

探雷声呐随机触点产生机理与分布

马爱民, 张琦, 崔鹏
(海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018)

摘要 探雷声呐搜索水雷时会发现录取大量随机触点, 导致分类辨识效率低下。用海底微小目标的随机强反射特性解释随机触点的产生; 运用聚类方法获得海底小目标的概率分布曲线, 划分纯随机虚触点、低重复虚目标和高重复似雷目标3个组成部分; 提出直接剔除虚触点可有效提高辨识效率。

关键词 声呐探雷; 随机触点; 微小目标; 分布特点; 分类效率

中图分类号 TJ61+7 文献标识码 A

Generating Mechanism and Distribution of Random Contacts of Mine Detecting Sonar

MA Aimin, ZHANG Qi, CUI Peng
(Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract When mine detecting sonar searches mine, it will find a large number of random contacts, which leads to inefficient classification and identification. The random strong reflection characteristics of small targets on the seabed are used to explain the generation of random contacts. The probability distribution curve of small target is obtained by clustering method. It is divided into 3 parts; pure random virtual contacts, low repetitive virtual target and high repetition mine-like target. It proposes that the identification efficiency can be effectively improved by eliminating virtual contacts directly.

Key words sonar detecting mine; random contacts; micro-target; distribution character; classification efficiency

1 问题描述

声呐探雷是当前最重要的反水雷手段, 它定向发射高频声波, 并接收海底目标反射的回波, 当回波强度在声呐图像上形成孤立回波点时, 即被视为发现目标, 声呐员可用光标录取其方位距离, 再由指控根据本舰位置对目标完成二次定位, 得到声呐触点。探雷声呐多年的使用经验已证明2种普遍存在的情况^[1-2]: 一是对同区域海底多次搜索时, 每次都会录取数量不等的声呐触点, 并呈现出与海区相关的稳定性; 二是多次搜索录取的声呐触点中, 总有相当一部分触点呈孤立状态, 与其它触点不重合。图1给出2个搜索实例。

图1(a)和图1(b)分别为2个不同的搜索实例, 各自标出作业区和声呐触点, 并以三角符标出

含有2个以上触点的重复目标, 其余为孤立触点。(a)区位于东海, 面积 0.3 n mile^2 , 11次搜索共录取触点231个, 平均每次搜索中录取21个; 作业区内共有触点194个, 其中孤立触点53个。(b)区位于黄海, 面积 0.75 n mile^2 , 4次搜索共录取触点138个, 平均每次搜索录取34.5个; 作业区内共有触点77个, 其中孤立触点58个。这2个搜索实例表明, 在同一海区中, 探雷声呐每次搜索录取的触点数量差别不大, 且有大量触点处于孤立状态, 与其它触点不重合, 呈现出位置随机特性。

不同使用单位在不同海区的大量应用实例表明, 与上述实例类似的随机触点现象具有普遍性, 其数量或密度与海区有关。这些随机触点在后续分类过程中易于排除, 但需消耗大量时间, 根据目前掌握的情况, 即使在最好的海区, 随机触点也会

严重影响猎雷效率。而在最差海区中,随机触点密度可达到每平方海里过百,实际上已经无法执行清除水雷任务。

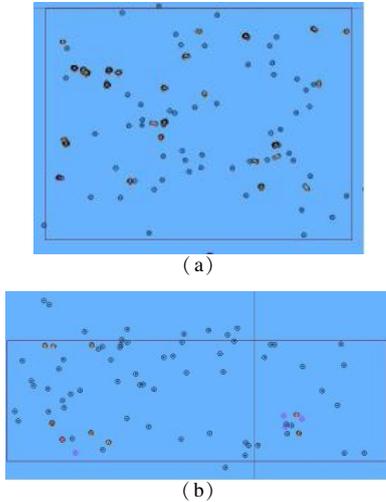


图 1 探雷声呐多次搜索实例

Fig. 1 Multiple searching examples for mine detecting sonar

随机触点现象在国外探猎雷相关文献中也有提及,通常表述为虚警,也提及对猎雷效率有影响,严重时会导致猎雷困难^[3],形成所谓不适合探猎雷的海区等情况。但国外文献中除了讨论一般猎雷作战流程外,并未见到消除虚警的其它技术措施,似乎虚警的影响并不严重,与国内面临的情况有所不同。

综上所述,探雷声呐搜索过程中形成的随机触点,基本特征是位置随机出现,且重复出现的可能性很小,数量主要取决于声呐型号和海区特性。本文以应用实例为对象探讨随机触点的产生机理和分布规律,寻找快速剔除随机触点、提高目标辨识效率的有效方法。

2 随机触点生成机理

海底存在大量自然和人工物体,其尺度、形状、材质各不相同。声呐探测理论中统一用目标强度描述目标的探测特性,在水雷探测问题中,强度接近水雷的目标称为探测似雷目标,强度明显小于水雷的目标可称之为微小目标。

2.1 舰壳声呐录取目标一般方法

使用舰壳式探雷声呐搜索海底时,操作员根据探测声呐图像上回波亮点的大小、强度和稳定性等

特征,判定其是否可能是水雷,并录取其位置。根据声呐探测理论,在自然环境和声呐自身的随机干扰下,即使不存在真实目标,声呐图像上仍然会出现随机回波点。但这种随机回波点不大会连续稳定地出现在同一位置,在舰壳式探雷声呐数秒一次的探测周期下易于排除。由此可见,对于有一定经验的探雷声呐操作员来说,在调整好声呐图像的工作参数后,一旦录取到触点,通常意味着确实存在对应的目标。

2.2 海底微小目标

海底真实目标自然分布、数量众多,包括礁石、地形凹凸、动植物及遗骸、人造物品等,其大小不同,尺度连续分布,且尺度越小数量越多。



图 2 海底微小凹凸地貌与探测似雷石块

Fig. 2 Tiny concave and convex landform on seabed and mine like rock

图 2 是某海区的海底地貌局部图,可见海底表面布满了微小凹凸,图中偏左稍远处隐约可见的较大目标为石块,其附近区域的声呐探测图像如图 3 所示。

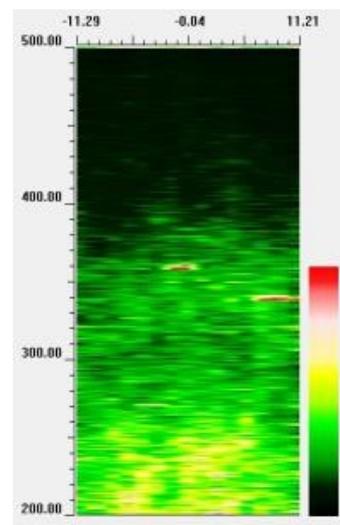


图 3 探测声呐图像

Fig. 3 Detection sonar image

图 3 的中部回波为石块,右侧回波为人工布放的油桶,它们都与水雷回波十分相似,通过预先建立的数据库即可有效排除。除了似雷目标回波外,整个图 3 中还充斥着较弱的回波点,它们应与图 2 中遍布海底的凹凸地形有关。自然环境与此相似的地貌还有砾石、沙纹、碎石等,其共同特点是体积小、数量大,回波强度普遍较弱。

2.3 声呐触点随机性

根据声呐探测理论,目标回波强度与体积、外形和材质有关,通常用二维或三维方向图表示^[4]。海底微小目标体积不大,平均回波强度都很小,但其外形和材质的随机组合,有可能在某个特定方向形成尖锐的目标强度,足以形成似雷回波。这种情况类似于角反射器,虽然目标强度相同,但实际尺度仅为真实目标的十分之一。天然微小目标的强反射张角不会太大,对应某个狭长空间,如果猎雷舰位置航向航速恰好合适,则可在一段时间内形成连续稳定的声呐回波,从而被录取为声呐触点。

除了微小目标强反射方向分布和猎雷舰运动的随机性外,声呐录取目标还存在多种随机因素影响,如海洋背景噪声的周期性起伏改变目标信噪比^[4]、同频干扰^[5]、操作员的差异和观察判断录取的随机性等^[6]。在多种随机因素的综合影响下,单个微小目标被录取的概率很小,但大量微小目标同时存在,即可在每次搜索中呈现出一定录取率。然而对某个已被录取的小目标,再次被录取的可能性仍然很低,表现出难以重复录取的特性。海底微小目标的随机性和孤立性,可类比地面散落的大量碎玻璃,移动的观察者可观察到一些强反光点,但每个点都一闪而过,很难被再次观察到。根据目前经验,探雷声呐搜索过程中,随机触点的出现间隔为几分钟,情形类似于泊松点。

2.4 声呐触点重复性

尺度或回波强度似雷的目标,在多次搜索中会被重复录取,并散布在定位误差范围内。随着目标回波强度减小,重复录取率必然随之下降,逐渐退化为非重复的孤立触点,可见目标自身的强度是其被重复录取的重要因素。这种自身重复性对微小目标可能性很小,但因其总数量很大,因而仍然有

可能被观测到。

除了同一目标被重复录取的情况外,不同目标也有可能产生重复触点,注意这里所讨论的是大量微小目标的情况,不包括彼此靠近的 2 个似雷目标形成的重复触点。如果将大量微小目标视为纯粹的随机点,则在定位误差限定的范围内,有可能同时出现多个随机点。实际应用中可以根据触点间的距离和定位误差判定其是否属于重复触点,但难以区分它们是否来自同一目标,这会导致声呐触点的建模和预测变得复杂^[7]。

3 随机触点分布特点

表 1 实例 a 触点统计结果

Table 1 Statistical results of contacts in example a

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>p</i>	0.09	0.1820	0.2730	0.3640	0.4550	0.5450	0.6360	0.7270	0.8180	0.909	1
<i>Y</i>	53	9	3	5	1	1	0	1	0	3	4

为了全面考查随机触点的分布情况,对图 1 中实例(a)中作业区内 194 个触点进行聚类分析^[8],原则是触点间最大距离不超过由定位误差所限定的某个门限值,共得到 80 个聚类组。再依据各聚类组所含触点数统计数量,得到触点的重合向量 $Y = (53, 9, 3, 5, 1, 1, 0, 1, 0, 3, 4)$,其中第 n 个分量 y_n 表示含有 n 个触点的聚类组数。相关统计数据如表 1 所示。

表 1 中 n 和 Y 是原始数据, n 表示重合次数, Y 表示 n 重合聚类组的数量,例如 $(n, Y) = (2, 9)$ 表示 2 触点聚类组有 9 个,共计 18 个触点。原始数据与作业区面积和搜索次数相关,需要归一化。重合次数 n 归一化为 $p = n/k$, k 是最大搜索次数, p 的实际意义是目标发现频率,且 k 越大越接近概率。重合点数量 Y 归一化为 $y = Y/s/k$, s 是作业区面积。 y 的直观意义是单位面积搜索一次录取触点的平均数。实例(a)中总搜索次数 $k = 11$,作业区面积 $s = 0.3 \text{ n mile}^2$ 。绘制 $Y \sim p$ 曲线如图 4 所示。

图 4 中纵坐标是重合点数 Y ,横坐标是概率 p 。与目标真实情况对比可知, $Y \sim p$ 线可分为 3 个部分:第一部分集中在 $p = 1/11$ ($n = 1, k = 11$) 处,主要来自发现概率极小但数量很多的微小目标,是典型

的孤立随机点,称为虚触点。第 2 部分在 $p = 2/11 \sim 6/11$ ($n = 2 \sim 6$) 各点上,主要来自发现概率很小且数量较多的目标,当它们被重复发现时即形成目标,但概率明显低于水雷,称为虚目标。显然目标越小越容易形成虚触点,而目标越大越容易形成虚目标。第 3 部分在右半侧 $n \geq 6$ 各点上,主要来自尺度与水雷相近、但数量不是很多的较大目标(含水雷),统称为似雷目标。

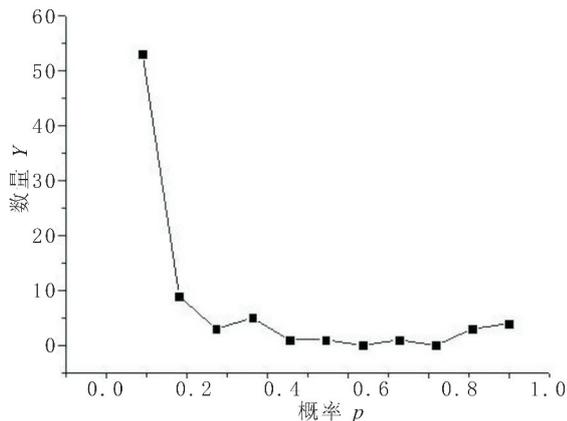


图 4 实例(a)的数据图

Fig. 4 Data diagram of sample (a)

上述虚触点、虚目标和似雷目标的分布情况,虽然是基于观测结果的讨论,但已能够反映出海底目标依概率分布这一客观事实,与是否进行过观测没有关系。试想当观测次数 $k \rightarrow \infty$ 时,统计结果将趋于真值。实例(a)搜索次数 $k = 11$,似雷目标已接近真值,虚目标也具有一定代表性。

来自不同使用部门、时间和地点的大量应用实例已经证明,虚触点和虚目标的数量远多于似雷目标,它们消耗的辨识时间远超过似雷目标,是提高探猎雷效率面临的最大问题。更值得注意的是,目前受到高度重视,并认为能有效提高目标探测辨识效率的小目标数据库,并不能解决虚触点和虚目标问题。因为数据库只能排除重复发现的目标,在新的搜索任务中,似雷目标发现概率高,易于重复发现,通过比对数据库中的旧目标即可快速排除,但与旧目标不重合的大量虚触点和虚目标,无法通过数据库比对排除。如何快速排除虚触点和虚目标,是探雷声呐面临的一个重要问题。

观察重合向量可以发现,虚触点数量占比很大,并且集中在 $n = 1$ 处。因而可以想到,在多次搜

索后,只需通过聚类分析筛除全部孤立触点,便可大幅度提高辨识效率。当然这种措施会增大漏探概率,为此需要更多的搜索次数,可见在直接分类识别和多次搜索后聚类筛选两种策略之间需要对比优化,才能达到最高的工作效率。

4 结束语

对探雷声呐录取的触点进行聚类分析,统计聚类组的分布情况,可以得到以下结论:1)大数量、低概率的微小目标物理模型,能合理解释探雷声呐触点的随机分布特性。2)声呐触点聚类统计能揭示海底微小目标和似雷目标的分布规律,具有实用价值。3)完全孤立的虚触点占有很高比例,且相对易于排除,有利于提高水雷的辨识效率。

探雷声呐在国内应用已有十余年,但对海底小目标的相关研究进展仍然缓慢。随着未来探雷声呐装备的普及,该领域的基础性研究必然逐步展现出重要性,并具有广阔的发展空间。

参考文献

- [1] 马爱民. 探雷声呐目标的概率分类技术[J]. 指挥控制与仿真, 2017, 39(3): 1-4.
- [2] 马爱民. 探雷搜索过程的状态空间模型[J]. 水雷战与舰船防护, 2017, 25(2): 1-4.
- [3] DISCENZA J H, HAGLICH P P. Structured essential model for mine warfare[R]. US: Daniel H. Wagner Associates, Inc., 1996.
- [4] 尤立克. 水声原理[M]. 洪申,译. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990.
- [5] 朱穆华, 徐卫明, 王美娜. 侧扫声呐水下目标声图判读方法[J]. 海军大连舰艇学院学报, 2013, 36(3): 62-64.
- [6] 赵宝军, 马首刚, 张晓永, 等. 某型声呐探测海底目标位置的精度解析与运用[J]. 水雷战与舰船防护, 2016, 24(2): 69-73.
- [7] 陈信钦, 林春生, 张永志. 基于改进的 Markov 过程模型和作战评估[J]. 武汉理工大学学报, 2010(6): 159-167.
- [8] DUDA R O, HART P E, STORK D G. 模式分类[M]. 李宏东, 姚天翔, 译. 北京: 机械工业出版社, 2003.