

文章编号: 1007 4619(2007)02 0177-08

高分辨率 SAR 图像中的桥梁识别方法研究

戴光照, 张 荣

(中国科学技术大学信息处理中心, 安徽 合肥 230027)

摘 要: 根据高分辨率 SAR 图像中桥梁目标的特点提出了一种新的桥梁识别算法, 主要由水体分割、感兴趣区域确定和桥梁识别三个步骤实现。通过直方图均衡, 方便了分割阈值的选取; 通过数据采样, 提高了识别的有效性; 通过目标特征的抽取, 保证了识别结果的准确性。识别过程在初级处理中, 利用快速算法得到感兴趣区域; 在后续处理中利用目标特征对该区域内的潜在目标进行识别, 取得了良好的效果。

关键词: SAR 图像; 图像分割; 目标检测; 桥梁识别

中图分类号: TN958 /TP751.1 **文献标识码:** A

A Study of Bridge Recognition in High Resolution SAR Images

DA IGuang-zhao ZHANG Rong

(Information Processing Center University of Science & Technology of China Anhui Hefei 230027 China)

Abstract Base on the characteristics of bridge in high resolution SAR imagery, we present a new bridge recognition method. It is mainly composed of image segmenting, interesting area locating and bridge recognition. By the histogram equalization, we make it more convenient to determine the segmentation threshold; by the image data sampling, we enhance the efficiency; by the bridge characteristics extraction, we make the result more credible. In primary processing, we get the interesting areas where bridge(s) are obtained by fast arithmetic. In the subsequent processing, guided with the bridge's character, we identify the bridge in the interesting areas.

In the processing of automatic target recognition in high resolution SAR imagery, accuracy is needed on the one hand, and required is we needed on the other hand. So in this paper, the automatic bridge recognition algorithm focuses on not only the veracity, but also the rapidity. Veracity is ensured by the summarized characters of bridge in high resolution SAR imagery; rapidity is ensured by the methods of data sampling and false interesting areas wiping off. At last, in the recognition part, efficacious criterions are used to distinguish real target. Result shows the ability of this approach in high resolution SAR imagery.

Key words SAR imagery; image segmentation; target detection; bridge recognition

1 引 言

合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 具有全天时、全天候监测地面目标的能力, 因此 SAR 图像的应用十分广泛。从 SAR 图像中识别桥

梁目标, 不仅有利于地理信息的及时更新, 而且有利于发生洪水、地震等自然灾害地区救援队伍的迅速到达, 同时桥梁又是一种重要的军事目标, 研究 SAR 图像中的桥梁识别具有重要意义。

与普通的光学图像相比, SAR 图像包含了更多的信息量。但由于成像时无法避免的斑点噪声影

收稿日期: 2006-05-20 修订日期: 2006-09-05

基金项目: 中国科学院电子学研究所种子基金项目 (编号: 2237-07)。

作者简介: 戴光照 (1979—), 男, 中国科学技术大学电子工程与信息科学系硕士研究生, 研究方向为遥感图像的分割与目标识别。

响,经典算法在 SAR 图像中难以获得很好的效果。目前,大量 SAR 图像中的桥梁识别研究已经展开,主要方法可分为以下几类:

(1) 基于 SAR 图像和光学图像融合的方法^[1-3]。利用两种图像中提供的信息相互补充,综合二者的结果识别桥梁目标。

(2) 基于形态学的方法^[3]。对分割出的河流应用形态学方法处理,使河流成为连通的水域,在这个区域内识别桥梁目标。

(3) 提取图像中边缘信息的方法^[4-5]。通过预处理检测出图中的边缘和线段,以桥梁边缘是横跨河流的线或者平行线等特征识别桥梁。

第一类方法识别的精度高,但要求同时具有同一地区的 SAR 图像、光学图像和地理信息,实际中同时具备这些数据有一定困难;第二、三类方法针对中低分辨率 SAR 图像中的桥梁特点进行识别,随着雷达技术的发展, SAR 图像的分辨率不断提高,图像和其中桥梁目标的特点也发生了变化,即:(1)图像的数据量大幅增加;(2)桥梁目标面积扩大,不再只是横跨在水体上的线;(3)桥梁成像时产生的旁瓣更加明显,边缘没有了良好的双平行线特征。

对 SAR 图像的高分辨率目前还没有一个明确的界定,一般认为分辨率高于 10m 即为高分辨率 SAR 图像。由于以上与中低分辨率 SAR 图像的区别,高分辨率 SAR 图像中的桥梁识别算法既要求准确性高,又要求有效性好,即有可接受的速度。上述提取边缘信息和形态学等方法在准确性和有效性方面难以满足高分辨率 SAR 图像的要求。鉴于水上桥梁的重要性和普遍性,本文利用桥梁建立在水体上的先验知识提出了一种新的识别算法,主要由水体分割、感兴趣区域确定和桥梁识别几个步骤实现。在初级处理过程中,利用快速算法得到潜在目标所在的感兴趣区域,在后续的处理过程中利用目标特征对该区域内的潜在目标进行识别,取得了良好的检测效果。

2 水体分割

分割前对图像进行预处理是十分必要的,本文采用消除水域斑点噪声效果较好的中值滤波^[6]降低噪声的影响。

分割是模式识别的基础,一种好的分割方法可以大量减少虚警区,提高识别效率。由于图像增益的不同,分割很难用固定阈值实现。考虑到在 SAR

图像中水体表面的雷达回波较弱,呈现为灰度值较低的黑色^[5-7];桥梁是由钢铁或水泥等构成的人工目标,呈现为灰度值较高的白色^[5]的特点,本文采用基于直方图的方法进行分割。

2.1 分割阈值的确定与水体连通

不同成像条件下的 SAR 图像增益不同,没有统一的尺度不利于分割的进行。为此对图像做直方图均衡处理,使图像转化为一致的格式。均衡的结果不但保留了河流属于灰度值较低部分的特点,同时使桥梁等高灰度值目标变得更亮,方便了分割阈值的选取。

阈值的确定是分割的基础。文献[8]提出:TM 图像直方图第一个波谷点所处的值即为河流分割的阈值。通过实验发现 SAR 图像具有同样的特性,利用函数求极值点的方法得到水体的分割阈值 T_r 。由于桥梁高灰度值的影响,通过 T_r 分割出的水体出现了断裂。文献[8]采用膨胀、腐蚀的方法实现水体的连通。但高分辨率 SAR 图像中的桥梁面积比 TM 图像大许多,形态学方法中结构元素的大小及运算次数难以确定。由于桥梁的栏杆及其上建筑在 SAR 成像时形成角反射或点反射,因此桥梁成像后在图像中属于高灰度值部分。根据桥梁的这一特点,本文通过实验设定直方图均衡后桥梁分割的经验阈值 $T_b = 0.9I_{max}$ 。结合水体的分割阈值 T_r ,分割出包含水体和桥梁的目标区。初步分割的规则如下:

$$\begin{cases} \text{if } x < T_r \text{ or } x > T_b & x \in \text{目标区} \\ \text{else} & x \in \text{背景区} \end{cases}$$

初步分割后的水体实现了基本连通,但桥梁两侧与水体过渡部分的点落在背景区,影响桥梁目标的检测。采用 5×5 窗口计数滤波器消除这些点的影响,对当前点来说 5×5 邻域内属于目标区的点大于设定值时认为该点属于目标区,否则属于背景区。

2.2 虚警去除

不能认为初步分割后的目标区只由水体和桥梁构成,原始图像上山体等的阴影和其他高灰度值部分在分割后也落在目标区。过多虚警的存在会严重影响算法的有效性,需要加以消除。考虑到以下两方面的因素:一,高分辨率 SAR 图像的数据量较大,降低数据量可以明显提高算法的有效性;二,目标是识别桥梁,需要利用桥梁建立在水体上的先验知识,但并不需要精确的检测出水体的边界。因此本文通

过抽取的方法降低数据量, 通过河流边界长度的特点减少虚警区。抽取算法为:

$$I_b(x, y) = \underset{0 \leq k \leq k-1, 0 \leq i \leq i-1}{MD} [I_i(kx + i ky + j)]$$

抽取比例为 $k:1$ (k 为整数), $MD[]$ 是取中值函数。这里中值函数的运用一方面实现了数据的抽取; 另一方面抑制了噪声, 有利于下一步边缘检测效果的改善。

$$\text{拉普拉斯算子} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \text{可以用来进行}$$

边缘检测, 得到比较好的效果。在抽取后的中间图中利用拉普拉斯算子提取边缘信息。根据河流边缘的特点, 排除长度小于 T_{re} 的边缘。 T_{re} 是一个常数, 取值过小不利于虚警的去除, 影响算法的有效性; 取值过大可能造成漏检, 它的选取由虚警边缘长度的统计特性来确定。填充保留下的边缘得到最终确定的目标区。通过以上步骤的处理, 目标区得到了快速的分割, 虚警数目大量减少, 为算法的有效性提供了保证。

3 感兴趣区域确定

桥梁一定包含在目标区内, 为了识别工作的进行, 需要定位出潜在在目标所处的区域, 即感兴趣区域。本文定义感兴趣区域为正好包含潜在目标的矩形区, 它可以通过潜在的桥梁目标在横轴与纵轴上的投影得到。

将抽取图中的目标区对应回均衡图中, 潜在桥梁目标构成点 I_k 一定落在目标区。判定规则如下:

$$\begin{cases} \text{if } I_k(x, y) > T_b & I_k \in \text{潜在桥梁目标} \\ \text{else} & I_k \in \text{其他区域} \end{cases}$$

T_b 为前文中已确定的桥梁分割的经验阈值。

桥梁有一定的长度和宽度, 因此感兴趣区域的长和宽需要满足一定条件。在横轴与纵轴方向做潜在桥梁目标的投影, 记录下它们的长度 L_x 和宽度 L_y , 本文认为 $L_x > \frac{\sqrt{2}}{2} L_{bl}$ (假设 $L_x > L_y$, 否则要求 $L_y > \frac{\sqrt{2}}{2} L_{bl}$) 的区域为初步确定的感兴趣区域。 L_{bl} 为常数, 通常取 $L_{bl} = \frac{T_{bl, \min}}{R}$, 其中 $T_{bl, \min}$ 为要求识别的最小桥梁长度, R 表示图像的分辨率。初步得到的感兴趣区域需要加以修正, 以消除出现了异常投影值的行和列的影响, 最终确定感兴趣区域的位置以及它的长 L_x 和宽 L_y 。

4 桥梁识别

识别的过程是对事件的一种鉴别或分类, 对象特征抽取是其中重要的组成部分。本文的目的是识别桥梁, 因此桥梁特征的抽取十分重要。根据桥梁在高分辨率 SAR 图像中的特点, 可得到桥梁的特征如下: (1) 横跨水域, 灰度值属于图像中较高的部分; (2) 长度有合理的范围; (3) 边缘虽然没有很好的双平行线特性, 但不会过于弯曲; (4) 两侧是水体; (5) 两端是陆地。

根据特征 (1) 可得到包含潜在桥梁目标的感兴趣区域。为了很好的利用其他特征, 需要确定出它们的判断条件。

4.1 桥梁及边缘的长度

桥梁及其边缘的长度是识别桥梁的两个重要特征, 可以通过感兴趣区域对角线长度的计算和感兴趣区域内的边缘跟踪获得。潜在桥梁目标的长度 L_b 近似于感兴趣区域对角线的大小, 由修正后感兴趣区域的长度 L_x 和宽度 L_y 确定, $L_b = \sqrt{L_x^2 + L_y^2}$ 。潜在桥梁目标边缘的长度 L_{be} 通过感兴趣区域内的边缘检测和跟踪得到。

4.2 灰度均值

两侧是水体、两端是陆地是识别桥梁的另外两个重要特征。在目标区确定的情况下, 可利用灰度特征判断水体和陆地。桥梁方向的确定是灰度特征获取的前提。

为了确定潜在桥梁的方向, 将感兴趣区域划分为面积相等的四个子区域 $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$, 分别计算均衡图中各区域的灰度均值 $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$ 和 \bar{I}_D 。潜在桥梁目标方向的判断遵循以下规则:

$$\begin{cases} \text{if } \bar{I}_B > \bar{I}_A \text{ and } \bar{I}_C > \bar{I}_D & BC \text{ 方向} \\ \text{else if } \bar{I}_A > \bar{I}_B \text{ and } \bar{I}_D > \bar{I}_C & AD \text{ 方向} \\ \text{else} & \text{该区域内没有桥梁} \end{cases}$$

潜在桥梁方向确定后, 两侧水体和两端陆地的灰度均值 $\bar{I}_{sd1}, \bar{I}_{sd2}, \bar{I}_{ed1}, \bar{I}_{ed2}$ 即可通过相应区域内的灰度值统计得到。

4.3 识别

潜在桥梁目标识别所需判断条件确定后, 下一

步的工作就是将这些条件与桥梁特征相结合,最终得到识别结果。以抽取的高分辨率 SAR 图像中的桥梁特征为基础,对感兴趣区域内的潜在桥梁目标做以下准则的判断:

$$(1) L_b > T_{bl_min} \text{ and } L_b < T_{bl_max}$$

本准则对应桥梁特征(2),要求桥梁长度 L_b 在合理范围内。 T_{bl_max} 和 T_{bl_min} 表示桥梁长度的最大值和最小值,它们由图像的分辨率和实际需要识别的最大、最小桥梁长度确定。

$$(2) L_{be} < \alpha L_b$$

本准则对应桥梁特征(3),要求潜在桥梁目标总体近似于长条形状,边缘长度 L_{be} 的大小必须在其所处感兴趣区域对角线长 L_a 的 α 倍以内。 α 为一常数,理想情况下取 $\alpha=2$ 。但由于旁瓣等的影响,本文取 $\alpha=3$ 。

$$(3) I_{sd1} < T_r \text{ and } I_{sd2} < T_r$$

本准则对应桥梁特征(4),要求潜在桥梁目标两侧是水体,其灰度均值 I_{sd1} 和 I_{sd2} 要小于水体的分割阈值 T_r 。

$$(4) I_{end1} > T_r \text{ and } I_{end2} > T_r$$

本准则对应桥梁特征(5),要求潜在桥梁目标两端是陆地等区域,其灰度均值 I_{end1} 和 I_{end2} 要高于水体的分割阈值。

综合以上结果,满足所有条件的潜在目标识别为桥梁。

5 实验结果

已经在 VC++ 6.0 环境下实现了本文的算法。实验数据的分辨率为 2m, 图像大小为 1024×1024 图中包含的水体为河流。实验中所用参数的确定以实际河流和桥梁为基础。根据对边缘长度的统计,本文选择河流边缘长度阈值 T_{re} 为 300 所需识别的最小和最大桥梁长度由实际要求确定,根据实际中桥梁一般在 120—3200m 之间的事实,结合图像的分辨率,本文确定桥梁长度的阈值 T_{bl_min} 为 60 和 T_{bl_max} 为 1600 单位为像素个数。

图 1(a) 是某地区的原始图像,图中既包含河流、桥梁等关心的目标区,也包括树林、道路、村庄等区域,地理环境复杂。由于成像的影响,桥梁目标的旁瓣比较明显。桥梁的下端存在高灰度值区域,影响目标的识别。图 1(b) 是图 1(a) 均衡后的结果。经过初步分割得到图 1(c)。在图 1(c) 中,目标区被很好地分割出来,但同时引入了大量的虚警。

图 1(d) 是通过本文方法去除虚警得到的结果,可以看出图 1(c) 中的虚警被大量的消除,保证了算法有效性的提高。旁瓣和末端高灰度值区域的存在,影响感兴趣区域的确定及后续的识别工作,修正后的感兴趣区域如图 1(e) 所示,图中的矩形表示感兴趣区域,内部的白色条状区为潜在的桥梁目标。通过特征的判别,识别结果表示在图 1(f) 中,准确地识别出了图中的桥梁目标。

图 2(a) 与图 1(a) 是同一幅图像中的不同区域。由于本文在感兴趣区域确定的过程中没有引入桥梁的形状信息,因此感兴趣区域出现了形状明显不是桥梁的目标。但通过桥梁特征的判别,很好地去除了其他的潜在目标,识别的结果如图 2(f) 所示。

图 3(a) 是某山区的图像。由于山脉阴影与河流的纹理特性具有相似的特点,山脉阴影之间的较亮区域容易被误判为桥梁目标。在图 3(d) 中,山脉阴影面积较大,分割后被判定成了目标区。但通过自然景物灰度值明显小于桥梁等人工目标的特征,排除了易误判的可能目标。识别结果如图 3(f) 所示,图中没有桥梁。

初步的试验结果表明,本算法对高分辨率 SAR 图像中的桥梁识别具有很好的准确性。有效性不但取决于算法本身,而且取决于实验环境和算法的实现,因此本文不对有效性做定量的说明。但通过数据量降低和目标区的确定等过程可以看出本算法同时具有良好的有效性。

本文的识别算法是针对一定分辨率的 SAR 图像进行的。图像分辨率改变后,需要根据桥梁识别的要求调整参数。在参数确定的情况下,本算法能够自动的识别出图中的桥梁目标。

6 结 论

本文提出了一种高分辨率 SAR 图像中桥梁目标的自动识别算法,通过抽取降低数据量,通过水域连通后边缘长度的特点减少虚警区,保证了算法的有效性;同时通过感兴趣区域的确定和桥梁特征的抽取,保证了算法的准确性。实验结果表明本算法准确有效,适合于高分辨率 SAR 图像中的桥梁识别。不过本文的识别算法以桥梁建立在水体上的先验知识为基础,对于公路、干枯河流等地理环境中的桥梁识别还有待于进一步研究。另外,本文以亮度作为判断条件,对某些情况下由于桥梁结构、雷达波

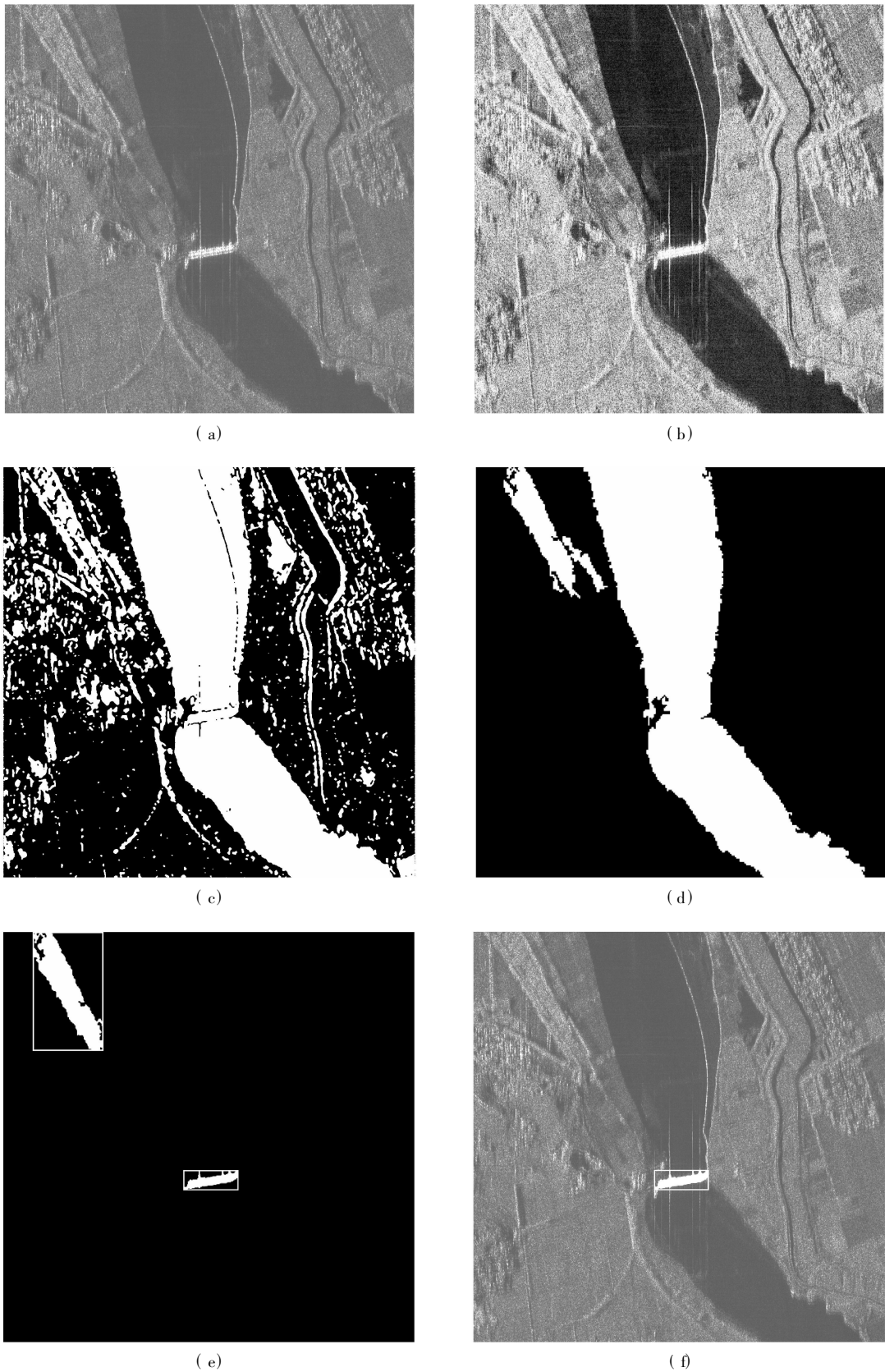
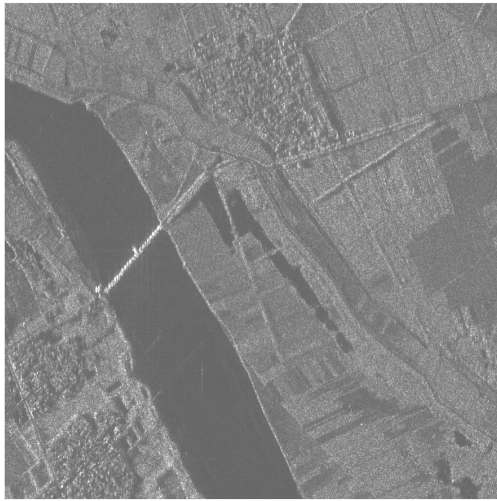


图 1 图像 1 的处理过程及识别结果

(a) 原始图; (b) 均衡图; (c) 初步分割结果; (d) 目标区; (e) 感兴趣区域; (f) 识别结果

Fig 1 Processing of image 1 and recognition result

(a) Original image, (b) intensity equalize image, (c) primary segment result, (d) target areas, (e) interesting areas, (f) recognition result.



(a)



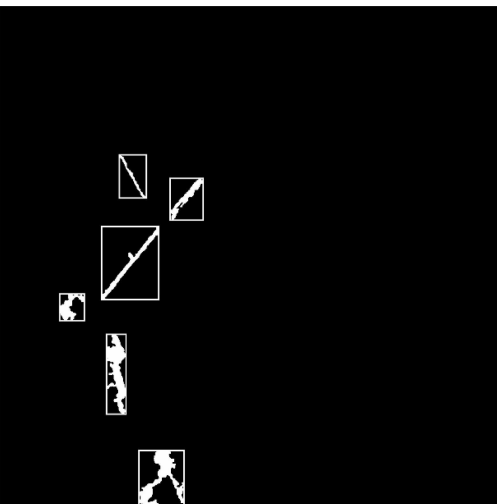
(b)



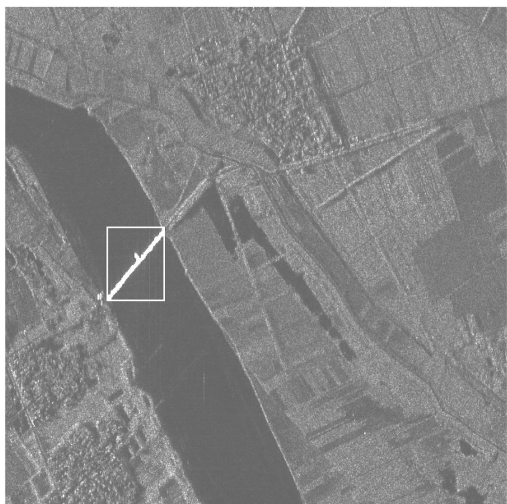
(c)



(d)



(e)



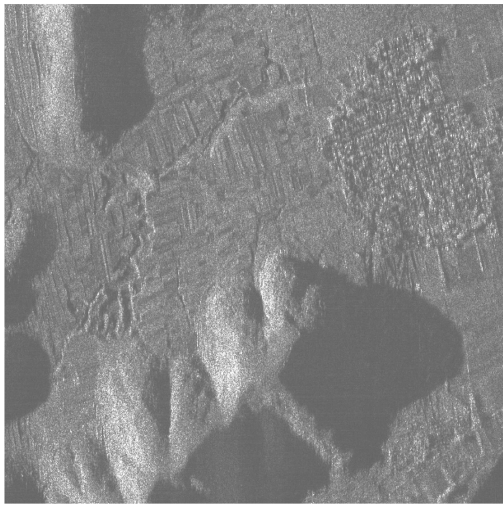
(f)

图 2 图像 2 的处理过程及识别结果

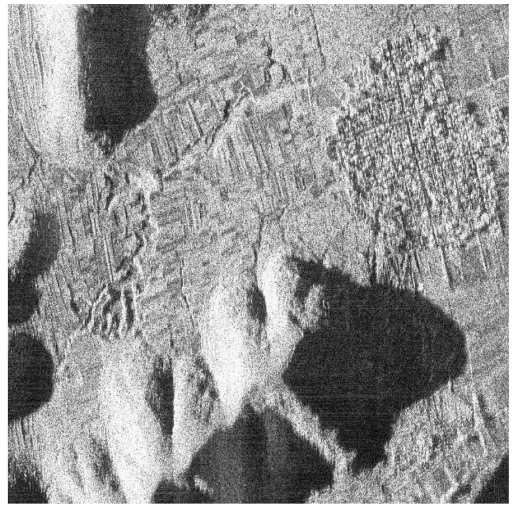
(a) 原始图; (b) 均衡图; (c) 初步分割结果; (d) 目标区; (e) 感兴趣区域; (f) 识别结果

Fig 2 Processing of image 2 and recognition result

(a) Original image; (b) intensity equalize image; (c) primary segment result; (d) target areas; (e) interesting areas; (f) recognition result



(a)



(b)



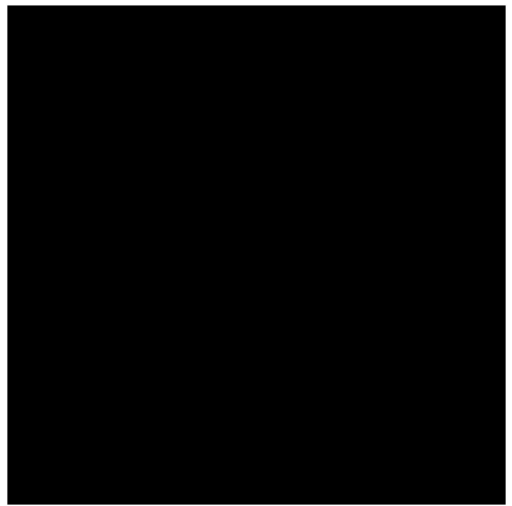
(c)



(d)



(e)



(f)

图 3 图像 3 的处理过程及识别结果

(a) 原始图; (b) 均衡图; (c) 初步分割结果; (d) 目标区; (e) 感兴趣区域; (f) 识别结果

Fig 3 Processing of image 3 and recognition result

(a) Original image (b) intensity equalize image (c) primary segment result (d) target area (e) interesting area (f) recognition result

入射方向等因素造成的桥梁灰度值明显降低, 对本算法的准确性会有一些影响。

参 考 文 献 (References)

- [1] Houzelé S Giraudon G. Data Fusion Using Spot and SAR Images for Bridge and Urban Area Extraction [A]. Geoscience and Remote Sensing Symposium 1991. IGARSS' 91 ' Remote Sensing Global Monitoring for Earth Management', International [C]. Volume 3. 3- 6 June 1991
- [2] Wu F, Wang G, Zhang H. Recognition of Bridge by Integrating Satellite SAR and Optical Imagery [A]. Geoscience and Remote Sensing Symposium 2005. IGARSS' 05 Proceedings 2005 IEEE International [C]. Volume 6. 25- 29 July 2005.
- [3] Yu D Y, Zhou L, Yang J *et al* Highway Bridge Detection Based on Polarimetric SAR Data [J]. *Journal of Tsinghua University (Sci & Tech)*, 2005, 45(7): 888- 891 [于大洋, 周露, 杨健等. 基于极化合成孔径雷达数据的桥梁检测 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2005, 45(7): 888- 891]
- [4] Xu S R, Li Z X. The Study on Bridge Recognition in Natural Scene [J]. *Journal of Zhejiang University (Natural Science)*, 1995, 29(3): 275- 281 [徐胜荣, 李忠兴. 自然景物中桥梁目标识别方法的研究 [J]. 浙江大学学报, 1995, 29(3): 275- 281]
- [5] Su F L, Wu Z M, Lin X L. An Algorithm of Bridge Detection in Remote Sensing Images Based on Fractal [A]. Proceedings 2003 6th International Symposium [C]. 28 Oct- 1 Nov. 2003
- [6] Tang L L, Jiang P, Dai C D. Evaluation of Smoothing Filter Suppressing Speckle Noise on SAR Images [J]. *Remote Sensing of Environment China*, 1996, 11(3): 207- 211. [唐伶俐, 江平, 戴昌达. 星载 SAR 图像斑点噪声消除方法效果的比较研究 [J]. 环境遥感, 1996, 11(3): 207- 211.]
- [7] Sakurai Amano T, Onuki S, Takagi M. Automatic Extraction of Rivers in Tropical Rain Forests from JERS 1 SAR Images Using Spectral and Spatial Information [A]. Geoscience and Remote Sensing Symposium 2002. IGARSS' 02 [C]. 2002 IEEE International Volume 6. 24- 28 June 2002.
- [8] Wu H, Liu Z K, Zhang R. A Study of Bridge Recognition from Landsat TM Images [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(6): 478- 484 [吴皓, 刘政凯, 张荣. TM 图像中桥梁目标的识别方法的研究 [J]. 遥感学报, 2003, 7(6): 478- 484]