

文章编号: 0258-7025(2003)03-0282-03

基于 Gabor 展开的水下目标激光探测的信号检测与识别

昌彦君^{1,2}, 彭复员¹, 朱光喜¹, 刘应状¹, 胡颖松¹

(¹ 华中科技大学电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074; ² 武汉理工大学, 湖北 武汉 430024)

摘要 针对水下目标激光探测的信号检测与识别的问题,通过对回波信号的 Gabor 展开进行分析,建立了局部窗口多重相关的峰值检测方法,以及利用系数矩阵的迹和特征值描述目标的反射性能,实现了对目标的分类识别。实验表明,上述方法对目标的有效检测率达 93.0%,分类识别有效率达 83.2%。

关键词 信号检测;水下目标;Gabor 展开;机载激光;识别

中图分类号 TN 249 文献标识码 A

Recognition and Detection of the Laser Sounding Signal for the Underwater Target Based on the Gabor Expansion

CHANG Yan-jun^{1,2}, PENG Fu-yuan¹, ZHU Guang-xi¹, LIU Ying-zhuang¹, HU Ying-song¹

(¹ Dept. of Electronics & Information Eng., Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)
² Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract The paper discusses the detection and cognition of the laser-echo signal of underwater target, based on the ability of the Gabor expansion to localize signals. In virtue of the multiple correlation analysis for the expansion coefficient in local window, the detection method of peak value is founded. By taking the trace and characteristic value of the coefficient matrix as parameters to describe the reflecting ability of underwater target, the classified cognition of the target is carried out. Experimental results show that the effective target detection probability is 93.0% and the classified-recognition probability is 83.2%.

Key words signal detection; underwater target; Gabor expansion; airborne laser; recognition

1 引言

在利用激光技术进行水下目标探测时,吸收和散射效应是决定光在水中传播的基本过程,也是影响激光技术水下探测能力的基本因素。吸收过程减弱了激光传输时的能量,使得远距离目标的回波信号很弱;散射过程改变了其传播方向,引起光分布的复杂变化,导致回波信号中伴随着各种散射噪声。因此,把弱的目标信号从背景噪声中检测出来是水下目标激光回波信号分析的首要任务。另一方面,目标的反射性能也是影响激光水下探测能力的重要

因素,不同反射能力的水下目标导致不同的回波探测信号。因此,描述水下目标激光回波特性,评价目标的反射能力,对于指导目标识别也是十分重要的。

激光水下目标探测时,测得的散射回波中包含了目标的分类特征,目标回波波元中尖峰等奇异点则包含了目标特征的细节信息,这些信息对目标的检测和识别有特殊的意义。Gabor 展开法^[1,2]作为一种时频表示方法,可将信号分解为一组离散的高斯型基元信号,每个高斯型信号即为一个“信息量子”,利用它们可进行目标有无的检测和目标特性的描述。

收稿日期:2001-11-26

基金项目:国防科研预研项目(编号:98-2000 2.3.2)。

作者简介:昌彦君(1964—),男,副教授,博士,现在华中科技大学博士后工作站内从事激光水下目标探测研究。E-mail: yj_chang@263.net

2 信号的 Gabor 展开

设 M, N, T, F 和 L 均为正整数, 且 $MT = NF = L$, 则对于信号长度为 L 的有限序列 $x(k)$, 其离散 Gabor 展开为

$$x(k) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N G_x(m, n) g_{m, n}(k) \quad (1)$$

式中 $g_{m, n}(k)$ 为基函数

$$g_{m, n}(k) = g(k - mT) \exp(j2\pi nFk) \quad (2)$$

$G_x(m, n)$ 为 Gabor 展开系数

$$G_x(m, n) = \sum_{k=1}^L x(k) \gamma_{m, n}^*(k) \quad (3)$$

其中

$$\gamma_{m, n}(k) = \gamma(k - mT) \exp(j2\pi nFk) \quad (4)$$

$\gamma_{m, n}(k)$ 为 $g_{m, n}(k)$ 的辅助双正交函数, 满足

$$\sum_{k=1}^L [g^*(k + mT) \exp(j2\pi nFk)] \gamma(k) = \frac{L}{MN} \delta(m) \delta(n) \quad (5)$$

$$1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq N$$

水下目标激光回波的信号中, 后向散射功率具有近似单指数衰减的特点。由此, 基函数 $g(k)$ 选择为

$$g(k) = \exp\left[-\left(k - \frac{L+1}{2}\right)^2 / 2\sigma^2\right] \quad (6)$$

当 $g(k)$ 确定后, 由(2)式可得到基函数 $g_{m, n}(k)$, 用(5)式计算 $\gamma(k)$, 然后由(4)式得到辅助双正交函数 $\gamma_{m, n}(k)$, 再根据(3)式求得 Gabor 展开系数 $G_x(m, n)$ 。

3 目标信号的检测与描述方法

3.1 相关检测

对信号进行 Gabor 展开, 利用 Gabor 展开在时间域和频率域局部化信号的能力可有效地提高信号的可分离性, 检测未知波形的暂态和到达时间。由于目标回波的相关性和噪声的非相关性, 因此可利用时频局部化信息和能量分布, 以及目标回波与水体后向散射(和其他干扰噪声)间频率分布的差异进行信号检测。为此, 提出基于 Gabor 展开的相关检测, 来突出目标的回波信号, 削弱水体后向散射的影响。水下目标回波信号的相关检测的算法为: 1) 计算信号 $x(k)$ 的 Gabor 展开获得展开系数 $G(m, n)$; 2) 计算展开系数局部窗口三重相关; 3) 三重相关峰值检测。由于 Gabor 展开系数 $G(m, n)$ 反映了非平稳信号 $x(k)$ 的局部频率特性, 即是通过某时间内

局部窗口来观察信号, 因此在这个窗口内信号是近似平稳的。定义如下展开系数的局部窗口三重相关^[3]

$$I^{(3)} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [G(m+i, n+j) - M_{ar}]^3 \quad (7)$$

式中, M_{ar} 为局部窗口内 $G(m, n)$ 的均值, I 和 J 分别表示局部窗口的长和宽。利用三重相关集平均抑制白噪声, 以及在噪声中含有信号的情况下只有信号的三重相关才出现峰值的特性, 最大限度地吸收有用信号的能量, 抑制噪声的干扰, 从而实现在低信噪比条件下的信号检测。

3.2 特性描述

不同性质的水下目标的回波特性(如脉宽和幅度)存在着差异, 这些差异反映在瞬时频率的变化上。因此, 可根据时频局部化特性的变化规律性和能量的高度聚集性, 借助于图像分析中的纹理分析思想^[4], 在 Gabor 展开系数矩阵上进行二次特征抽取, 构造描述纹理综合信息的特征量, 为确定信号的特性提供依据, 进而区分和识别目标。

信号展开后的系数矩阵的迹(T)和特征值($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$)的大小反映了信号展开系数的一种分布特性, 可作为信号特性描述的特征参数。反过来, 可根据这些特征参数的相对大小, 对信号进行分类识别。

4 实验结果

用于实验的数据有两种, 一种是机载激光海洋探测试验的数据, 另一种是船池实验获得的数据。它们是由同一套探测系统所采集, 有关探测系统的技术指标和数据采集方式可见参考文献[5]和[6]。

4.1 机载激光海洋探测试验数据

取三组不同情况下的机载激光海洋探测系统的接收信号, 分别为有目标信号、非目标信号和无目标信号的情况。对它们进行 Gabor 展开后, 再对 Gabor 展开系数作局部窗口的三重相关峰值检测和特征参数的计算。每组信号 10 个样本的平均值结果见表 1 所示。从表中可见, 有目标的信号的特征参数明显区别于无目标和非目标的特征参数, 尤其第一特征值和第二特征值远大于其他特征值, 即有目标信号的能量分布更为集中, 这也是有目标信号的三重相关峰值远大于其他信号的原因之一。由此可见, 对信号进行 Gabor 展开、三重相关后, 有效地突出了目标的回波信号, 削弱了水体后向散射包络的影响, 能较好地检测目标。

4.2 船池实验数据

对船池实验中的两类数据进行了计算。一类是不同材质的目标,另一类是不同颜色的目标。数据归一化后,对它们进行 Gabor 展开和特征参数的计算。计算结果分别列于表 2 和表 3。表中显示,有目标的信号的迹和第一特征值明显区别于无目标的特征参数,尤其是迹的变化,较好地反映了水下不同

目标反射能力的差异。在材质方面,不同目标的迹从大到小的顺序为:涂色的熟铁板(除黑色外),鱼群,水泥板,铸铁;在颜色方面,从大到小的顺序为:白色,绿色,灰色,墨绿色,黑色。这些计算的结果(即:按迹排序的相对大小)与实验数据中对应目标反射强度的大小是相一致的,因此,迹的大小能够指示目标的相对反射能力。

表 1 机载激光海洋探测试验的三组不同接收信号的特征参数比较

Table 1 Comparison of characteristic parameters of three groups of airborne trial data

	$I^{(3)}/10^4$	T	λ_1	λ_2	λ_3
With target	1.923	91.97	66.58	66.43	9.321
Non-target	0.561	40.26	29.56	28.32	9.456
No-target	0.002	6.066	5.874	5.107	4.417

表 2 水下不同材质目标激光回波信号的特征参数比较

Table 2 Comparison of characteristic parameters of targets with different material

	T	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
No-target	0.1731	0.3171	0.3168	0.2431	0.1623	0.1505
Wrought iron	0.3010	0.3540	0.1471	0.1261	0.1005	0.0810
Cement plate	0.5183	1.1156	0.8841	0.6539	0.4552	0.1769
Shoal of fish	0.7284	0.7876	0.7464	0.4290	0.2897	0.2044

表 3 水下不同涂色的同材质(熟铁板)目标的激光回波信号的特征参数比较

Table 3 Comparison of characteristic parameters of the wrought plates painted in different color

	T	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
Black	0.6062	0.5364	0.4904	0.3686	0.3590	0.2941
Blackish green	1.0366	1.0325	0.9837	0.6684	0.6295	0.3428
Gray	1.1841	1.1855	1.1232	0.9861	0.7389	0.3195
Green	1.6613	1.6570	1.5712	1.1246	0.8439	0.3309
White	2.3617	2.1552	2.1974	1.7592	1.1509	0.4292

5 结 论

水下激光探测信号经 Gabor 展开后,有效地分离了存在频率分布差异的目标回波与其他后向散射干扰;当局部窗口内有目标信号存在时,采用基于背景分析的 Gabor 展开系数三重相关方法,突出了目标的回波信号,削弱后向散射包络的影响,进而实现低信噪比且噪声与背景信号相关条件下的弱信号的检测。由 Gabor 展开系数构造的特征参数(迹和特征值)的大小存在明显的差异,较好地表现不同水下目标在反射能力方面的差异性。

参 考 文 献

- 1 D. P. Casasent, J.-S. Smokelin, A. Ye. Wavelet and Gabor transforms for detection [J]. *Opt. Eng.*, 1992, **31**(9):1893~1898
- 2 B. Friedlander, B. Porat. Detection of transient signal by the Gabor representation [J]. *IEEE Trans. ASSP*, 1989, **37**(2):169~179
- 3 Chen Rujun. Triple correlation peak inspecting technique in IR detection systems [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (红外与毫米波学报), 1998, **17**(4):277~281 (in Chinese)
- 4 Guanao Rong. Computer Image Processing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000. 289~290 (in Chinese)
- 5 Zhu Xiao, Yang Kecheng, Li Zaiguang. The experiment of airborne laser bathymeter [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25**(5):470~472 (in Chinese)
- 6 Yang Kecheng, Zhu Xiao, Li Zaiguang. Compression of large dynamic range returned signals by polarization detection in airborne laser bathymetry system [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(1):74~76 (in Chinese)