

基于多波束背向散射数据的海底底质分类

罗伟东, 郭 军

(中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510760;

国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州 510075)

摘要:基于精细处理后的多波束数据生成背向散射影像图,利用灰度纹理共生阵提取影像纹理特征参数,采用支持向量机的神经网络(SVM)对背向散射影像进行底质分类研究。通过实测大面积、海量数据对该方法进行评价和验证,结果表明,该方法可获得比传统分类方法更高的分类精度,这种面状分类弥补了传统点状分类的缺陷,使得大规模、大范围、高效快速的海底底质分类成为可能,为海洋地质调查、海洋工程建设、海底矿产资源开发等提供一种新型的科学的技術方法和可靠的地质基础资料。

关键词:背向散射;海底底质分类;支持向量机;灰度共生矩阵;纹理特征

中图分类号: P631.5

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.08008

海底底质类型特征是海洋地质调查、海洋工程建设、海底矿产资源等领域中重要的海洋环境信息^[1],其调查手段主要包括传统的直接海底取样以及声学、光学、电磁波等间接遥感方式,其中的声学方式称为声学海底分类(Acoustic Seabed Classification, ASC)^[2,3]。传统的海底底质探测与分类费时费力、劳动强度大、作业成本高,很难开展大范围内的海底底质分类,多波束系统获得的海底图像能反映背向散射强度,强度大小能表示不同的底质类型,也能够呈现出底质的纹理结构,纹理是海底表面结构粗糙程度的直接反应^[4,5],是属于特定类型的海底底质特有的属性,能区分不同类型的海底底质^[6],因此,可结合背向散射强度和纹理来进行的海底底质分类。

近年来神经网络的广泛应用为海底底质分类提供了新的方法,国内学者发表了不少相关的论文,并通过实测数据进行了相关研究,取得了较好的效果,但研究区域往往很小,有些仅仅只有几公里的单条测线,并且没有与海底站位取样数据进行对比分析与验证,大面积大区域的浅水海域的分类应用实例没有。为此,本文以实际大区域大面积海底地质调查多波束数据为基础,结合真实的海底站位取样数据和历史地质数据,来进行浅水海域的海底底质分类研究。

1 处理流程

多波束测深数据的精细处理是底质类型识别的重要步骤,是获取高质量背向散射图像的基础:在完成数据初步处理后,采用专业的数据处理软件进行人机交互处理,最大限度剔除多波束干扰(跳变或边缘等)数据对背向散射数据的影响。

背向散射数据的改正主要包括时间增益改正、波束照射区面积改正及地形改正(图1)。

收稿日期:2017-05-05

基金项目:中国地质调查局项目(DD20160138, DD20160140, GZH201400209);国土资源部海底矿产资源重点实验室基金(KLMMR2012-A-15)

作者简介:罗伟东(1977-),男,硕士,高级工程师,主要从事海洋区域地质调查研究工作。E-mail:lwd@hyd.cn

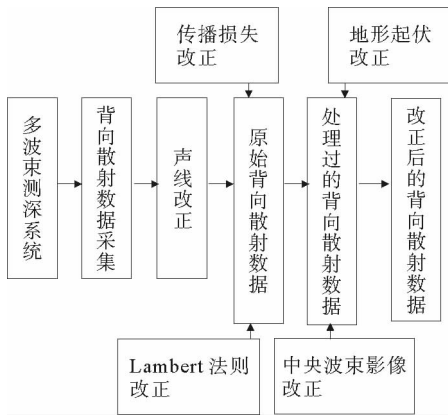


图1 背向散射数据处理流程

Fig.1 The process of the backscatter data

多波束背向散射数据的时间增益改正可依据下式来进行补偿:

$$EL_r = 2TL_r - RL_r = 40\lg r + 2\alpha r/10^3 -$$

$$10\lg \frac{c\tau}{2} \theta_H r + S_B$$

式中: EL 为总衰减量, dB;

$2TL$ 为传播损失, dB;

RL 为混响级, dB;

r 为距离, m;

α 为衰减系数, Db/km;

τ 为发射脉冲宽度, ms;

θ_H 为换能器水平开角, rad;

S_B 为背向散射强度, dB。

经过时间增益改正之后,可获得与声波传播路径和波束指向性无关而仅与海底底质有关的背向散射强度。

根据声强的定义可获得多波束系统接受到的背向散射强度影像地形校正模型为:

$$BS_H = BS_T + 40\lg n + 10\lg \alpha - 20\cos i -$$

$$40\lg \left[\sum_{n=1}^m \arccos(c_n/c_{n-1}) \right]$$

当波束入射角位于中央波束附件($\theta \approx$ 波束入射角)时,海底固有背向散射强度通常近似为一常数;当 $0 < \theta < \theta_{\text{critical}}$ 时,海底固有散射强度随入射角作线变化;当 $\theta \geq \theta_{\text{critical}}$ 时,海底固有散射强度随入射角的变化服从 Lambert 法则。

经过背向散射强度增益校正和地形校正后,获得“纯”量的背向散射强度能够真实地反映海底底质特征,为下一步背向散射强度影像图的生成

提供可靠的数据。

2 底质分类

底质分类包括特征参数的提取和分类器的构建两方面。

灰度共生矩阵(GLCM, Gray level co-occurrence matrix)可定义出多种描述图像纹理的特征参数。Pohanian^[6]研究结果表明,基于灰度共生矩阵的方法要优于其他方法。因此,本研究采用此方法进行纹理特征分析。

本研究采用支持向量机(SVM, Support Vector Machine)算法来进行分类模型构建。使用粒子群优化算法(POS, Particle Swarm Optimization)对 SVM 分类的参数进行优化^[6]。

3 实验分析

3.1 数据来源

本研究多波束水深和背向散射数据主要由广州海洋地质调查局的调查船采集,测量设备为 EM710S 多波束测深系统。所采集水深数据经过全深度声速剖面水深测量校正、系统参数校正、船姿校正等后处理流程。

本研究多波束调查区的地质取样站位及相关测试数据来源于广州海洋地质调查局 25 万区调项目,站位间距 5 km×5 km。

3.2 地形地貌特征及底质类型概况

研究区水深范围为 20~60 m,海底坡度在 $0^\circ \sim 1^\circ$,整体的地形趋势为自 NE 向 SW 向缓慢倾斜下降。北部地形相对复杂,发育大面积的海底沙波、零星分布的新月型沙丘、数条规模较大的 NW—SE 向潮流沙脊及潮流冲刷槽,南部地形相对平坦。历史资料显示,海底底质主要为砂质,其中以细砂、粉细砂、粉砂等细粒沉积物为主,中砂、粗砂、中粗砂等较粗颗粒沉积物相对较少;其次为淤泥沉积物;砾石、硬质黏土等底质分布较少。

3.3 分类方法优选

本研究分别对基于背向散射强度的 SVM 分

类、基于纹理的比较 SVM 分类和结合纹理和背向散射强度的 SVM 分类的结果进行评估,拟寻找出最适合背向散射影像的分类方法。采用上述 3 种方法,对测试样本进行分类研究,样本的背向散射纹理特征和信息明细如图 2 和表 1 所示,实验结果如表 2 所示。

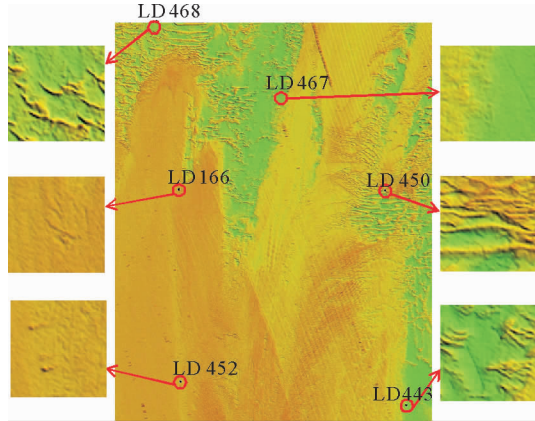


图 2 取样站位背向散射纹理特征

Fig. 2 The backscatter texture features of the Geological sampling station

表 1 取样站位信息明细

Table 1 The list of the Geological sampling station

编号	水深/m	粒级含量/%				底质类型
LD466	40	0.00	15.56	63.74	20.7	黏土质砂
LD467	43	42.4	25.92	23.67	8.01	砂质砾石
LD468	35	10.64	20.01	52.10	17.25	砂质粉砂
LD443	41	0.00	38.43	47.54	14.12	砂质粉砂
LD450	31	0.17	99.83	0.00	0.00	砂
LD452	36	0.00	47.06	41.89	11.05	粉砂质砂

表 2 三种分类方法分类精度对比

Table 2 Accuracy comparison of three classification methods

分类方法	精度	Kappa 系数
背向散射强度	73.22%	0.613 0
纹理信息	90.36%	0.812 8
纹理结合背向散射强度	96.65%	0.885 7

从表 2 中可以看出,纹理信息结合背向散射强度分类法,所采用的信息更加丰富,充分利用、挖掘声纳影像所包含的信息,分类精度比前两种

方法有大幅度的提高,达到 96.65%,错分现象显著减少。从总体上看,纹理信息结合回波强度分类法,与背向散射强度分类法及纹理信息分类法相比,表现出较强的优越性。故本文采用纹理信息结合背向散射强度来进行海底底质分类研究。

3.4 实测数据分类

首先是对多波束测深数据的精细处理,精细处理后有效去除的波束的跳变和边缘波束的误差。

其次是背向散射数据的处理,图 3 为处理前后背向散射影像对比图。从图中可以直观地发现,处理后前相邻条带之间的拼接痕迹非常明显,使得整图呈现出异常明显的条带痕迹;噪点较多,地物地貌轮廓模糊,几乎无法分辨与识别不同底质类型。处理后的回波强度影像整体光滑,地物地貌清晰,色调分明,条带之间几乎没有凭借痕迹,过渡平滑,纹理结构清晰明了。

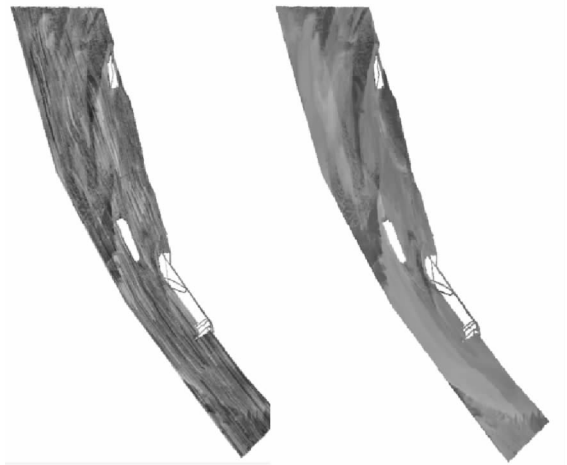


图 3 处理前后背向散射影像对比

Fig. 3 Backscatter images picture before and after fine data processing

从上述分析可也看出,纹理特征结构与站位底质类型之间有着较高的一致性,表明纹理特征结构是不同底质类型的一种可靠有效的直观反映,通过分析纹理特征结构可以将不同类型的底质类型识别与区分开来,同时也验证了将回波强度影像的纹理特征结构用于海底底质分类应用中的可行性和可靠性。

从图4和表3可以看出,红色区域主要以砂质粉砂底质为主;橙色区域主要以粉砂质砂为主;绿色区域主要以砾质砂为主。

图5中绿色线条为传统底质分类方法划分的不同底质界限,底图为背向散射强度分类图,背向散射强度分类底质划分图和传统分类底质划分图存在以下3种情况:第1种情况:在地形起伏变化

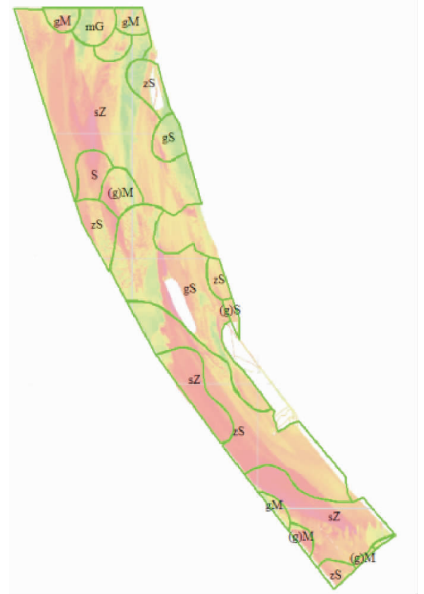
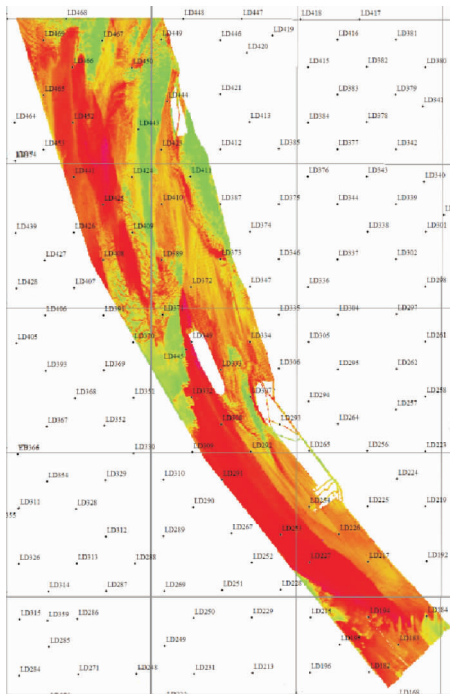


图4 研究区背向散射强度底质分类与站位叠加
Fig. 4 Stacking chart of seabed classification of backscatter intensity and station of study area

图5 研究区背向散射强度底质分类图与传统底质分类图界线相叠加
Fig. 5 The stacking chart of seabed classification of backscatter intensity and the traditional classification boundary of study area

表3 背向散射强度与站位底质类型对应关系

Table 3 Relational form of backscatter intensity and seabed types of the station

区域颜色	落在该区域的站位编号	底质类型	推算的区域底质类型
红色	LD227、LD253、LD291、LD308、LD332、LD452、LD466	砂质粉砂(sZ)	砂质粉砂(sZ)
	LD253、LD332	粉砂质砂(zS)	
橙色	LD217、LD226、LD254、LD292、LD334、LD372、LD444	粉砂质砂(zS)	粉砂质砂(zS)
	LD183 和 LD410	砂质粉砂(sZ)	
绿色	LD307、LD371、LD411、LD450	砾质砂(gS)	砾质砂(gS)

不大,较为平坦的区域,两者范围基本相同,底质类型基本相同,此种情况两者的吻合度高;第2种情况:在地形复杂多变的区域,两者范围不同,底质类型不同,此种情况两者吻合度很低;第3种情况:地形处于前两种情况之间,两者的范围有很大一部分的重合,底质类型也有重合,吻合度较高。

种为纯红色、纯绿色和纯橙色3种区域,分别对应砂质粉砂、砾质砂和粉砂质砂,这3种区域的底质类型与传统的底质在范围和类型上吻合度最高,本研究认为针对第1种情况,基于背向散射强度划分的底质类型边界在可靠性较高,因此,采用基于背向散射强度分类所划分的底质边界来作为调整后的底质分类边界;第2种情况为底质类型基本吻合,范围上有差别,为此采用基于背向散射强

综上所述,在基于背向散射强度的底质分类方法的基础上将底质的边界分为3种情况:第1

度的底质分类边界作为调整后的边界;第 3 种情况为底质类型和范围吻合度较差,主要原因为该区域为不同类型底质混合区域,且分布没有规律可言。5 km×5 km 的站位取样间隔过大,其样本类型完全不能代表该区域的表层沉积物类型;背向散射强度数据密度大,可达米级,能较为全面准确地反映该区域的表层沉积物分布规律。该区域

为多种底质类型混合区,若将该区域认定为单一底质类型不符合实际情况,故倾向于采用基于背向散射的分类边界。

按照上述 3 种情况的底质边界调整方案,对研究海域的底质分类边界进行调整,重新划分底质分类边界。图 6 为调整前后的研究区底质分类对比图。

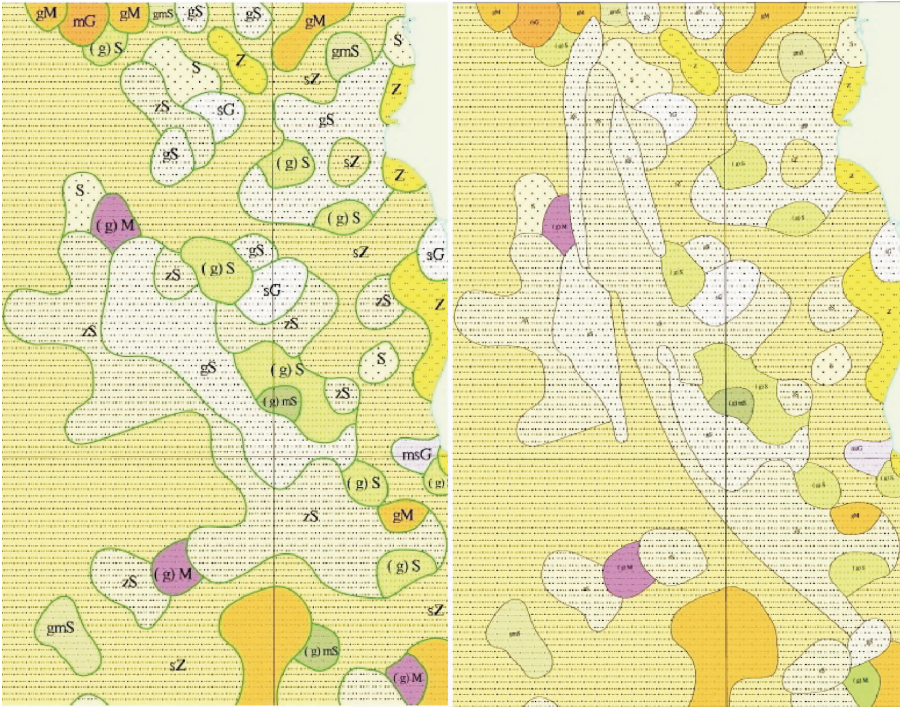


图 6 调整前后研究区底质分类对比

Fig. 6 Seabed matter classification comparison of study area before and after adjustment

4 结论

(1)本研究是国内首次成功应用背向散射强度海底底质分类方法进行大面积浅水海域底质分类。

(2)基于背向散射强度数据进行海底底质分类是一种新型的海底底质分类技术方法,最大的技术优势是其为一种面状分类,改变了传统的单一点状分类,数据密度高、可信度高,避免了传统方法的误分类,分类界限更加明确、更加清晰,使得大规模、大范围、高效快速的海底底质分类成为可能。

(3)本研究对几种典型的海底底质类型如砾质砂、粉砂质砂、砂质粉砂分类的可靠性和分类精度较高;平坦区域底质分类可靠性及精度最高,分类结果与真实的海底有着较高的吻合性;本研究的分类方法能够有效识别出地形变化较大的沉积物混合区域的底质类型及其分布规律,弥补了传统分类方法的缺陷与不足。

(4)本研究掌握了基于多波束背向散射强度进行浅水海底底质分类的关键技术,总结并形成了一整套普适性较强的海底底质分类技术流程,对大区域大范围的深水海底底质分类研究具有一定的借鉴和参考价值。

(5)依据多波束背向散射强度分类结果对现

有的表层沉积物类型图进行部分修正,进一步提高了不同类型底质边界的精度。

参考文献:

- [1] 陶春辉,金翔龙,许枫,等. 海底声学底质分类技术的研究现状与前景[J]. 东海海洋, 2004, 22(3): 28-33.
- [2] Anderson J T, Van Holliday D, Kloster R, et al. Acoustic seabed classification of marine physical and biological landscapes[R]. ICES Cooperative Research Report No. 286. Copenhagen V, Denmark; International Council for the exploration of the Sea, 2007: 1-7.
- [3] Anderson J T, Van Holliday D, Kloster R, et al. Acoustic seabed classification: current practice and future directions [J]. ICES Journal of Marine Science, 2008, 65(6): 1004-1011.
- [4] Preston J M, Christney A C, Bloomer S F, et al. Seabed classification of multibeam sonar image [J]. Oceans, 2001(4): 2616-623.
- [5] Michalopoulou Z H, de Moustier A D. Application of neural and statistical classifiers to the problem of seafloor characterization [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1995, 20(3): 190-197.
- [6] 郭军, 马金凤. 基于粒子群优化算法的 SVM 神经网络在海底底质分类中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(12): 66-68.
- [7] 张国堙, 陶春辉, 李怀明, 等. 多波束声参数在海底热液区底质分类中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(7): 59-65.
- [8] 金绍华, 翟金生, 刘雁春, 等. Simrad EM 多波束反向散射强度数据精细处理研究[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 106-108.

SEABED SEDIMENT CLASSIFICATION BASED ON MULTIBEAM BACKSCATTER DATA

LUO Weidong, GUO Jun

(Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510760, China;
Key Laboratory of Marine Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510075, China)

Abstract: This paper introduces a method for seabed sediment classification. At first, texture features are extracted by gray level co-occurrence matrix based on backscatter image of multibeam data, then seabed sediment classification is carried out with supporting vector machine(SVM) using the backscatter combined with backscatter image. The result of classification by this method is better than the traditional method based on point data according to our practice. It will certainly make the regional marine geological survey more efficient and reliable.

Key words: backscatter; seabed classification; SVM; GLCM; texture features