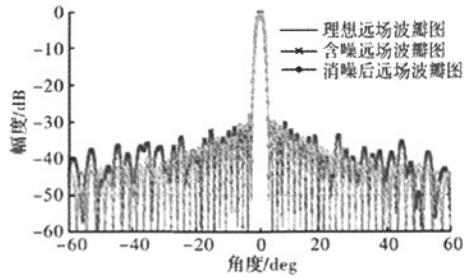


图 2 小波变换消噪结果图

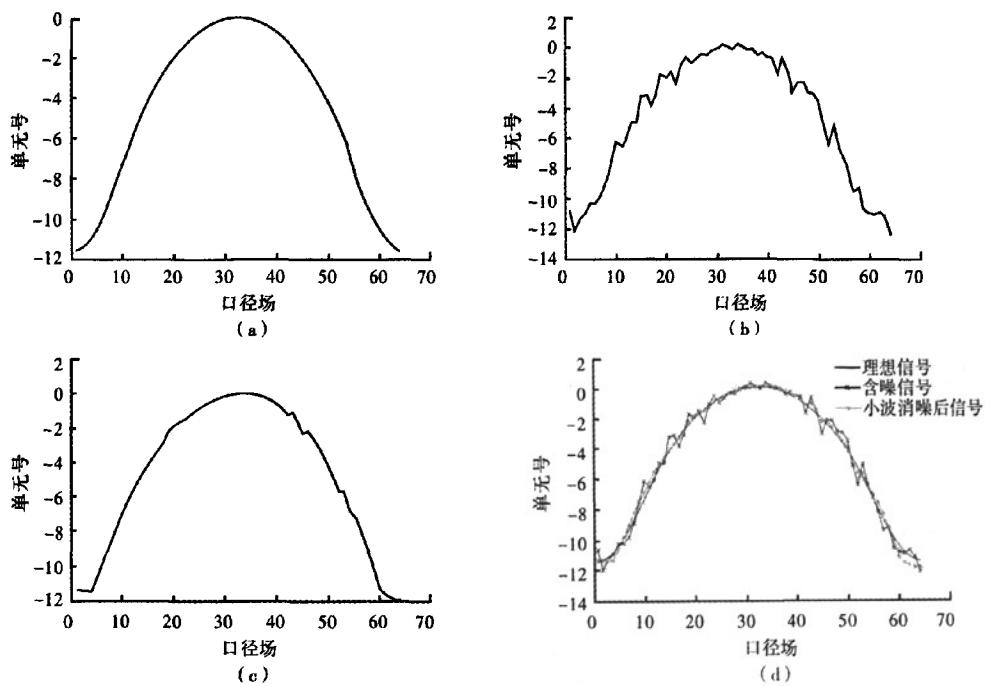


图2 随机噪声情况下结果对比图

有源相控阵天线在近场测试时，有时会需要雷达系统和测试系统进行互联，但容易引进周期性的

噪声信号，造成副瓣的抬高。实验中引进 ± 0.6 dB的周期性信号，去噪后结果，如图4和图5所示。

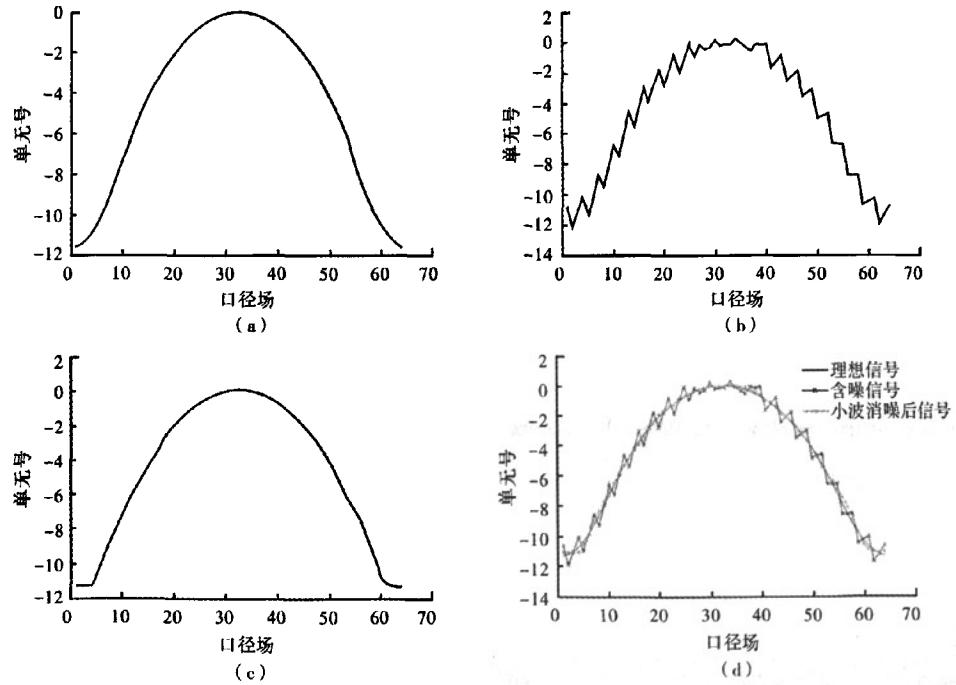


图4 周期性噪声情况下对比图

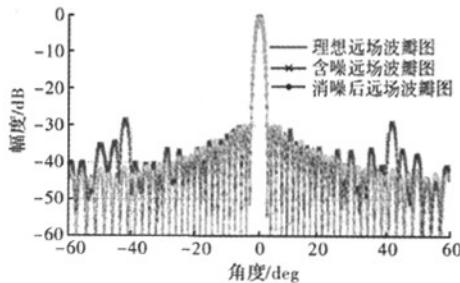


图 5 周期性噪声情况下远场波瓣对比图

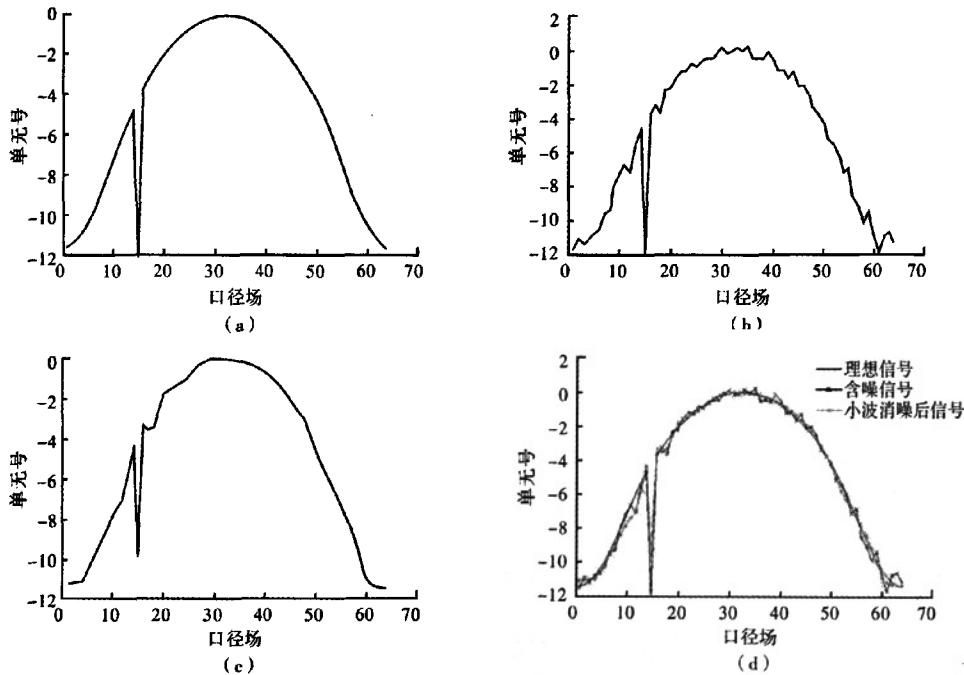


图 6 天线单元失效下对比图

4 结束语

小波变换消噪应用到平面近场测试中，对测试中引进的常见噪声都得到了较好的抑制，并且保留了原信号中的突变信息，不影响对天线的故障诊断，可以应用到实际的工作中。其中要注意的是阈值的选取，恰当的阈值会使分析结果更精确。

参考文献

- [1] 杨福生. 小波变换的工程分析和应用 [M]. 北京:

在随机噪声实验的基础上使天线的 15 号单元失效，其消噪后的结果，如图 6 所示。

由以上实验可以看出，小波变换消噪能够有效去除噪声信号，可以得到更精确的远场波瓣图，并且还能较好的保留原信号中的突变信息。

科学出版社，1999.

- [2] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal Special Adaption by Wavelet Shrinkage [R]. USA: Technical Report, Department of Statistics, Standford University, 1992.
- [3] 胡昌华. 基于 Matlab 的系统分析与设计小波分析 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
- [4] 杨维, 林椹珍, 宋国乡. 基于离散插值样条的提升小波变换 [J]. 电子科技, 2004(1): 44~47, 51.
- [5] 薛伟, 关福宏, 陈良章, 等. 基于一种新的小波阈值函数的雷达信号去噪 [J]. 计算机仿真, 2008(9): 320~321.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>