

# 基于区域特征的航拍图像水上桥梁自动识别

董银文<sup>1</sup> 苑秉成<sup>2</sup> 石钊铭<sup>1</sup>

(1 海军工程大学电子工程学院,武汉市解放大道 717 号,430033)

(2 海军工程大学兵器工程系,武汉市解放大道 717 号,430033)

**摘要:**针对航拍图像中水上桥梁目标的自动识别问题,提出了基于区域特征的水上桥梁自动识别算法。首先对航拍图像进行基于梯度均方差的图像二值化;再进行基于像素密度的二值图像去噪;然后进行基于像素的二值图像连通区域标记,区域标记算法采用 6 邻域连通规则进行标识,能够有效获取水体的区域特征;最后进行桥梁的精确提取。实验结果表明,该算法能够有效地识别低对比度、低空侧拍等复杂航拍图像中的水上桥梁目标。

**关键词:**航拍图像;桥梁识别;区域分割;区域标记;梯度均方差

**中图分类号:**P237.3

桥梁是重要的人工建筑和交通要道,桥梁目标的自动识别与定位在精确制导、预警侦察、GIS 数据更新及应用等领域具有十分重要的意义<sup>[1-11]</sup>。目前,航拍图像中桥梁目标识别还没有通用的方法。现有的桥梁识别算法大都基于桥梁灰度特征和桥梁边缘平行直线特征。文献<sup>[4-6]</sup>以桥梁和水域的灰度差值进行桥梁提取,该类算法是假设桥梁区域的灰度值明显高于水体的灰度值,而实际情况比较复杂,有些桥梁路面本身的灰度值就非常低,与水体在灰度值特征上差别很小,甚至比水体的灰度值还低,部分桥梁根本无法提取;文献<sup>[7-9]</sup>以桥梁的两条边缘线呈平行直线对的特点进行桥梁提取,平行直线对特征在机场<sup>[12]</sup>、道路<sup>[13]</sup>等目标的识别应用中效果较好,但低空侧拍的航拍图像由于受到桥墩和桥面建筑物的影响,桥梁区域边缘不再具有平行直线特征,并且一般直线提取的计算量较大,所以该类算法的适应性也不强;文献<sup>[10-11]</sup>同时使用了灰度特征和边缘平行直线特征。本文的桥梁提取算法不依赖于桥梁的灰度特征和边缘平行直线特征,只依

赖于桥梁的区域特征,算法的适应性更强。

## 1 算法原理

### 1.1 区域分割

桥梁图像区域分割<sup>[4-5]</sup>的方法是依据目标和背景的不同灰度进行分割。图 1(a)和图 1(b)是两幅典型水上桥梁图像,直方图没有明显双峰结构,依靠图像灰度的方法很难进行该类图像的分割。航拍图像的陆地和桥梁等部分由于受到建筑物、道路及其灯光等因素的影响,灰度变化较大,纹理粗糙;相对陆地和桥梁来说水体具有灰度分布均匀、纹理平滑、贯穿整幅图像等特点。本文根据水体的纹理特征提出了基于梯度均方差的区域分割算法,并通过引入二值像素密度的方法消除空洞和毛刺,可以对图像中水体部分进行有效分割。

#### 1.1.1 基于梯度均方差的图像二值化

航拍图像中像素点 $(x, y)$ 的梯度均方差 $\sigma(x, y)$ 和梯度均值 $E(x, y)$ 定义为:

$$\begin{cases} \sigma(x, y) = \sqrt{\{[f_1(x, y) - E(x, y)]^2 + [f_2(x, y) - E(x, y)]^2 + [f_3(x, y) - E(x, y)]^2 + [f_4(x, y) - E(x, y)]^2\}} \\ E(x, y) = [f_1(x, y) + f_2(x, y) + f_3(x, y) + f_4(x, y)]/4 \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期:2013-03-29。

项目来源:湖北省自然科学基金资助项目(2011CDC023)。

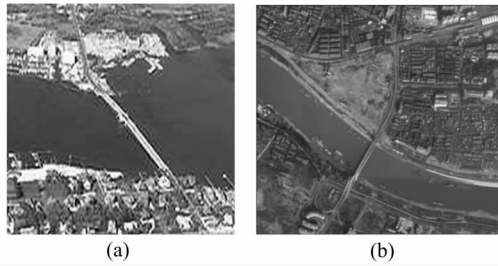


图1 桥梁近景和远景图像

Fig. 1 Close-range and Remote-range Bridge Images

式中,  $f_1(x, y)$ 、 $f_2(x, y)$ 、 $f_3(x, y)$ 、 $f_4(x, y)$  分别表示使用文献[17]提出的  $7 \times 7$  模板算子检测到的沿水平、垂直、对角线方向上的梯度幅值。若像素点  $(x, y)$  的梯度均方差  $\sigma(x, y) < V_{\max}$ , 则说明该像素点纹理光滑, 符合水体的成像特点, 判定为水域。  $V_{\max}$  为梯度均方差阈值, 与图像的梯度均方差均值  $E[\sigma(x, y)]$  成正比。二值化分割的结果如图 2 所示。

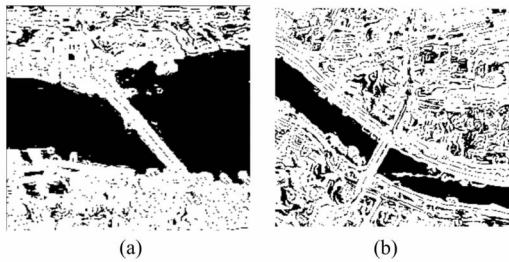


图2 桥梁近景和远景图像二值化

Fig. 2 Binary Image for Close-range and Remote-range Bridge Images

1.1.2 基于像素密度的二值图像去噪

经过二值化处理的图像, 基本已经将水域与桥梁、陆地区域分割开。但是陆地及桥梁区域由于存在建筑物、车辆、灯光等因素的影响, 被分割的区域还存在许多毛刺及岛状噪声, 水域由于船舶、漂浮物等因素的影响也存在同样问题。需要对图像进行处理, 以消除噪声干扰。

对于像素点  $(x_0, y_0)$ , 取以点  $(x_0, y_0)$  为中心的  $L \times L$  区域, 将区域内白色像素点数与总像素点数的比值作为  $(x_0, y_0)$  的二值像素密度  $\rho_{(x_0, y_0)}$ :

$$\rho_{(x_0, y_0)} = \frac{\sum_{x=-\frac{(L-1)}{2}}^{\frac{(L-1)}{2}} \sum_{y=-\frac{(L-1)}{2}}^{\frac{(L-1)}{2}} f(x, y)}{L * L} \quad (2)$$

若  $\rho_{(x_0, y_0)} \geq 50\%$ , 说明  $L \times L$  区域内白色像素点所占比例大, 像素点  $(x_0, y_0)$  的灰度值  $f(x_0, y_0)$  置为 255, 如图 3 所示。

1.2 区域标记

为提取不同区域的特征, 需要进行区域标记<sup>[14-16]</sup>。本文提出的基于像素的二值图像连通区

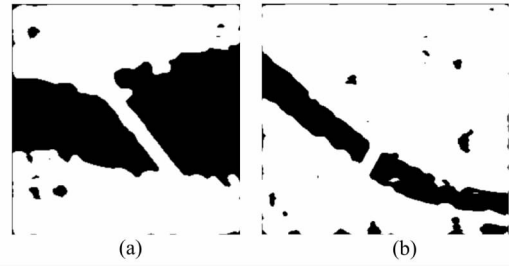


图3 近景和远景图像经去噪处理

Fig. 3 Close-range and Remote-range Bridge Images After Denoising

域标记算法对图像进行从左到右、从下到上扫描, 并采用本文建立的 6 邻域连通规则进行标识, 如图 4 所示。6 邻域连通能够准确描述中心像素点与其邻接点的关系, 得到比 4 邻域连通更紧凑的区域表达, 并比 8 邻域连通简单。

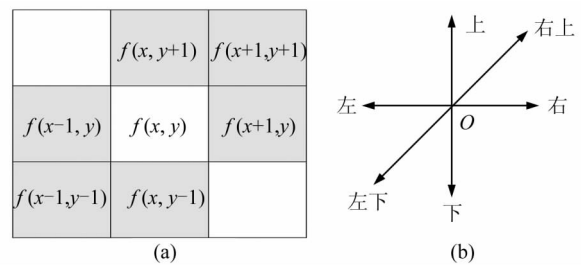


图4 6邻域连通示意图

Fig. 4 The 6 Neighborhood Connection Diagram

1) 若当前像素点  $(x, y)$  没有被标记过, 并且其灰度值  $f(x, y) = 0$ , 则进入步骤 2), 否则继续扫描下一点;

2) 若当前像素点  $(x, y)$  的“左”、“左下”、“下”邻域像素点均为白色, 即  $f(x-1, y) = f(x-1, y-1) = f(x, y-1) = 255$ , 则生成一个新的区域标识  $L_{\text{new}}$ , 其区域面积  $A(L_{\text{new}}) = 1$ , 令当前像素点  $(x, y)$  区域标识  $L_{(x, y)} = L_{\text{new}}$ , 进入步骤 3), 否则进入步骤 4);

3) 进行以当前像素点  $(x, y)$  为中心的区域像素点扩展, 区域像素点扩展的方向为  $(x, y)$  的“右”、“右上”、“上”等 3 个邻域方向。以“右”方向扩展为例, “右上”、“上”两个方向同理。

若当前像素点  $(x, y)$  的“右”邻域像素点灰度值  $f(x+1, y) = 0$ , 并且没有被标记过, 说明  $(x, y)$  与  $(x+1, y)$  连通, 符合区域扩展条件, 令像素点  $(x+1, y)$  的区域标识  $L_{(x+1, y)} = L_{(x, y)}$ , 对应区域面积  $A(L_{(x, y)}) = A(L_{(x, y)}) + 1$ , 否则, 不符合区域扩展条件。

4) 当前像素点  $(x, y)$  的“左”、“左下”、“下”邻域像素点不全为白色, 即有被标记过的黑点, 则首

先将当前像素点  $(x, y)$  归并到被标记过的黑色像素点区域,再转入步骤 3) 进行区域像素点扩展,分为以下几种情况进行处理。

① 若当前像素点  $(x, y)$  的“左”、“左下”、“下”邻域像素点中有且仅有 1 个为被标记过的黑色像素点,则直接将当前像素点  $(x, y)$  归并到被标记过的黑色像素点区域,令当前像素点  $(x, y)$  的区域标识  $L_{(x,y)} = L_{old}$ ,对应的区域面积  $A(L_{old}) = A(L_{old}) + 1$ ,并转入步骤 3);

② 若当前像素点  $(x, y)$  的“左”、“左下”、“下”邻域像素点中有且仅有 2 个为被标记过的黑色像素点,如图 5 所示。若 2 个被标记过的黑色像素点的区域标记一致,即  $L_{max} = L_{min} = L_{abel}$ ,则直接将  $(x, y)$  归并到被标记过的黑色像素点区域,令  $(x, y)$  的区域标识  $L_{(x,y)} = L_{abel}$ ,区域面积  $A(L_{abel}) = A(L_{abel}) + 1$ ,转入步骤 3);

若两个被标记过的黑色像素点的区域标记不一致,说明出现了标记冲突,需要进行标记合并。这里保留标号大的区域标记,即令全部标记为  $L_{min}$  的像素点的区域标记更新为  $L_{max}$ ,区域面积  $A(L_{max}) = A(L_{max}) + A(L_{min})$ 。然后将  $(x, y)$  归并到合并之后的黑色像素点区域  $L_{max}$ ,即令  $(x, y)$  的区域标识  $L_{(x,y)} = L_{max}$ ,其区域面积  $A(L_{max}) = A(L_{max}) + 1$ ,并转入步骤 3);

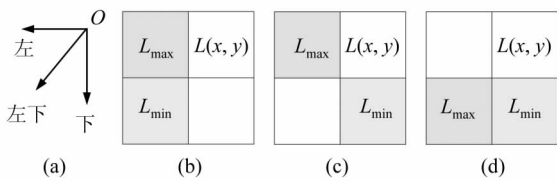


图 5 有且仅有 2 个被标记过的黑色像素点  
Fig. 5 Only Two Black Pixel Points

③ 若当前像素点  $(x, y)$  的“左”、“左下”、“下”邻域像素点均是被标记过的黑色像素点,如图 6 所示,则经过以上步骤标记处理后,图 6(b) 不可能出现,而图 6(c)、6(d) 两种情况的标记处理等效为图 5 中的 3 种情况。

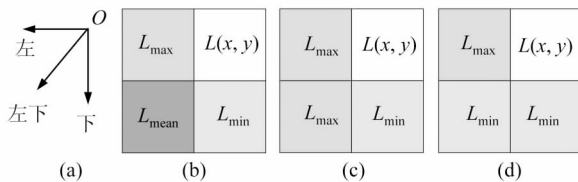


图 6 邻域像素点均是被标记过的黑色像素点  
Fig. 6 Neighborhood Pixel Points are all Labeled Black

域用不同的灰度值区分显示。

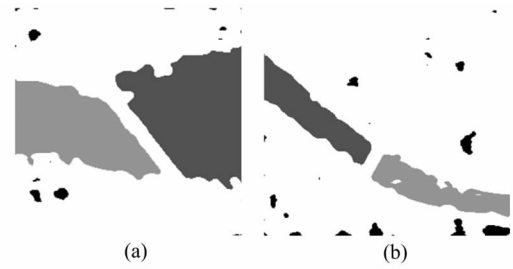


图 7 近景和远景图像区域标记

Fig. 7 Regional Labeling for the Close-range and Remote-range Bridge Images

### 1.3 桥梁精确提取

#### 1.3.1 河流走向确定

桥梁方向与河流走向近似垂直,确定了河流走向,就可以初步确定桥梁方向。航拍图像覆盖范围有限,河流通常会贯串整幅图像,并且在一幅航拍图像中河流的走向不会有显著变化,所以通过河流区域与图像边界的两个交点的连线可以确定河流的基本走向。图 7 中,河流  $H$  被桥梁分割成 2 块面积最大的水域  $R_A$  和  $R_B$ ,假设水域  $R_A$  和  $R_B$  与图像边界交点的中心点坐标分别为  $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$ 。沿二值图像的边界顺时针(或逆时针)搜索一周,若不存在或只存在 1 个水域 ( $R_A$  或  $R_B$ ) 与图像边界的交点,则判定图像不含有河流,当然不存在桥梁;若刚好存在 2 个水域 ( $R_A$  和  $R_B$ ) 与图像边界的交点  $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$ ,则根据交点  $A(x_A, y_A)$  和  $B(x_B, y_B)$  的三角函数关系确定河流  $H$  的走向;若存在多于 2 个水域 ( $R_A$  或  $R_B$ ) 与图像边界的交点,则图像不含有河流,不存在桥梁。

#### 1.3.2 桥梁粗定位

河流走向确定后,需进行桥梁区域粗定位。图 7 中,桥梁和陆地均属于白色区域,沿河流走向搜索二值图像,若白色像素点  $W_{(i,j)}$  沿河流走向一侧为水域  $R_A$  (或  $R_B$ ),另一侧为水域  $R_B$  (或  $R_A$ ),并且两侧水域  $R_B$  和  $R_A$  的距离小于桥梁宽度阈值  $W_{AB}$ ,则白色像素点  $W_{(i,j)}$  标记为桥梁区域。桥梁区域粗定位结果如图 8 所示。

#### 1.3.3 桥梁精确定位

图 8(a) 的河流走向为水平,沿水平方向搜索粗定位区域,记录对应桥梁区域宽度  $Width(k)$  和桥梁区域靠近左边水域坐标  $(Lx_k, Ly_k)$ 。根据  $Width(k)$  和  $(Lx_k, Ly_k)$ ,计算出桥梁区域中心线的坐标  $(Mx_k, My_k)$  和桥梁区域平均宽度  $W_m$ 。对桥梁区域中心线  $(Mx_k, My_k)$  进行最小二乘拟合,得到准确的桥梁中心线。精确识别结果如图 9 所示。

图 7 为区域标记的结果,面积最大的两个区

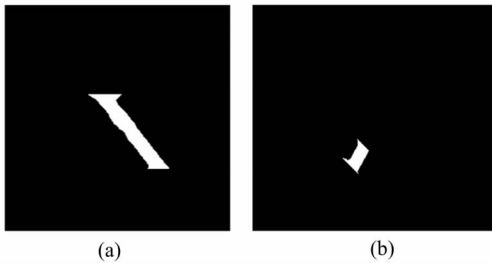


图8 近景和远景图像的粗定位  
Fig. 8 Coarse Location of the Close-range and Remote-range Images

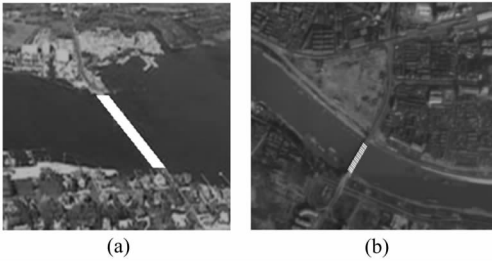


图9 近景和远景图像识别结果  
Fig. 9 Recognition Results of Close-range and Remote-range Images

## 2 实验结果与分析

部分桥梁识别结果如图 10~图 15 所示,图中白色区域为识别的桥梁。其中,图 10 的桥梁与水域灰度值接近,并且有沿岸滩涂上的水泊干扰;图 12 的桥面有明显的灰度跳变;图 14 的水域中有大量船只和航行标志物干扰,桥墩信息明显,并且有沿岸的湖泊干扰。



图 10 桥梁 1 原图  
Fig. 10 Original Image of Bridge 1



图 11 桥梁 1 识别结果  
Fig. 11 Recognition Result of Bridge 1



图 12 桥梁 2 原图  
Fig. 12 Original Image of Bridge 2



图 13 桥梁 2 识别结果  
Fig. 13 Recognition Result of Bridge 2

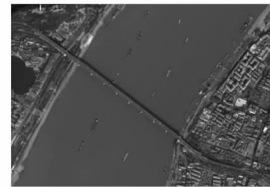


图 14 桥梁 3 原图  
Fig. 14 Original Image of Bridge 3

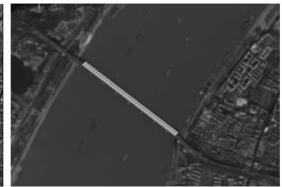


图 15 桥梁 3 识别结果  
Fig. 15 Recognition Result of Bridge 3

桥梁精确识别定位信息如表 1 所示。其中桥梁的宽度、长度和中轴线坐标单位均为像素,桥梁斜率单位为度,坐标原点为图像左下角。

表 1 桥梁精确识别信息

Tab. 1 Exact Recognition Information of Bridge

桥梁	桥梁斜率/(°)	中轴线起点坐标	中轴线终点坐标	宽度	长度
1	54.72	(107,107)	(146,163)	4	68
2	152.35	(161,54)	(88,92)	7	82
3	142.65	(328,118)	(145,257)	7	229

实验结果表明,本文算法能够有效识别近景、远景和低对比度桥梁航拍图像,具有较强的鲁棒性,并且桥梁区域定位精度较高。

## 3 结 语

本文提出了基于梯度均方差的区域分割算法,并通过引入二值像素密度的方法来消除空洞和毛刺,可以有效地对航拍图像中的水域部分进行分割;同时提出了一种新的基于像素的二值图像连通区域标记算法,该算法采用本文提出的 6 邻域连通规则进行标识,能够有效获取水域的区域特征,在区域标记算法的基础上,通过适当改进可以提取连通区域的周长、紧致度等区域特征量;在区域分割和区域标记的基础上建立了基于区域特征的水上桥梁自动识别算法,该算法能够有效识别航拍图像中水上桥梁目标,对低对比度以及近景、远景等复杂航拍图像有较强的鲁棒性,并且定位精度较高。

### 参 考 文 献

[1] Mirmehdi M, Palmer P L, Kittler J, et al. Feedback Control Strategies for object Recognition[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(8):1 084-1 101

[2] Soergel U, Cadario E, Thiele A, et al. Feature Extraction and Visualization of Bridges over Water from High-resolution in SAR Data and One Orthophoto[J]. IEEE Journal of Selected Topics in

- Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2008, 1(2):147-153
- [3] Schulz K, Cadario E, Gross H, et al. Detection and Feature Extraction of Bridges in Airborne and Spaceborne SAR Image Data[C]. Conference on Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology, Florence, Italy, 2007
- [4] 聂焯, 赵荣椿, 张艳宁. 一种从航空图片中自动检测桥梁的方法[J]. 西北工业大学学报, 2003, 21(5): 599-602
- [5] 唐林波, 赵保军. 一种航拍图像中水上桥梁的实时识别算法[J]. 电子学报, 2007, 35(3): 511-514
- [6] 邹英. 水上桥梁目标识别算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006
- [7] Chen Haixin, Shen Zhenkang, Shen Jianjun. Method for Searching Bridge in IR Images[J]. IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine, 1998, 13(7): 21-24
- [8] 苗启广, 翁文奇, 许鹏飞. 遥感图像中无水桥梁识别新算法[J]. 电子学报, 2011, 39(7): 1 698-1 701
- [9] 姜骊黎, 史册, 杨海波, 等. 遥感图像中水上桥梁的识别[J]. 模式识别与人工智能, 2000, 13(2): 214-217
- [10] 杜宗岗, 卢凌, 梁军, 等. 基于知识的航空图像中大型水上桥梁目标识别[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2005, 29(2): 230-233
- [11] 薄丽萍. 桥梁目标识别的研究与实现[D]. 太原: 中北大学, 2010
- [12] Han J W, Guo L, Bao Y S. A Method of Automatic Finding Airport Runways in Aerial Images[C]. The 6th International Conference on Signal Processing, Beijing, China, 2002
- [13] 梅天灿, 李德仁, 秦前清. 基于直线和区域特征的遥感影像线状目标检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(8): 689-693
- [14] 张修军, 郭霞, 金心宇. 带标记矫正的二值图像连通域像素标记算法[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(2): 198-202
- [15] 巫兆聪, 胡忠文, 欧阳群东. 一种区域自适应的遥感影像分水岭分割算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(3): 293-296
- [16] 张云哲, 赵海, 宋纯贺, 等. 一种新的连通区域标记算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(11): 4 335-4 340
- [17] 董银文, 郭雷, 姚俊. 一种从噪声图像中提取边缘的启发式搜索算法[J]. 模式识别与人工智能, 2006, 19(1): 14-19

第一作者简介: 董银文, 博士生, 讲师。主要研究方向为图像处理、模式识别及军用目标探测与制导。

E-mail: dongyinwen@163.com

## Automatic Recognition of Bridge Above Water in Aerial Images Based on Regional Feature

DONG Yinwen<sup>1</sup> YUAN Bingcheng<sup>2</sup> SHI Zhaoming<sup>1</sup>

(1 College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, 717 Jiefang Road, Wuhan 430033, China)

(2 Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, 717 Jiefang Road, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** Addressing the automatic recognition problem of a bridge above water in aerial images, an automatic recognition algorithm for a bridge above water in aerial image based on regional features is proposed. Firstly, aerial image binarization is executed based on the gradient mean square variance. The image noises are then removed based on pixel density. Next, the connective regions are labeled according to the pixels in binary image with a six neighborhood connection rule to obtain the water regional feature. Finally, the bridge is extracted. Experiments show this algorithm is effective for automatic recognition of a bridge above water in low-contrast aerial images taken at low altitudes.

**Key words:** aerial image; bridge recognition; region segmentation; region labeling; gradient mean square variance

**About the first author:** DONG Yinwen, Ph.D candidate, lecturer. His research interests include image processing, pattern recognition, military target detecting and guidance.

E-mail: dongyinwen@163.com