

局域波分解在被动测向声纳中的应用

陈宝柱, 蔡志明, 姜可宇

(海军工程大学电子工程学院, 武汉 430033)

摘要: 局域波分解可以把复杂信号分解为有限个内蕴模式函数和一个趋势项, 这个过程相当于在时间域上对不同的频率信号进行分类。不同的内蕴模式函数分量代表了不同频率分量的信号成分, 利用海洋环境噪声与目标信号频域特征或相关函数的不同, 滤除被动测向声纳接收信号中的海洋环境噪声, 提高输入信号的信噪比, 进而提高被动测向声纳的检测性能。提出了基于局域波分解的被动测向声纳信号检测模型。计算机仿真结果表明, 相对于传统的二元被动测向声纳检测模型, 基于局域波分解的信号检测模型可以有效提高被动测向声纳的检测性能。

关键词: 局域波分解; 内蕴模式函数; 被动测向声纳

中图分类号: TB566

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2009)-06-0799-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2009.06.023

The application of local-wave decomposing method in passive bearing sonar

CHEN Bao-zhu, CAI Zhi-ming, JIANG Ke-yu

(College of Electronic Engineering, Navy University of Engineering, Wuhan, 430033, China)

Abstract: Local-wave decomposing method can decompose complex signal into several intrinsic mode functions and a residue. This equals to sorting signals of different frequencies in time field. Different intrinsic mode functions have different frequencies. Noise can be eliminated from the received signal by taking advantage of the differences of the frequency features or the difference of their correlation functions. SNR can be enhanced and the detection performance of passive bearing sonar improved. Signal detection method based on local-wave decomposing is put forward. The result obtained by computer simulation makes it clear that, compared to the traditional bearing method of two-array passive sonar, the signal detection method based on local-wave decomposing can improve the detection performance of the passive bearing sonar effectively.

Key words: local-wave decomposing method; intrinsic mode function; passive bearing sonar

1 引言

能否正确地检测声纳目标, 对于潜艇的作战能力和生存能力至关重要。为了保持潜艇的隐蔽性和增强潜艇的突袭能力, 潜艇水下航行长时间使用的是被动声纳。安静型潜艇的出现给被动声纳提出了很大的挑战, 提高被动声纳检测目标的能力是提高潜艇作战性能的关键。若目标信号功率较小, 往往淹没在环境噪声中, 被动声纳无法正确检测。因此有效地滤除环境噪声, 获得有用的目标信息, 是提高被动声纳检测性能的可靠途径。

局域波分解是由 Huang N E 提出的一种用于分析非平稳、非线性信号的信号处理方法^[1], 它可以将复杂的信号分解成为单一的基本模式分量, 而不

同的基本模式分量包含着不同的频率成分。根据局域波分解后基本模式分量包含不同频率成分的特点, 利用环境噪声与目标信号在频域^[2]或者相关函数^[3]的不同, 滤除接收信号中的噪声分量, 从而提高信噪比。被动测向声纳的一种传统方法是采用舷侧距离最大的两个基阵的接收信号的相关运算判断目标的有无。由于不能确定目标信号的频谱范围, 信号处理中的带通滤波器带宽较大, 无法有效滤除海洋环境噪声。

本文提出了一种基于局域波分解的被动测向声纳的检测模型, 利用局域波分解将基阵接收信号分解为不同的基本模式分量, 滤除含有海洋环境噪声的分量, 然后对重构后的信号作相关运算判断目标的有无^[3]。

2 局域波分解原理

局域波分解也叫经验模式分解, 它针对信号的

收稿日期: 2008-12-15; 修回日期: 2009-03-24

作者简介: 陈宝柱(1985-), 男, 河北沧州人, 硕士, 研究方向为水声信号处理。

通讯作者: 陈宝柱, E-mail: baoliang747@126.com

局部特性,可以把复杂的信号分解为多个内蕴模式分量 IMF(Intrinsic Mode Functions, IMF)和一个趋势项的和^[4]。

局域波是指信号局部范围的波动性,局域波分解可以将某一时刻的多个瞬时频率分解到不同的内蕴模式分量中,且内蕴模式分量满足^[4]: (1) 极值点的数量与过零点的数量相等,或者最多相差一个。(2) 在任意时间点上,其局部均值应为零。内蕴模式分量在每一个时间点上只有一个频率成分存在,因此称为局域波。

局域波分解大体包括以下几个关键步骤^[2]:

(1) 确定原始信号的极大值和极小值,并利用三次样条插值方法确定上、下两条包络线;

(2) 计算上述两条包络线的均值;

(3) 将此平均值从原始信号中减去,得到一阶内蕴模式函数分量;

(4) 原始信号减去一阶内蕴模式函数分量,得到一次余量,并视作新的数据,重复上述步骤,得到下一阶内蕴模式函数分量,直到最终余量变成单调函数。

经过筛选过程,原始信号可以表示为:

$$x(t) = \sum_{j=1}^N IMF_j(t) + r_N(t)$$

图 1 是利用局域波分解一个合成信号得到的结果^[5],合成信号由两个正弦波调制的调频信号和一个高斯包络的单频信号组成。分解后的三个内蕴模式函数分量的时频分布图显示,分解得到的三个分量信号是原来信号的组成分量。三个分量信号可以精确的分解出来。

局域波分解的过程,相当于在时间域上对不同

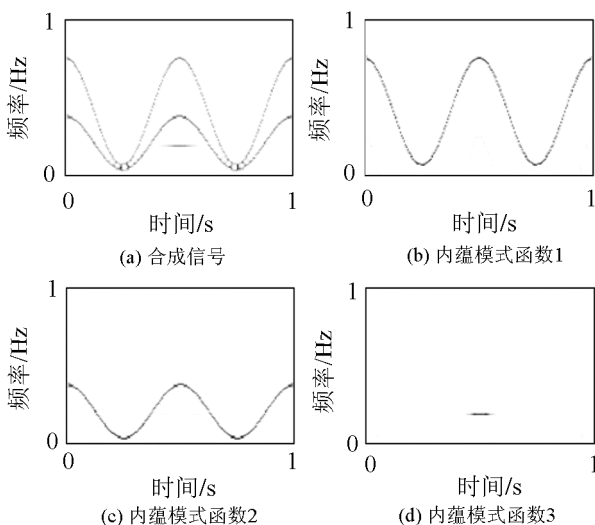


图 1 信号时频分析

Fig.1 Time and frequency analysis (a) total signal (b) the first IMF (c) the second IMF (d) the third IMF

的频率信号进行分类,起到了滤波器的作用,但它的过程是根据自身数据驱动的,即是自适应的。从滤波角度来看,局域波分解过程相当于用窄带滤波器对信号进行自适应滤波^[2]。各模式分量的频率随着分解阶数的增加而降低。局域波分解相当于信号通过一个滤波器组,滤波后的信号包含着原信号的不同频段范围的组成信号^[6,7]。

3 基于局域波分解的信号检测模型

不同的内蕴模式函数分量代表了不同频率分量的信号成分。因此,利用有用信号和噪声信号在频谱或相关函数上的差异,摒弃噪声分量,则可提高检测性能^[2]。如果环境噪声与有用信号存在频谱上的明显区别,则可以直接提取内蕴模式函数的部分分量重构接收信号,作为后续信号处理的数据。其应用前提是已经获取了目标信号的频谱范围。如果不能明显得到有用信号与环境噪声频谱上的差异,则可以利用环境噪声近似为白噪声的性质,对各个分量函数与原来信号的互相关函数或者分量自身的自相关函数的不同判别噪声^[3]。白噪声与原信号不相关,它们的互相关系数为零。此外,白噪声自相关函数除了在零点取得最大值之外,其余都是零值附近较小的数值。通过比较得到的相关函数的情况,对不同的基本模式分量进行判断,如果基本模式分量被判断为只含有噪声分量,则剔除;反之,就视为重构信号的组成部分。

在二元被动测向声纳信号处理中,对换能器接收到的信号进行比特量化,然后进行相关处理与门限比较以判决目标有无,进而进行测向。信号处理流程如图 2 所示。利用局域波分解重构信号的性质,剔除部分噪声分量,然后进行后续的量化和相关处理。其信号处理流程如图 3 所示。

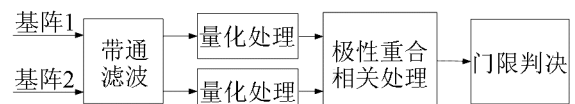


图 2 常规模型

Fig.2 Traditional method

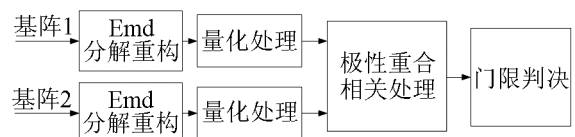


图 3 局域波模型

Fig.3 Method based on local-wave decomposing

在局域波模型中,噪声分量的判决是信号处理的关键。如果获取了海洋环境噪声和具体目标信号

的频谱信息,则可以直接提取目标信号所在的基本模式分量用于后续的信号处理。一般情况下,目标的频谱信息是未知的,需要通过计算基本模式分量与原来接收信号的相关函数或者基本模式分量的自相关函数进行判别。

4 仿真实验与结果分析

采用蒙特卡罗算法对相应的信号检测模型进行仿真,比较两种模型的检测性能。

仿真实验条件设置为:水下目标位于距接收基阵 4km 处,角度 45°(以正横方向为零度计算),基阵间隔 50m,单个基阵具有波束宽度为 16°的指向性,假设目标信号为 3.5kHz 的单频信号,环境噪声频谱范围为 2~4kHz、功率谱以 -6dB/oct 衰减的色噪声。采样频率为 16kHz,积分时间为 2s。通过计算分解后的基本模式分量与原接收信号的互相关函数判别噪声分量。

单个基阵的扫描区域如图 4 所示。图 4 中波束指向对准目标方向,横纵 5km 为仿真扫描区域(横轴代表水下运动目标的行驶方向,纵轴代表水下运动目标的正横方向)。

信号传播衰减特性曲线如图 5 所示。其中, x 轴方向为水下运动目标行驶方向, y 轴方向为水下

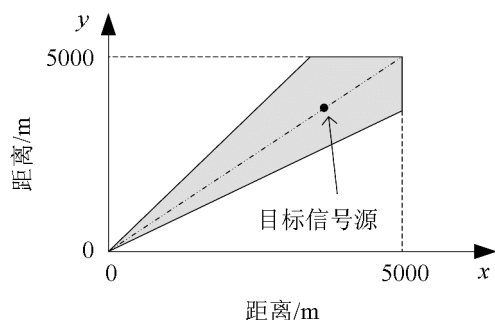


图 4 单个阵元的波束指向及扫描区域
Fig.4 Beam bearing and scanning area of a single array

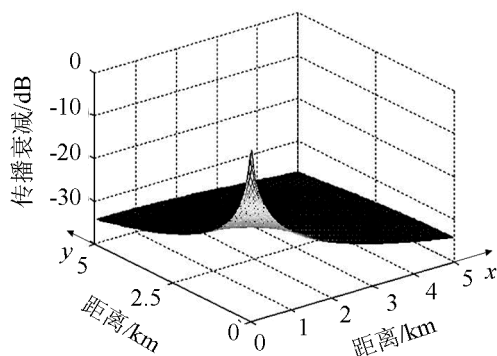


图 5 信号传播衰减曲线
Fig.5 Graph of signal spreading loss

运动目标的正横方向。距离相对较远时,衰减很大,不同阵元接收到的信号的相关性很弱。

仿真实验中,采用蒙特卡罗方法得到两种信号的检测模型在不同信噪比条件下的接收机工作特性曲线,仿真结果如图 6 所示。从图 6 中我们可以看到,基于局域波分解的被动测向声纳信号检测模型明显优于传统的信号处理模型。在信噪比为 -16dB、虚警概率为 5%的情况下,局域波模型的检测概率为 25%左右,大大高于传统模型的 15%的检测概率。这是因为局域波模型中,摒弃了含有噪声的基本模式分量,提高了量化输入信号的信噪比,进而提高了检测器的检测性能。

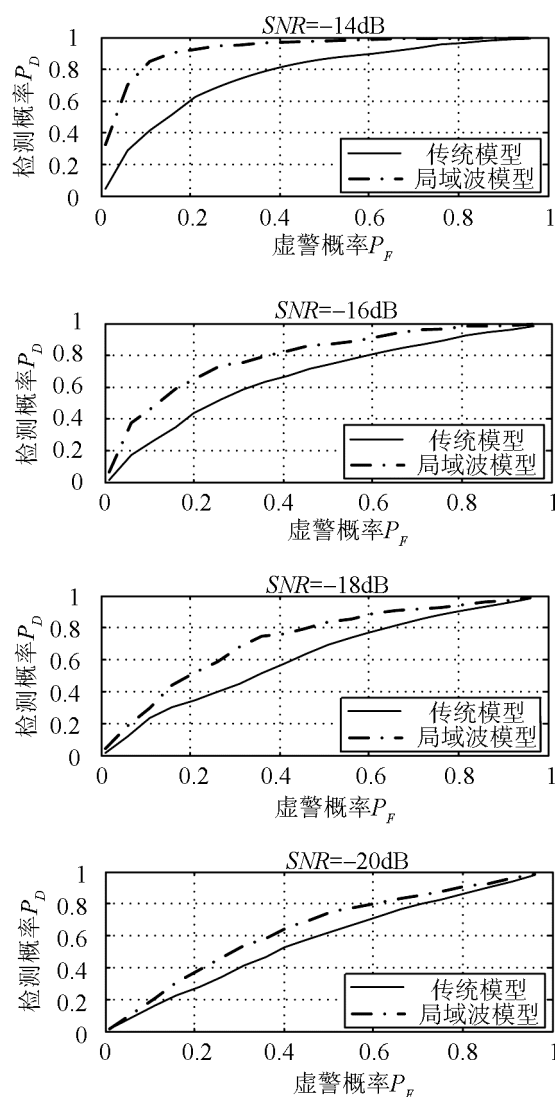


图 6 不同信噪比下两种检测模型检测性能曲线
Fig.6 Detection performances of two methods for different SNRs

5 结论

本文用局域波分解方法分解重构基阵接收信号,

摒弃噪声分量以提高信号信噪比,提高被动测向声纳的检测性能。提出了基于局域波分解的被动测向声纳信号检测模型。通过基本模式分量与分解前信号的互相关函数的不同来实现噪声分量的剔除。仿真结果显示,通过局域波分解对基阵接收信号进行分解再重构,可以提高信号信噪比,并提高被动测向声纳的检测性能。

参 考 文 献

- [1] Norden E Huang, ZHENG shen, Steven R Long, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proc. R. Soc. Lond. A, 1998, (454): 903-995.
- [2] 张宾, 孙长瑜, 孙贵青. 基于经验模式分解的拖曳式声纳拖船噪声抵消研究[J]. 应用声学, 2007, 26(2): 68-73.
ZHANG Bin, SUN Changyu, SUN Guiqing. Tow ship noise cancellation using empirical mode decomp-Osition[J]. Applied Acoustics, 2007, 26(2): 68-73.
- [3] 胡红英, 马孝江. 基于局域波分解的信号降噪算法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(1): 118-120.
HU Hongying, MA Xiaojang. Signal denoising based on Local-wave decomposing method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2006, 37(1): 118-120.
- [4] 钟佑明, 秦树人, 汤宝平. Hilbert_Huang 变换中的理论研究[J]. 振动与冲击, 2002, 21(4): 13-17.
ZHONG Youming, QIN Shuren, TANG Baoping. Study on the theory of Hilbert_Huang transform[J]. Journal Of Vibration and Shock, 2002, 21(4): 13-17.
- [5] Rilling G, Flandrin P, Goncalves P. On empirical mode decomposing and its algorithms[A]. IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing[C]. 2003: NSIP-03.
- [6] 盖强, 马孝江, 张海勇, 等. 几种局域波分解方法的比较研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(2): 57-59.
GE Qiang, MA Xiaojang, ZHANG Haiyong, et al. Comparing study for decomposing methods using local wave method[J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(2): 57-59.
- [7] 张海勇, 马孝江, 盖强. 一种新的时频分析方法[J]. 火力与指挥控制, 2000, 25(3): 39-42.
ZHANG Haiyong, MA Xiaojang, GE qiang. A new approach to time-frequency analysis[J]. Fire Control & Command Control, 2000, 25(3): 39-42.

• 简 讯 •

章奎生声学设计研究所参与九项上海世博会建设工程项目

全世界都在关注即将到来的 2010 年上海世博会筹备建设工作已进入全面冲刺阶段,到 2009 年底世博园区的四馆一轴五个永久性场馆(世博中心、演艺中心、中国馆、主题馆和世博轴)和许多临时性场馆都将基本建成并进入调试试运行阶段,而 42 个外国自建的国家馆也先后进入施工建设阶段。

上海现代建筑设计集团的章奎生声学设计研究所有幸接受各方委托,共承接参与了世博会工程中的九个国内外世博工程,即:上海世博中心、世博演艺中心、世博新闻中心、通用汽车馆、信息通信馆、城市生命馆、城市星球馆、世博轴电视转播厅及美国国家馆等。

其中世博中心建筑面积 14 万 m²,内设 2600 座大会堂、600 座国际会议厅、4500 座多功能厅、3000 座宴会厅及 100 多间中小会议室等,是今后上海市的一座永久性大型会议中心;世博演艺中心建筑面积约 6.5 万 m²,外型呈飞碟状,内设 18000 座大型多功能演艺场馆,馆内可进行 NBA 篮球比赛、综艺演出、集会庆典等大型活动,并具有馆内观众容量规模从 18000 至 6000 座可变的特点,预计建成后每年演出活动可超过 200 场,将成为上海一座特大型演艺场馆;城市生命馆和城市星球馆均为建于主题馆内的独立展馆,城市生命馆包含序厅、活力车站、城市广场、生活街市等五个部分,其中的城市广场是一座特殊的墙面和天花均为屏幕的球幕影院。而城市星球馆为直径 28m 圆形墙及穹顶建筑,以声光音视频技术展现各种地球及天空奇观。通用汽车馆为直径 54m 的圆形展馆,容纳观众约为 560 座,通过互动式影像展演方式表演汽车的现在和未来的发展。信息馆由中国移动及中国电讯联手建造,内设 4 个展厅展示信息通信技术发展对人类社会的影响,展馆具有大型 4D 影厅的特点。

美国国家馆为外国自建馆中规模最大的展馆,内建 9 个各为 500 座不同性质的放映厅及一个多功能厅,主要通过音视频声光展示形式展现着美国国家的方方面面,美国馆目前正在施工建设之中。

章奎生声学设计研究所承担了上述各个展馆的厅堂音质设计及噪声振动控制设计,并将负责各个馆的现场建声测量调试工作,也是所内目前工作量较多的重点工程项目。

上海市现代建筑设计集团 章奎生