基于形态学处理的 X 波段雷达溢油监测结果再判别技术研究*

王　娟[1,2]，单春芝[1,2]，高晓慧[1,2]

（1. 国家海洋局北海环境监测中心　青岛　266033；2. 国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室　青岛　266033）

摘　　要：溢油探测系统（Oil Spill Detection，OSD）在识别溢油信息的过程中会出现大量的误判信息，需要人工加以判断剔除。文章通过对溢油雷达监测结果误判信息的来源分析，利用形态学图像处理的方法，通过信息提取、设置判别条件、误判信息剔除等过程，实现对溢油雷达监测结果中的误判信息的再次判别。实验结果表明，本研究的方法能够有效地剔除海量监测结果中的误判以及无用信息，筛选最可信的雷达溢油监测图像，能够减轻监测人员的工作量，提高溢油雷达对平台溢油信息监测的准确性和雷达溢油监测的业务效率。

关　键　词：石油平台；雷达；监测；再判别

1　引言

X 波段雷达是一种有效的定点溢油监测工具，结合溢油探测系统，能够快速地发现到监控范围内出现的溢油信息，国内外已开展了不少利用雷达监测溢油信息的研究[1-3]，李丹、赵朝方等[4]应用模式识别领域中的模糊逻辑理论，建立区分海面溢油与疑似溢油的检测模型，对业务化海洋遥感溢油检测具有参考价值；邹亚荣，卢青等[5]基于 SAR 后向散射的海上溢油检测研究；Solberg 等[6]利用贝叶斯分类器方法对溢油现象进行识别，并将环境信息引入模型（如油膜区域与船只的距离），达到了较高的分类准确率；Frate 等[7]利用多层感知器神经元网络方法识别溢油也取得到了较好的结果；Topouzelis 等[8]采用 RBF 神经网络方法探测 SAR 图像中的海上溢油，该方法主要利用 SAR 图像产生的 5 个海面油膜几何特征作为神经网络的输入数据，对网络进行训练并进一步提高分类识别精度。

实际上，低风速区、生物油膜、海洋内波等诸多因素也都在雷达图像上表现出与原油泄漏相同或相似的特征[4]，受其干扰溢油探测系统的监测结果中往往出现大量的误判信息，需要工作人员去逐一确认，增加了工作的频繁型和重复性。本研究针对溢油探测系统监测结果中出现的误判信息，首先分析其出现的原因，利用形态学图像处理的方法，实现误判信息的剔除，筛选最可信的溢油监测结果，提高雷达溢油监测的准确性，减轻工作人员的工作量。

2　数学形态学

2.1　二值腐蚀与膨胀

2.1.1　二值腐蚀

二值腐蚀过程所记录的是所有满足条件的点的集合。设有结构元素 S，二值影像中非零元素集合 X。设置 S 的原点，将 S 平移 x 后得到 S_x，若 S_x 中的元素与 X 中的元素完全吻合，我们记下这个 x 点，遍历图像，所有这些点集合就是 X 被 S 腐蚀的结果，结果如下式：

$$X\Theta S = \{x \mid S_x \subset X\} \tag{1}$$

2.1.2　二值膨胀

把结构元素 S 平移 x 后得到 S_x，若 S_x 与 X 相交不为空，我们记下这个 x 点，所有满足上述条件的 x 点组成的集合称作 X 被 S 膨胀的结果。用公式表示为：

* **基金项目**：国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室基金项目“雷达溢油监测结果再判别技术研究”（201204）；海洋公益性行业科研专项经费资助项目“项目海洋溢油污染风险评估及应急响应关键技术集成及示范应用”（201205012）.

$$X \oplus S = \{x \mid S_x \bigcup x \neq \Phi\} \quad (2)$$

膨胀的过程是一个扩大目标轮廓的过程。X、S 同上，膨胀的过程就是，设定好 S 的原点，通过移动 S，并且和 X 上的点对比，如果集合 S 中有一个点与 X 内某一点重合，则 S 的原点就作为膨胀结果记录。

2.2 二值开、闭运算

2.2.1 二值开运算

二值开运算是一种组合元运算，由腐蚀和膨胀运算来完成。从影像填充方面看，它的几何表现形式更加直观，这也是其应用的特点所在。利用结构元素 B 对图像 A 进行开运算，可用符号 A。B 来表示，其定义为：

$$A \circ B = (A \Theta B) \oplus B \quad (3)$$

2.2.2 二值闭运算

二值形态闭是开运算的对偶运算，先膨胀再腐蚀得到闭运算结果。利用结构元素 B 对 A 作二值闭运算可表示为 A·B，其定义为：

$$A \cdot B = (A \oplus B) \Theta B \quad (4)$$

根据二值闭运算与开运算的对偶性，二值闭运算可表示为：

$$A \cdot B = (A^C \circ B)^C \quad (5)$$

二值闭运算有消除影像的砂眼噪声、填充影像孔洞的作用。可以利用这种运算连接不相连通的多种图像结构。

2.3 形态重建功能

形态学重建功能图像处理中一个实用的操作，它的主要过程就是根据掩模图像对标记图像进行多次膨胀运算，直到重建结果不在变化为止。重建可以对二值图像也可以对灰度图像。

需要注意的是，形态重建是基于掩膜图像和标记图像进行的，结构元素在整个过程中形态结构中仅用于定义连接性。设 g 为掩膜图像，f 为标记图像，则从 f 重建 g 可表示为 $R_g(f)$，则形态学重建有以下迭代过程定义：

① h_1 将定义为初始化标记图像 f；②创建结构元素 B；③重复膨胀 $h_{k+1} = (h_k \oplus B) \cap g$，直到 $h_{k+1} = h_k$。

以上标记图像必须是掩膜图像 g 的一个子集，即 $f \subseteq g$。

3 技术方法

首先分析溢油雷达监测结果中的误判信息的存在形式，然后针对具体问题设计出本研究的技术路线，设定判别规则，完成雷达监测结果误判信息剔除以及可信图像筛选。

3.1 溢油雷达监测误判分析

受低风速区、生物油膜、海洋内波等影响，雷达监测结果中易产生误判信息，在利用溢油探测系统开展溢油监测工作的过程中，出现的较多溢油误判信息，主要有以下几情况。

（1）单独出现的疑似溢油区域：在雷达监测过程中，会间歇性地出现疑似溢油监测结果，即某一时刻出现，而下一时刻消失的情况，出现此种情况时，可认为此处无溢油出现。

（2）连续出现但持续时间较短疑似溢油区域：此种情况中监测到的溢油信息会持续出现，且在同一位置，没有出现漂移的迹象，经过一段时间后即消失，此种情况也认定为监测结果为误判。

（3）连续出现但距离较远：此种情况中连续时间内多处监测到溢油信息，需要结合距离、时间来判断其真实性。

（4）规则形状的疑似溢油区域：在雷达监测过程中发现，平台周边偶尔会出现较为规则的监测结果，且位置几乎没有变化，疑似施工作业船只，持续时间不定，认为这种情况下的监测结果亦为误判信息。

3.2 本研究技术流程

针对雷达监测结果中存在的误判信息，分析其出现形式以及可能的原因，掌握其出现的规律；利用数学形态学的方法，识别结果中的溢油信息，通过判别其连续性等特征，剔除误判的结果，筛选最有效的溢油监测结果，主要技术流程如图 1 所示，流程中主要数据及方法有：

（1）雷达监测数据：雷达监测数据以时间信息作为命名规则，形式为 ScrDmp yyyy－mm－dd h'h' m'm' s's'，ScrDmp 为前缀，y 代表年份，m 代表月份，d 代表日期，h' 代表小时，m' 代表分钟，s' 代表秒。另外，监测数据为

JPEG 格式存储，尺寸为 1 280×1 024 大小的彩色图像。

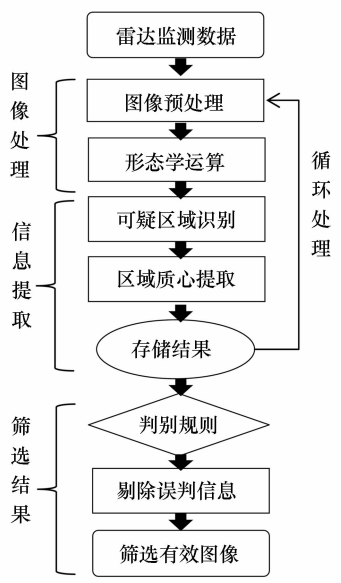

图 1　本研究技术流程

（2）图像预处理：设置裁剪区域尺寸为 782×694 大小的区域，如图 2 所示虚线区域，实线区域为探测系统产品的范围，虚线部分为本文所裁剪、使用的数据区域。

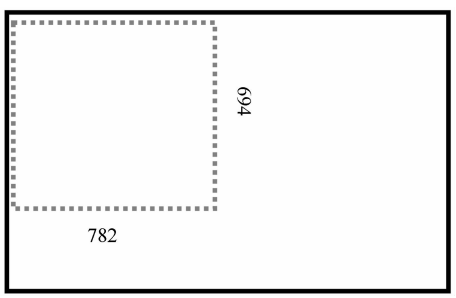

图 2　裁剪区域

（3）形态学运算：裁剪后图像为三波段彩色影像，可提取红色波段影像，突出油膜信息，设置阈值 150 将图像二值化。

利用尺寸为 3 的形态学结构算子对二值图像进行开运算，噪声干扰，利用尺寸为 5 的算子进行闭运算，提取完整的油膜监测区域。

利用形态学重构分别提取二值图像中的油膜区域，并计算油膜区域质心，以时间信息标注（图 3）。

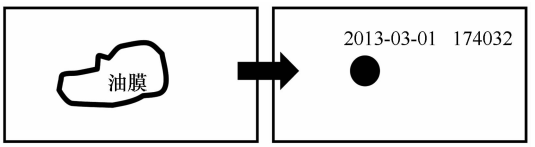

图 3　溢油信息提取

3.3　判别规则的设置

根据雷达溢油监测结果中出现的种种误判情况，本研究设定了以下判别规则，用以剔除误判信息，筛选最可信的雷达监测结果。

（1）时间连续性、持续时间长：设定 $t > t_{阈}$，t 表示监测结果中出现溢油的持续时间，$t_{阈}$ 可根据经验设定持续时间的阈值，超过此阈值的持续溢油，认定为可信的监测结果。

（2）呈现出较为明显的漂移趋势：即在空间位置的变化上呈现一定的连续性，不会在连续的时间内发生位置较大的变化：设定 $d > d_{阈}$，d 表示连续两个时刻溢油区域重心之间的距离，$d_{阈}$ 可根据经验设置，超过此距离的即可认定为误判信息。

（3）设定 n 为某一区域内出现油膜的次数，当 n 大于某一阈值 $n_{阈}$ 时，判定此区域内出现油膜可信度较高。

4　软件系统实现

基于 VC＋＋平台开发软件系统，集成本研究中设计的技术方法，软件系统主要包括图像导入、目标识别、设定判别规则、图像筛选 4 个主要过程来完成本研究的目的（图 4）。通过实验表明，此方法能够快速有效地剔除雷达监测产品中的误判信息，筛选出最疑似溢油监测图像。

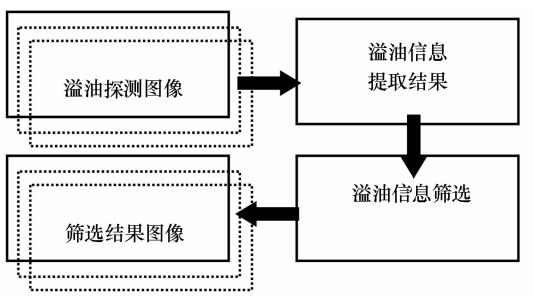

图 4　系统主要过程

软件系统具体功能主要包括图像批量导入、时间选择、目标识别、判别条件设置以及导出筛选结果等。

4.1 图像批量导入

雷达的扫描时间设定为 5 min/次，即每 5 分钟产生一次溢油监测产品，每天 24 h 内能产生 288 幅影像，人工判别费时费力，利用本研究中的软件系统，将监测结果的存储路径设置完成后，批量导入图像（图 5），即可完成有效图像筛选的基本工作。

图 5 批量读入图像

4.2 时间选择及目标识别

设定好图像批量导入的路径后，由于多天图像存储在同一文件目录下，需要选择指定的日期，然后即可开始溢油目标信息识别工作，目标识别后以点状形式显示，并标注时间信息（图 6）。

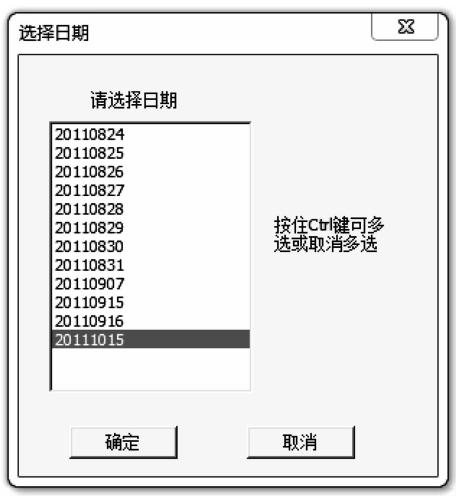

图 6 选择筛选日期

4.3 判别条件设置

用户可以通过软件系统提供的参数设置工具，完成时间、距离以及出现次数的设置来，达到提出误判信息、得到最可信的溢油监测结果的目的。

4.4 筛选结果导出

设置好判别规则后，即可完成误判信息剔除，根据条件的不同，筛选的结果数量也会不同，最后利用系统提供的导出功能将筛选的结果图像导入到指点路径，供用户查询使用。

5 结论

本研究提出的在判别技术方法能够有效地剔除溢油雷达监测结果中的误判信息、筛选出最可信的监测结果，在一定程度上可以减轻监测人员的工作量、提高了工作效率。下一步工作中将进一步完善筛选算法并提高软件系统与溢油探测系统的集成化程度，提高溢油雷达监测工作的自动化程度。

参考文献

[1] 熊文成，吴传庆，魏斌，等．SAR 图像在韩国溢油监测中的应用[J]．遥感技术与应用，2008，23(4)：410－413.

[2] 刘丙新．海上大型溢油遥感监测研究[D]．大连：大连海事大学，2010：1－60.

[3] 马广文，赵朝方，石立坚．星载 SAR 监测海洋溢油污染的初步研究[J]．海洋湖沼通报，2008(2)：53－60.

[4] 李丹，赵朝方，刘朋．基于模糊理论的 SAR 图像海面油膜识别[J]．海洋湖沼通报，2010(2)：147－154.

[5] 邹亚荣，卢青．基于 SAR 后向散射的海上溢油检测研究[J]．遥感信息，2010(4)：76－79.

[6] SOLBERG A H S, BREKKE C, HUSOY P, Oil spill detection in Radarsat and Envisat SAR images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 3(4): 746－755.

[7] FRATE F D, PETROCCHI A, LICHTENEGGER J, et al. Neural networks for oil spill detection using ERS - SAR data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(5): 2282－2287.

[8] TOPOUZELIS K, KARATHANASSI V, PAVLAKIS P, et al. Oil spill detection using RBF neural networks and SAR data[C]. XX. ISPRS Congress, Istanbul, 2004.