

基于链码的合成孔径声纳图像目标识别算法研究*

赵春晖, 姚冰

(哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 为了进一步提高识别速度、增大识别效率, 基于图像边缘的链码表示, 将微积分中连续曲线曲率的定义推广到离散域, 提出了链码离散曲率算法。通过利用链码计算图像边缘的离散曲率, 结合特定的函数进行图像匹配, 实现了以合成孔径声纳为代表的一类高分辨率、低信噪比的水声遥感图像的目标识别。实验结果表明, 该算法计算复杂度较低, 较之传统的基于特征提取的目标识别算法具有更高的识别效率。

关键词: 链码; 离散曲率; 合成孔径声纳; 目标识别

中图分类号: TP753 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2010)07-2738-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.07.095

Algorithm study of object identification of SAS based on chain-code

ZHAO Chun-hui, YAO Bing

(College of Information & Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to improve both the speed and efficiency of the identification, this paper put forward the chain-code disperse curvature algorithm with the generalization of the definition of curvature in calculus into the disperse domain based on the chain-code representation of the edge of images. Then obtained the disperse curvature of the contour of images through chain-code, which could be used along with certain functions used for image matching, to identify objects in some fields that featured underwater remote-sensing images with high resolution and low SNR such as SAS. The experimental result shows that this algorithm has better identification efficiency with relatively low complexity than traditional ones that are based on feature extraction.

Key words: chain-code; disperse curvature; SAS; object identification

合成孔径技术是一种不需要长的接收阵就可以显著提高方位分辨率的技术^[1]。合成孔径声纳依托于该技术和复杂的成像算法可以得到距离向和方位向精度都很高的图像, 因而在水下军事研究中具有很高的价值, 是当前研究的热点。

形状匹配是计算机视觉和模式识别的一个基本问题, 它被应用到很多领域, 如目标识别、基于内容的图像检索、文字识别、医疗诊断等^[2]。实际上, 目标识别的很多算法都是基于形状匹配的。将形状匹配应用于目标识别具有识别率高、计算迅速等优点。

水下目标成像是合成孔径声纳的一个重要用途, 而所成图像势必要进行后端的识别。然而, 虽然合成孔径声纳具有高分辨率, 但由于其成像算法复杂, 极易引入噪声, 另外由于其所成图像为极坐标图像, 给后续的检测处理和识别工作带来了一定的困难, 该领域的目标识别算法仍处于研究探索阶段。主流的算法为基于特征提取的模式识别算法^[2], 但效果一般, 目标匹配率仍然较低, 达不到要求。显然, 找到一种合适的低复杂度的目标识别算法对合成孔径声纳技术的研究具有极大的意义。本文正是将一类形状匹配的算法应用于合成孔径声纳图像的识别中, 研究其在该领域的性能。

1 图像的链码表示及曲线的曲率

1.1 图像边缘的链码表示

链码是一种非常常见的形状表示方式, 它不能简化形状,

但是能有效地表示形状。用链码表示形状是 Freeman 在 1961 年引入的, 并且推广了原来的定义获得了广义链码^[3]。链码分为 4-链码和 8-链码两种, 其表示如图 1 所示。

4-链码在二值图像中表示前景图像中某个像素的右、上、左、下四个方向的邻域; 而 8-链码表示前景图像中某个像素的右、右上、上、左上、左、左下、下、右下八个方向的邻域。这里可以对不同的方向进行编码。例如, 对 4-链码的四个邻域方向分别编码为 0~3, 可以用一位四进制数或两位二进制数进行存储; 对 8-链码的八个邻域方向分别编码为 0~7, 可以用一位八进制数或三位二进制数进行存储。这里采用可以完全表示数字图像像素位置关系的 8-链码来表示图像边缘。

对于二值图像的边缘轮廓, 可以在某种原则下使用链码进行惟一的表示。这里统一采用如下原则:

a) 选定起始点为图像几何中心同一行的最右侧轮廓像素点。这里图像几何中心定义为图像前景区域行列的中心点。

b) 对图像边缘像素进行扫描, 扫描方向为逆时针, 同时记录下相邻边缘像素的位置关系, 以相应的链码值来进行表示。

c) 扫描像素时应遵循低码值优先原则, 即首先看当前像素的 0 码值方向有无边缘点, 若有则记录下来并以找到的新的边缘点作为下一次扫描的边缘点继续操作; 若没有则看 1 码值方向有无边缘点……依此类推, 直到八个码值方向全部考察完毕。若仍未找到相邻的边缘点则可判断当前像素点为孤立的

收稿日期: 2009-12-26; 修回日期: 2010-01-29 基金项目: 哈尔滨市优秀学科带头人基金资助项目(2009RFXXG034)

作者简介: 赵春晖(1965-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士, 主要研究方向为智能信息与图像处理、非线性信号处理和通信信号处理(zhaochunhui@hrbeu.edu.cn); 姚冰(1985-), 男, 硕士, 主要研究方向为非线性信号与图像。

图像噪声点,应不予处理并退回到上一扫描像素,在剩余码值方向继续扫描。

d) 已经被扫描过的图像边缘点不允许被重复扫描,当扫描进行到下一像素为起始点时,扫描结束。

e) 每次扫描得到的链码码值连在一起就构成了扫描图像边缘的链码表示,该表示方法对于某一幅二值图像是惟一的。

1.2 曲线的曲率

曲线上某点的曲率刻画了该点近旁的弯曲程度。在微分几何中曲线上某点的曲率定义方式是这样的^[4]:令 s 为弧长参数,对于曲线 $C:r=r(s)$ 上的点 $P(s)$ 邻近的点 $P'(s+\Delta s)$,设 $\alpha(s)$ 和 $\alpha'(s+\Delta s)$ 分别是点 P 和点 P' 的切线向量,夹角为 $\Delta\phi$ (图 2),定义相对于弧长 s 的旋转速度 $\lim_{\Delta\phi \rightarrow 0} |\Delta\phi|/|\Delta s|$ 为曲线在点 P 的曲率,记做 $\kappa(s)$ 。

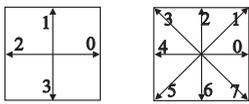


图1 4-链码(左)和 8-链码(右)

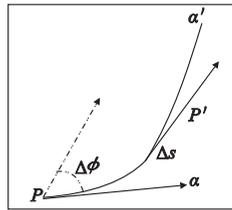


图2 曲率的定义

在连续域中,曲线上某点的曲率可以表示该点处曲线的弯曲程度。曲率越大,表明在该点曲线越弯曲;反之,曲率越小,表明在该点曲线越平直。当在某点上的曲率为 0 时,就表明该点附近为直线段。对于任意的闭合曲线,其边缘点的曲率变化情况是表征其形状的特征。例如,圆形的边缘各处曲率是一样的,正方形除了四个顶点外各处曲率都接近于 0。由于曲率对应几何体边缘的走势,使用曲率来识别图像在理论上是说得通的。

2 链码离散曲率算法

上面提到,利用曲率的变化可以识别不同几何体的边缘,但是上面的提法仅适用于连续曲线,对于离散曲线以及数字图像的边缘,需要对曲率作重新定义。这个定义实际上是把连续曲线的曲率定义进行了推广。

在离散的数字图像中,图像是由一个个像素组成的^[5],边缘也不再是平滑的曲线,因而连续域的微分求曲率不再适用,必须找到新的方法表示离散情况下的图像边缘曲率。前面提到的链码恰巧可以解决这一问题。通过图像边缘的链码表示,发现连续几个边缘像素组成的线条的弯曲程度与链码的变化有很大关系。例如,若相邻像素构成了一条水平直线,则相邻链码是相同的,即链码的一阶差分为 0;若相邻像素构成的线条较为弯曲,则链码的一阶差分也较大。这样,就可以考虑采用链码的一阶差分来简单地定义二值数字图像边缘的曲率。具体详细的定义如下:

若某二值数字闭合图像的边缘轮廓点表示为

$$a_0 a_1 a_2 \cdots a_n (a_0 = a_n) \quad (1)$$

其链码表示为

$$C = c_0 c_1 c_2 \cdots c_{n-1} (0 \leq c_i \leq 7, i = 0, 1, 2, \dots, n-1) \quad (2)$$

其中:链码点是由轮廓边缘点 a_i 和 a_{i+1} 决定的,则定义该图像边缘轮廓点 a_i 处的离散边缘曲率 κ_i 的计算公式如下:

$$\kappa_i = 4 - |4 - |c_i - c_{i-1}|| (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

由于链码仅有八个方向,因而其一阶差分也仅有八种取值,但是某些不同的差分值实际上对应的旋转角度却是一样的。例如,两组连续链码 01 和 07 表达的是同样的旋转角度 135° ,仅是方向不同而已,因此这样的情况应该统一起来。另外,相邻链码值的差分可能取负数,应当采用取绝对值的方式加以修正。以上两点在上面的计算公式就体现为求两次绝对值。

根据上述公式,可以得出下面的结论:离散边缘曲率 κ_i 实际上与图像边缘相邻三个像素点所成的角度成正比关系。 κ_i 的四种取值 0、1、2、3 分别对应了相邻三个像素点所成的角度为 0° 、 135° 、 90° 、 45° 。

上面的定义对于任意的闭合二值数字图像都是适用的,但是计算离散边缘曲率的根本目的是为了进行目标的识别,因此如何将不同目标的 κ_i 进行匹配是算法的关键所在。

显然,同一目标的离散边缘具有平移不变性,即将目标以某一方向进行平移后,目标边缘的离散曲率的顺序和取值都保持不变。这是因为链码本身就具有平移不变性^[6],所以由链码的一阶差分得到的离散曲率也具有该性质。其次,同一目标的离散边缘具有旋转移位性,即将目标以某一角度进行旋转后,目标边缘的离散曲率的相对位置和取值均保持不变,仅仅是以某一个偏移量循环向左或向右移动了位置。另外,同一目标的离散边缘具有翻折逆序移位性,即将目标以某一对称轴进行翻折后,目标边缘的离散曲率的相对位置和取值均保持不变,仅仅是以某一个偏移量对原序列的逆序转换。

图 3 展示了某一简单几何图形的离散边缘分别经过平移、旋转和翻折后的情况。原图的链码表示为 00022455,离散边缘曲率为 00202103。显然,平移后两者均不变;旋转后链码表示为 01144466,离散边缘曲率为 10300202;翻折后链码表示为 00033466,离散边缘曲率为 00301202。由原图到旋转、翻折后的图形离散边缘转换方法如图 4 所示。显然,旋转和翻折与原图相比对离散曲率的影响仅是在正序或逆序基础上的循环移位。

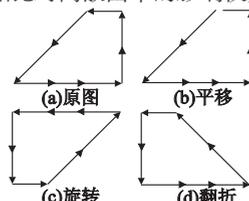


图3 离散边缘的不变性

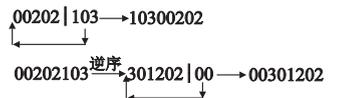


图4 旋转和翻折图形离散曲率的转换

以上几点使得用链码离散曲率来对大小相近的目标进行匹配时,可以不受目标位置、姿态等因素的影响,达到较好的匹配效果。但是对于大小不同的目标,由于边缘点的个数不同,而离散曲率的点数是与边缘点的像素个数一致的,无法进行匹配,上述算法需要进行改进。改进后的算法应该仍可以对大小接近的目标进行匹配,因此将链码离散曲率算法作统一表述如下。

对于以链码形式表示的两幅二值数字图像边缘曲线:

$$C_1 = a_0 a_1 a_2 \cdots a_{n-1} \quad (4)$$

$$C_2 = b_0 b_1 b_2 \cdots b_{m-1} \quad (5)$$

为了对两者进行匹配,需要先对两组链码应用离散边缘曲率计算公式求得各点的离散曲率,然后对两者进行统一映射。映射方式为:以图像几何中心点为圆心向外作若干条射线,这些射线两两的夹角都相同,从而将平面等分为若干个区域,其中射线的条数 l 应该满足 $l \leq \min(m, n)$,则图像边缘曲线中的

任意像素必定落入某个区域内;将同一区域内的边缘点统一归并到一个集合中,该集合可以以中心射线与水平轴的夹角来表示,即将边缘上的很多点映射到某一角度上;接下来以这些边缘点的离散曲率的平均值来表示该集合的量值,从而实现了将不同大小的目标统一映射到相同长度集合上的要求。

图 5 示意了某一不规则轮廓的离散边缘采用上述算法进行映射的方法。其中圆形内部的不规则曲线为待映射边缘,现对其进行八集合映射,即使得上述算法中的 $l=8$ 。于是该边缘被八条等分射线分割为八段,每段的端点在图中被定义为 a~h。根据映射规则,a~b 段曲线应当被映射到 22.5°,b~c 段应当被映射到 67.5°……依此类推,最终整段曲线被映射到八个集合中。

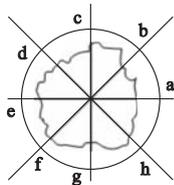


图5 离散边缘的映射

求出了经过映射后的边缘离散曲率,就到了最后一步匹配了,这里可以采用文献[4]提到的链码自相关函数来进行匹配。但是,链码自相关函数仅对链码的平移和旋转进行了考虑,而对链码的翻转未作考虑,另外表达式也稍显复杂。这里重新定义适合本算法的链码循环自相关函数和循环卷积函数如下。

若两二值数字图像的边缘链码表示为 $A = a_0 a_1 a_2 \dots a_{n-1}$ 和 $B = b_0 b_1 b_2 \dots b_{n-1}$,则定义链码循环自相关函数和链码循环卷积函数分别为

$$\Phi_{ab}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - b_{i+j})^2 \quad (6)$$

$$\Psi_{ab}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - b_{i-j})^2 \quad (7)$$

其中; b_i 表示链码 B 的循环移位,其取值由下式确定:

$$b_i = \begin{cases} b_{(i+n)} & i < 0 \\ b_{(i-n)} & i \geq n \\ b_i & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

这样对于两幅二值数字图像边缘用映射后的等长链码就可以计算链码循环自相关函数和链码循环卷积函数,这两个函数可以描出两条曲线,在两条曲线上选择最低点就是两链码具有最大匹配度的位置。当需要在一个图像库中进行匹配时,只需将待匹配图像和库中的每一个样本进行上述匹配,得到的最大匹配值最小的就是本算法计算出的最佳匹配图像。图 6 完整地展示了本算法的流程。

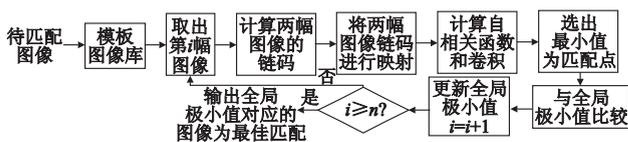


图6 算法流程图

3 实验结果分析

为了验证文中算法的有效性,下面进行仿真实验。实验选取三种不同的水下目标——水雷、鱼雷和潜艇的合成孔径声纳图像进行匹配,其中每种目标选取三幅图片。由于合成孔径声

纳图像的极坐标轴一般比较固定,而图像中的目标平移、旋转和翻折的现象比较少,此处主要对比目标的区分为大小和噪声情况下的识别效果。这样匹配的过程就可以简化,只需对比每幅图像的链码变化走势即可。

图 7 为实验所用图像,其来源为根据 RD 算法^[7] 编制的合成孔径声纳成像仿真系统生成的声纳仿真图像。其中每行表示不同的目标,分别为水雷、鱼雷和潜艇;而每列则对应不同的情况,分别为小目标、大目标和加噪后的大目标,其中加噪的图像信噪比约为 6 dB。

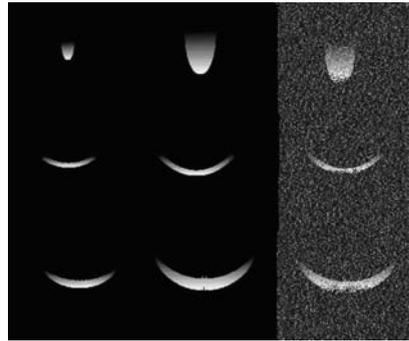


图7 三种目标不同大小及加噪情况对比图

图 8 为相应部分的仿真结果。仿真时规定统一选取归一化后的圆周等分为 30 份,即每条曲线相当于对目标提取了 30 个特征点。其中,(a) 比较了水雷大小目标(带圆圈线和带星形线)和鱼雷大小目标(带方块线和带叉形线)的链码走势。可以看出,同一类目标虽然大小差别很大,但链码走势几乎是重合的,而相同大小的不同目标链码走势的差异则较大。(b) 比较了不同情况下目标均为鱼雷的链码走势。可以看出,大小及是否加噪虽然对链码有一定影响,但基本上三条曲线是非常接近的。(c)(d) 则对比了不同目标的链码走势,可以看出曲线的区别是比较明显的。虽然鱼雷核潜艇由于其流线型而导致形状非常接近,从仿真图上亦不易区分,但链码走势图还是较为清晰地将两类目标区别开来。

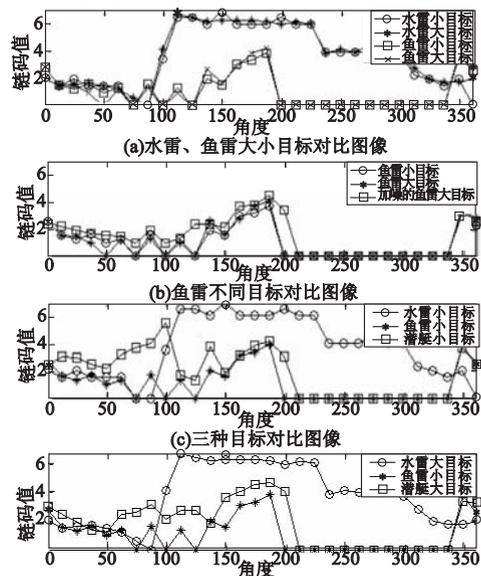


图8 仿真结果图

另外,表 1 显示了对不同类型的合成孔径声纳图像进行 50 次识别测试的识别率,并与传统的特征提取(此处提取的特征是形状参数、伸长度^[8]和似圆度)的方法进行对比。可以看

6 结束语

本文结合运动历史图像和运动方向来对停车场、小区等一些人群稀少且实时性要求较高的场所的异常行为进行检测。MHI 很好地把运动的空间特征和时间信息都体现在图像中,它既能在空间上很好地描述运动发生的位置和区域,同时又能在时间上反映运动是如何发生的,故能够较精确地反映运动行为特征。同时该方法实现简单、运行速度快,能够快速作出判断,从而让监控人员有充分的时间处理异常事件。实验证明,该方法对于特定的场合能够较精确地区分出正常行为与异常行为,从而极大地增强了安全效力并减轻了安防人员的劳动强度,提高了监控人员的工作效率。但是,仅仅使用运动方向特征不易进行更具体的行为分析,同时运动方向受外界干扰影响大。在以后的工作中,要进一步结合其他算法来完善该方法。

参考文献:

[1] MA Geng-yu, LIN Xue-yin. Typical sequences extraction and recognition[C]//Proc of European Conference on Computer Vision. Berlin; Springer, 2004:60-71.

[2] SUDO K, OSAWA T, WAKABAYASHI K, *et al.* Detecting the degree of anomaly in security video sequences[C]// Proc of Conference on Signal and Image Processing. 2006:3-7.

[3] Freenet[EB/OL]. (2005-12). <http://freenetproject.org/>.

[4] Tapestry[EB/OL]. (2005-12). <http://www.cs.ucsb.edu/~ravenben/tapestry/>.

[5] GAO Jiang, COLLINS R T, HAUPTMANN A G, *et al.* Articulated motion modeling for activity analysis [C]// Proc of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2004:20.

[6] ABDI J, NEKOUI M A. Determined prediction of nonlinear time series via emotional temporal difference learning [C]//Proc of Control and Decision Conference. 2008:5257-5262.

[7] NING Hua-zhong, XU Wei, ZHOU Yue, *et al.* Temporal difference

learning to detect unsafe system states [C]//Proc of International Conference on Pattern Recognition. 2008:3434-3437.

[8] AHMAD M, TASILMA T, LATA L, *et al.* A combined local global optical flow approach for cranial ultrasonogram image sequence analysis [C]//Proc of the 11th International Conference on Computer and Information Technology. 2008: 654-659.

[9] CHEN C C, AGGANWAL J K. An adaptive background model initialization algorithm with objects moving at different depths [C]//Proc of the 15th IEEE International Conference on Image Processing. 2008: 2664-2667.

[10] TANG Cheng-yuan, WU Yi-leh, CHAO S P, *et al.* Anomaly foreground detection through background learning in video surveillance [J]. *New Advances in Intelligent Decision Technologies*, 2009, 199(8):427-435.

[11] WREN C, AZABAYEJANI, DARRELL T, *et al.* Real-time tracking of the human body [C]//Proc of the 2nd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. 1996: 51-56.

[12] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Learning pattern of activity using real-time tracking [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(2):747-757.

[13] BRADSKI G R, DAVIS J W. Motion segmentation and pose recognition with motion history gradients [J]. *Machine Vision and Applications*, 2002, 13(5):174-184.

[14] BOBIEK A F, DAVIS J W. The recognition of human movement using temporal templates [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, 23(8):257-267.

[15] BABU R V, RAMAKRISHNAN K R. Recognition of human actions using motion history information extracted from the compressed video [J]. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(6):597-606.

[16] AHAD M A R, OGATA T, TAN J, *et al.* A complex motion recognition technique employing directional motion templates [J]. *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, 2008, 4(5):1943-1954.

(上接第 2740 页)出,链码离散曲率算法性能远高于传统的特征提取算法,其识别率较之有大幅度的提升。

表 1 算法性能对比

算法	目标		
	水雷	鱼雷	潜艇
链码离散曲率	92%	86%	82%
传统的特征提取	74%	66%	68%

事实上,性能上的提升是正常的。传统的特征提取算法仅能够提取某一目标的有限几个特征,而链码离散曲率算法可以根据情况的不同提取目标的不同个数的特征。例如,前面仿真中对每个目标提取了 30 个特征点(边缘链码),特征点数的增多自然会提高识别效率。当然,随着特征点的增多,计算开销也要加大,不过本算法的复杂度仅与二值图像的边缘点数有关,其相对于传统的特征提取算法增加的计算量是不大的。

4 结束语

理论实际和仿真结果都表明,链码离散曲率算法在合成孔径声纳图像的识别上具有很好的性能,较之传统算法有较大优势。这一方面得益于本算法多特征提取的实质,另一方面也因为图像的轮廓对图像形状的决定性作用,而链码的采用正是利用了这一点。本算法的复杂度与图像边缘点数呈线性关系,因而对于一般的目标图像可以快速得到识别结果,加快了识别效率,性能尤其优于目标散射中心特征提取^[9,10]等传统方法。另

外,遥感图像都有边缘,都可以提取其链码,因而本算法并不局限于合成孔径声纳图像。本算法在图像识别领域具有较高的实用价值,有望应用于更多实际场合。

参考文献:

[1] 李蓉. 合成孔径声纳技术研究 [D]. 西安:西北工业大学, 2001.

[2] 匡纲要,高贵,蒋永梅. 合成孔径雷达目标检测理论、算法及应用 [M]. 长沙:国防科技大学出版社, 2007.

[3] 丁险峰,吴洪,张宏江,等. 形状匹配综述 [J]. *自动化学报*, 2001, 27(5):678-694.

[4] 苏杰,王卫星. 基于曲率和熵矩阵特征的商标图像检索 [J]. *计算机应用*, 2009, 29(2):453-455.

[5] 冈萨雷斯,伍兹. 数字图像处理 [M]. 阮秋琦,阮宇智,等译. 北京:电子工业出版社, 2007.

[6] FREEMAN H. Computer processing of line drawing images [J]. *Computing Surveys*, 1974, 6(1): 57-97.

[7] CUMMING I G, WONG F H. 合成孔径雷达成像:算法与实现 [M]. 北京:电子工业出版社, 2007.

[8] 张洪刚,陈光,郭军. 图像处理与识别 [M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2006.

[9] 张红,王超,张波,等. 高分辨率 SAR 图像目标识别 [M]. 北京:北京科学出版社, 2009.

[10] SULLIVAN R J. 成像与先进雷达技术基础 [M]. 北京:电子工业出版社, 2009.