

引用格式: 张大伟, 范文涛, 许林周, 等. 一种基于色彩处理的被动声呐宽带目标检测显示方法[J]. 声学技术, 2021, 40(4): 556-559. [ZHANG Dawei, FAN Wentao, XU Linzhou, et al. A method of detecting and displaying passive sonar broadband target based on color processing[J]. Technical Acoustics, 2021, 40(4): 556-559.] DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2021.04.019

一种基于色彩处理的被动声呐宽带目标检测显示方法

张大伟¹, 范文涛², 许林周¹, 章新华¹

(1. 海军大连舰艇学院, 辽宁大连 116018; 2. 海军研究院, 北京 100073)

摘要: 针对被动声呐传统宽带能量检测方式难以解决强干扰存在时的弱目标检测问题, 着眼于目标、干扰及背景噪声频谱特征差异, 提出了一种划分子带, 利用颜色合成理论进行宽带融合检测的显示方法。针对弱目标存在稳定线谱或在部分频点能量相对较强的情况, 可有效提升对弱目标的检测能力, 并增强不同目标方位历程的区分度。

关键词: 色彩处理, 频谱特征, 弱目标检测

中图分类号: TN911.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-3630(2021)-04-0556-04

A method of detecting and displaying passive sonar broadband target based on color processing

ZHANG Dawei¹, FAN Wentao², XU Linzhou¹, ZHANG Xinhua¹

(1. Dalian Naval Academy, Dalian 116018, Liaoning, China; 2. Naval Research Academy, Beijing 100073, China)

Abstract: It is difficult for passive sonar using traditional broadband energy detection method to detect the weak target in the presence of strong interferences. Based on different spectrum characteristics of target, interference and background noise, a new method by dividing sub-band of spectrum and using color synthesis theory is proposed to achieve broadband fusion detection. When the radiated noise of weak target contains stable line spectrums or its spectrum energy at some frequency points is relatively strong, the ability to detect weak target can be effectively improved by this method, and the bearing-time-records of different targets can be easier distinguished.

Key words: color processing; spectrum feature; detection of weak target

0 引言

被动声呐对水中目标辐射的噪声信号进行处理, 以获得目标的定位、识别等信息。一般地通过宽带波束形成方法对阵列接收信号进行处理, 获得空间增益, 可得到不同方位上的波束输出信号。传统上将波束输出信号的能量进行累加, 可以得到目标空间谱的宽带估计结果。

随着目标辐射噪声水平的降低, 传统的能量平均检测方法越来越难以解决强干扰存在时的弱目标检测问题。关注到目标、干扰及环境噪声在频谱特征上的差异, 尤其是针对目标存在稳定线谱的情况^[2], 研究者提出了一些新的宽带融合检测方法。主要有基于线谱方位稳定性和频率稳定性的检测

方法^[3-4], 如子带峰值能量检测^[5]、频率方差线谱检测器^[6]、自适应 Alpha-beta 修正的线谱检测后置处理方法^[7]、被动线谱检测的子带分解和分方位区间融合算法^[8]等。此外, 还有基于背景均衡技术在波束域和频率维同时检测目标信号的方法以及专门针对弱目标线谱进行自适应增强的检测技术, 均在一定条件下取得了一定的效果。

本文注意到这样一种现象: 由于目标、干扰及环境噪声频谱的差异性, 在所处理的宽频带内, 受关注的弱目标虽然总体能量较弱, 利用传统的能量检测方法难以检测, 但在某些未知的特定频率上, 弱目标信号却可以明显分辨。对此, 提出了一种宽带融合检测方法, 将不同子带上的波束输出映射到颜色空间, 以色彩调和的方法对宽带空间谱信息进行融合, 进而得到包含频率信息的彩色方位历程图。一方面能够有效利用弱目标未知频率信号, 使得能量检测方法难以清晰显示的目标, 通过这种处理有可能显示出来; 另一方面目标历程颜色暗含目标的频谱分布特征, 使得显示层次更加多样, 信息

收稿日期: 2021-04-03; 修回日期: 2021-05-01

作者简介: 张大伟(1991—), 男, 山西古县人, 研究方向为水声信号处理。

通信作者: 张大伟, E-mail: silenceeye@163.com

更加丰富，可辅助于目标的连续跟踪。

1 基于色彩处理的宽带检测方法

被动声呐信号处理中波束形成器每处理一个快拍数据，都可以得到不同方位上的输出信号。通过对波束输出信号进行处理，可得到一个关于信号频率与方位的二维矩阵，即频率方位矩阵 $P(f, \theta)$ 。若将该矩阵按频率维度进行能量平均，则得到目标的空间谱。

1.1 基本原理

通过宽带能量平均，可以有效地抑制背景噪声，提高检测增益。但由于波束存在一定的宽度，弱目标很容易被强干扰淹没。通过对频率方位矩阵进行分析发现，由于目标、干扰和噪声的能量在频率轴上的分布存在差异性，在某些频率 f_x 上，可能出现弱目标的信号强度相对较高，而强干扰和环境噪声的强度相对较弱的情况，但一般情况下 f_x 是未知的，难以事先得到。

如果将整个频带分为 N 个子带，每个子带具有一定的宽度，那么就有可能使部分子带包含 f_x ，而部分子带不包含 f_x 。对各个子带分别进行能量平均，得到的空间谱将产生不同的效果。图1给出了某实测数据按照三个子带对频率方位矩阵进行能量平均的结果。通过与全频带结果对比，可以看出对于关注的弱目标(图中箭头指示)，子带1的检测效果明显较好，对于其他目标，不同子带给出的结果在方位上较为一致而在能量上强弱有别。把不同子带与全频带的检测结果进行综合，将有利于提高对弱目标的检测效果。

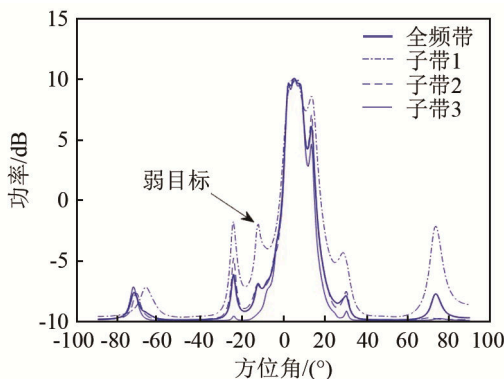


图1 不同频带目标空间谱

Fig.1 Spatial spectrums of the targets with different frequency bands

根据 RGB 颜色空间理论，使用红(R)、绿(G)、蓝(B)三种原色按照不同的比例进行混合可以得到丰富的颜色^[1]。借鉴这一理论，将方位频率矩阵按

照应用场景划分为三个子带，依次映射到 R、G、B 三种颜色域，以子带能量作为三种颜色混合比例的依据，从而以颜色合成的方式对不同子带的检测结果进行融合。

1.2 方法步骤

(1) 将工作频段划分为低、中、高三个子带，子带的宽度可以结合先验知识进行调整。依次赋予三个子带红(R)、绿(G)、蓝(B)三种颜色值来表征，即使每一个频率点对应一个颜色值 (R_f, G_f, B_f) ，取值范围为 0 到 1。为了使颜色混合结果更加平滑，在不同子带之间设置一定的颜色过渡带，配色方案如图2所示，可以看出每种颜色在侧重表示对应频带的同时，对相邻的频带有一定的兼顾性。

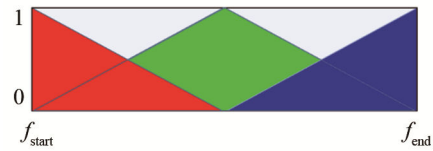


图2 不同子带配色方案示意图

Fig.2 Illustration of different color schemes for sub-bands

通过上述配色方案，沿频率轴由起始频率 f_{start} 到截止频率 f_{end} 对应的颜色棒如图3所示。



图3 频率轴与颜色棒的对应关系

Fig.3 Relation between frequency axis and color bar

(2) 按照步骤(1)确定的频率与色棒的对应关系，为频率方位矩阵中每一个方位上输出的频谱进行着色，即使用该频点处的能量值 $P(f, \theta)$ 为对应的颜色值 (R_f, G_f, B_f) 加权，生成三个新的频率方位矩阵：

$$\begin{cases} R_p(f, \theta) = R_f P(f, \theta) \\ G_p(f, \theta) = G_f P(f, \theta) \\ B_p(f, \theta) = B_f P(f, \theta) \end{cases} \quad (1)$$

(3) 对 $R_p(f, \theta)$ 、 $G_p(f, \theta)$ 、 $B_p(f, \theta)$ 分别按照频率维度进行能量平均，得到每个方位上的颜色输出值 $R_p(\theta)$ 、 $G_p(\theta)$ 、 $B_p(\theta)$ ，对其进行归一化，生成该方位上对应的颜色。

背景对应的 R_p 、 G_p 、 B_p 一般均为较小的值，颜色接近黑色；弱目标对应的方位一般 R_p 、 G_p 、 B_p 三个值的和较小，颜色亮度较小。因此，对生成的颜色采取取反操作，即使用白色 $(R=1, G=1, B=1)$ 与现有颜色值对应相减。

对图1数据进行色彩处理，得到结果如图4所示。其中图4(a)为能量检测结果，图4(b)为色彩处

理后黑色背景结果, 图 4(c)为色彩处理后白色背景结果。可见色彩处理后同一目标的历程颜色统一性较好, 不同目标的历程颜色有差异, 但不明显, 变换背景色为白色后, 不同目标历程的颜色区分度得到改善, 图 4(c)中红色箭头指示的弱目标显示有所突出。

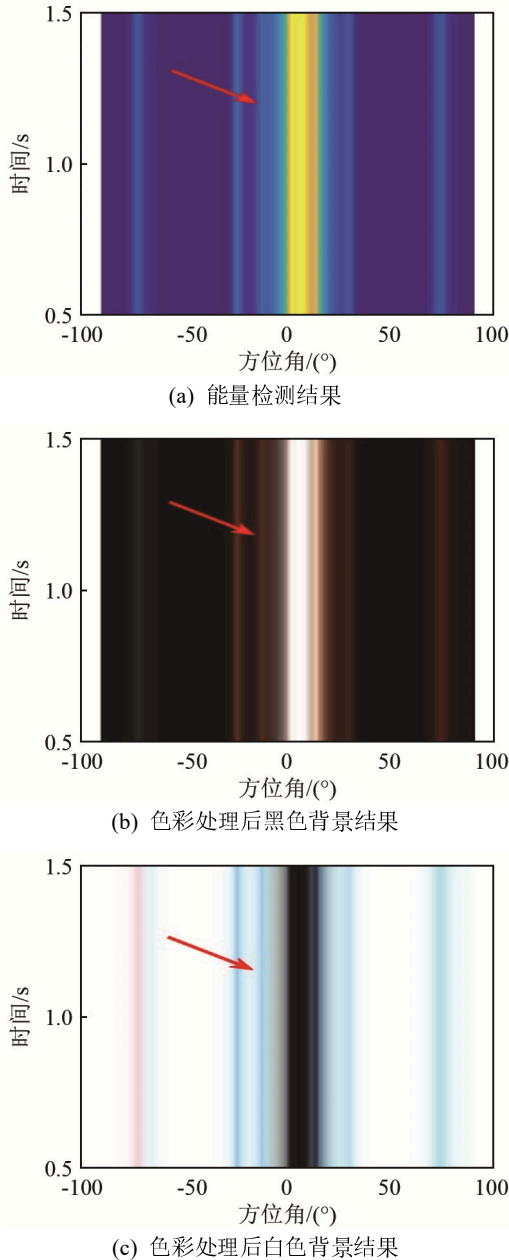


图 4 对应图 1 数据着色处理后目标历程图
Fig.4 The bearing-time-record of target after color processing of the data in Fig.1

(4) 为进一步增强弱目标历程的显示强度, 借鉴补色理论, 对生成的颜色值 (R_p, G_p, B_p) 进行变换。

$$\begin{cases} R'_p = R_p + G_p + B_p \\ G'_p = R_p - G_p \\ B'_p = 2B_p - R_p - G_p \end{cases} \quad (2)$$

变换后重新对其进行归一化得到新的颜色值 (R'_p, G'_p, B'_p) , 变换过程相当于放大各频带能量平均结果的差异性, 使色彩分布更加分明, 同时利用补色理论使显示效果有一定的立体感。

(5) 接下来, 对新的颜色值进行再一次变换, 使背景色由深蓝色(明黄色)变为近似黑色(白色)。

$$B'^* = [(1 - B'_p) + R'_p + G'_p] / 3 \quad (3)$$

对图 4 中的同一数据进行颜色变换处理得到的处理结果如图 5 所示, 可以看出图 5(b)中红色箭头指示的弱目标在黑色背景中显示为亮绿色, 在白色背景中显示为红褐色, 不同目标历程的区分度得以明显加强。

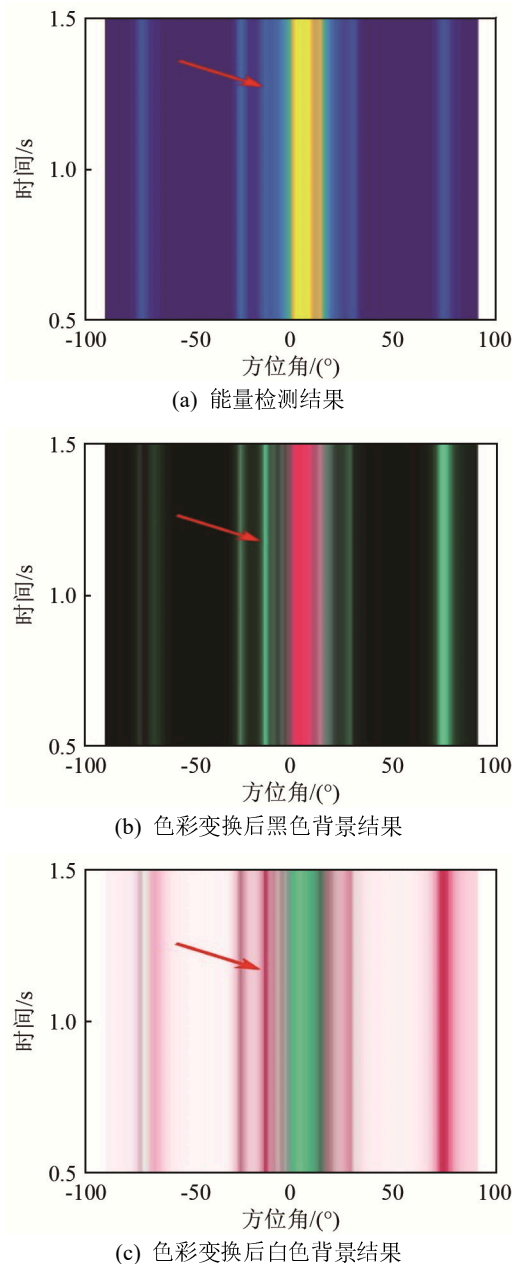


图 5 颜色变换后的目标历程图
Fig.5 The bearing-time-record of target after color conversion

2 实测数据验证分析

利用一段时长为 80 s 的海上实测数据,对本文提出的方法进行测试。得到的结果如图 6~8 所示。图 6 为使用多信号分类(Multiple Signal Classification, MUSIC)波束形成方法经能量检测得到的目标方位历程图,红色箭头指示为关注的弱目标,在 40~50 s 之间开始可见。图 7、8 为本文提出方法处理后得到的结果,分别为黑色背景和白色背景显示,可以观察到弱目标历程显示更加立体清晰,在 30~40 s 之间开始可见,检测时间提前约 10 s。

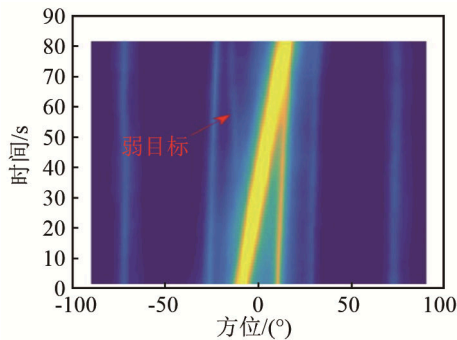


图 6 MUSIC 波束形成能量检测目标历程图(海试数据)
Fig.6 The bearing-time-record of target obtained by energy detection after MUSIC beam forming of sea trial data

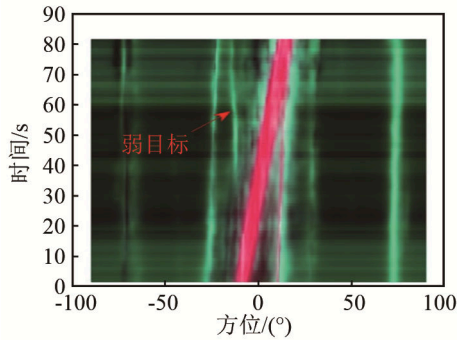


图 7 着色处理后目标历程图(深色背景)
Fig.7 The bearing-time-record of target after color processing with dark-color background

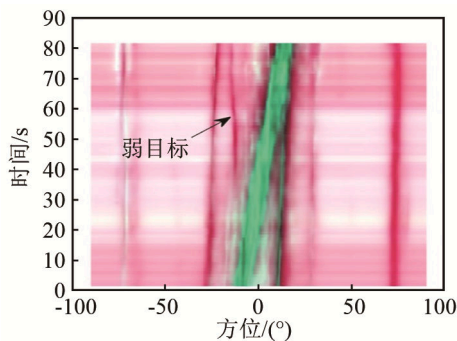


图 8 着色处理后目标历程图(浅色背景)
Fig.8 The bearing-time-record of target after color processing with light-color background

经过本文方法处理后,不同目标的方位历程以不同的颜色显示,与目标的频谱特征具有一定的关联性。

3 结论

本文基于目标、干扰及环境噪声频谱能量分布具有差异性这一现象,区别于传统能量检测方法,提出了一种划分子带,利用色彩合成原理进行宽带融合检测的显示方法。针对弱目标存在稳定线谱或者在部分频率能量相对较强的情况,可有效提高对弱目标的检测能力,同时使具有不同频谱分布特征的目标方位历程区分度增强,历程显示立体感加强,为目标连续跟踪和清晰判别提供了便利。

研究过程中发现,本文提出的方法生成目标方位历程图的颜色效果受多种因素的影响,主要有处理的频段范围、频率分辨率的大小、目标与噪声的频谱特征等因素。下一步将进行详细研究,提升该方法对不同应用场景的适应性。

参 考 文 献

- [1] 张菁. 基于 RGB-Lab 颜色空间转换的颜色复原方法的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.
- [2] 陈新华, 鲍习中, 李启虎, 等. 水下声信号未知频率的目标检测方法研究[J]. 兵工学报, 2012, 33(4): 471-475.
CHEN Xinhua, BAO Xizhong, LI Qihu, et al. Research on detection of underwater acoustic signal with unknown frequency[J]. Acta Armamentarii, 2012, 33(4): 471-475.
- [3] 陈敬军, 陆信人. 被动声呐线谱检测技术综述[J]. 声学技术, 2004, 23(1): 57-60.
CHEN Jingjun, LU Jiren. A review of techniques for detection of line-spectrum in passive sonar[J]. Technical Acoustics, 2004, 23(1): 57-60.
- [4] 张晓勇, 罗来源. 被动声呐信号检测技术发展[J]. 声学技术, 2014, 33(6): 559-563.
ZHANG Xiaoyong, LU Laiyuan. Recent development of passive sonar signal detection[J]. Technical Acoustics, 2014, 33(6): 559-563.
- [5] 周胜增, 杜选民. 被动声呐宽带检测与窄带检测的比较研究[J]. 声学技术, 2017, 36(6): 1-2.
- [6] 陈阳, 王自娟, 朱代柱, 等. 一种基于频率方差加权的线谱目标检测方法[J]. 声学学报, 2010, 35(1): 76-80.
CHEN Yang, WANG Zijuan, ZHU Daizhu, et al. A detecting method for line-spectrum target based on variance-of-frequency weight[J]. Acta Acustica, 2010, 35(1): 76-80.
- [7] 戴文舒, 陈新华, 孙长瑜, 等. 自适应 Alpha-beta 修正的线谱检测后置处理方法[J]. 电子与信息学报, 2014, 36(10): 2419-2424.
DAI Wenshu, CHEN Xinhua, SUN Changyu, et al. A post-processing method for line spectrum detection corrected by adaptive al-alpha-beta filter[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014, 36(10): 2419-2424.
- [8] 戴文舒, 陈新华, 孙长瑜. 被动线谱检测的子带分解和分方位区间融合算法[J]. 应用声学, 2015, 34(3): 227-235.
DAI Wenshu, CHEN Xinhua, SUN Changyu. A fusion algorithm for passive detection of the line spectrum target based on the sub frequency and sub interval statistics[J]. Journal of Applied Acoustics, 2015, 34(3): 227-235.