

# 基于无人机视觉的道路违法搭建检测

张晨,刘宁钟

(南京航空航天大学 计算机科学与技术学院,江苏 南京 211106)

**摘要:**为保证良好的路域环境,保障道路安全畅通,对道路周围违法违规堆积物或搭建物的检测工作就显得尤为重要。传统的人工检测方法不仅工作量大、投入成本高,而且工作效率低、检测准确度不高,因此对道路违法搭建物的自动化智能检测识别方式迫在眉睫。提出了无人机飞过相同路段两次进行拍摄,通过数字图像处理和机器视觉技术对路段中发生明显变化的区域进行自动识别,以检测疑似违法搭建物的方法。对于两次拍摄的时间和空间的不匹配性,采用了直方图规定化和 SURF 特征点匹配变换的方法以使得两次拍摄图像具有相同模式。通过边缘检测和形态学滤波等方法对道路两侧监控区域实现自动识别。对于客观拍摄条件的不稳定性和景物的时延变化带来的干扰具有很好的鲁棒性,同时对于明显变化的图像景物区域的检测准确率高。实现了对道路违法搭建物的稳定、高效、准确的自动检测。

**关键词:**无人机;直方图规定化;SURF;边缘检测;形态学滤波

**中图分类号:**TP301

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2018)07-0140-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2018.07.030

## Illegal Construction Detection of Road Based on Unmanned Aerial Vehicle Vision

ZHANG Chen, LIU Ning-zhong

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,  
Nanjing 211106, China)

**Abstract:** To ensure a good road environment and the safety of roads, it is particularly important to detect the illegal deposits or structures around the road. The traditional manual detection method not only requires a lot of work and cost, but also results in low work efficiency and detection accuracy. So the intelligent detection and identification of the road illegal structures is imminent. To detect suspected illegal structures, we propose a method that uses UAV flying over the same road twice to shoot and then automatically identifies areas of significant changes in the road by digital image processing and machine vision technology. There is a mismatch between time and space for two shots, and the method of histogram normalization and SURF feature point matching transformation is adopted so that the two captured images have the same pattern. The edge detection and morphological filtering and other methods on both sides of the road are used to achieve automatic identification area. This method not only achieves a great robustness for the instability of the objective shooting conditions and the delay of the scene caused by the interference, but also makes the detection accuracy of the remarkably changed image area high. It achieves a stable, efficient and accurate automatic detection of the road illegal structures.

**Key words:** unmanned aerial vehicle; histogram specification; SURF; edge detection; morphological filtering

## 0 引言

随着公路网的日趋完备,公路的养护和管理问题也日益突出。公路的管理水平和综合服务能力,不但要通过畅通、安全的基础设施予以体现,更需要整洁、优美的路域环境予以提升。整洁良好的路容路貌不仅体现出一个城市的路域环境的综合治理能力,更是为道路交通安全畅通提供的基础保障。目前,路域环境

管理存在的问题主要有违规广告牌混乱、私开道口问题、杂乱堆积物<sup>[1]</sup>。传统的道路违法搭建和检测工作基本是靠人工用肉眼进行识别判断,并没有实现全自动智能化,这种检测方法速度慢,效率低,成本高,工作量大,准确率低,很难适应公路养护现代化的发展需求。因此,亟须通过技术创新,对道路周围违法堆积物搭建物的检测进行智能化升级。

收稿日期:2017-06-19

修回日期:2017-10-24

网络出版时间:2018-02-24

基金项目:国家自然科学基金(61375021);江苏省2016年交通科技与成果转化项目

作者简介:张晨(1993-),男,硕士,研究方向为数字图像处理和模式识别;刘宁钟,教授,研究方向为数字图像处理和模式识别。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180224.1519.052.html>

无人机应用于交通领域的理念最早来自美国,其运输署和国家航空航天局专门开展了一个项目,证实了小型无人机数据采集系统用于交通监控和管理的可行性<sup>[2]</sup>。近年来,无人机技术发展迅速。无人机信息采集方式在机动性、采集范围和时空连续性等方面具有独特的优势,因此,在交通领域的运用也得到了越来越多的重视和研究<sup>[3]</sup>。对于无人机拍摄图像或视频处理中存在的问题,比如消除抖动带来的影响、目标检测等,已经提出了一些可行算法。刘慧等针对背景像素的移动,提出了 SURF 特征稳像和光流法向量相结合的方法来解决低空视频的道路目标检测<sup>[4]</sup>;Kozempel 等基于四个形态边缘滤波器,快速检测航拍图像的目标<sup>[5]</sup>;Cheng 等针对无人机视频,利用背景消除和背景配准技巧来进行消抖和检测<sup>[6]</sup>。这些算法大都基于传统的特征提取方法进行车辆识别。由于无人机视频时空场景复杂,干扰因素多样,这些方法并不能适用于所有情况,在检测准确性和鲁棒性上有待提高。

## 1 处理框架和总体流程

文中提出采用无人机飞过相同路段两次进行拍摄对比的方法。在第一次飞行时,保证路域环境正常,没有违法搭建物,作为标准模板。若干天后,进行第二次飞行拍摄,也就是进行检测。将两次拍摄的图像作为输入,通过数字图像处理和机器视觉技术对其进行对比,识别出明显发生变化的图像区域,作为疑似违法搭建物异常进行输出。图1分别为两次无人机飞过拍摄下的图像,右边第二次拍摄的图像中,用圆圈标记出了搭建的广告牌,这是需要通过算法自动检测出来的目标。



图1 无人机两次飞过拍摄的图像比较

在检测识别算法中,首先要做的是将两次拍摄同一地区的图像进行匹配对准,使用了直方图规范化来消除光照差异,用 SURF 特征匹配变换来进行关键点位置匹配。使用边缘检测方法和形态学闭运算来自动检测出指定需要匹配的检控区域。最后使用综合性特征匹配方法来保证更稳定的匹配。总体流程如图2所示。

## 2 算法流程

### 2.1 图像匹配

由于两次拍摄的图像都是无人机在空中拍摄的,

并且是在不同时间拍摄的,即使用过无人机 GPS 等硬件条件定位,也不能保证两张图的光照、角度和位置完全相同。如图3所示,这样的两张照片就在光照、角度和位置上存在一定的偏差,需要对这两张图先进行一定的预处理,以消除光照、角度和位置的不匹配性。文中将第一次飞行拍摄下的照片作为原始图像,将第二次飞行拍摄下的照片作为标定图像。所做的匹配变换,是以标定图像为目标,将原始图像进行变换,以得到和标定图像具有相同模式的变换图像。

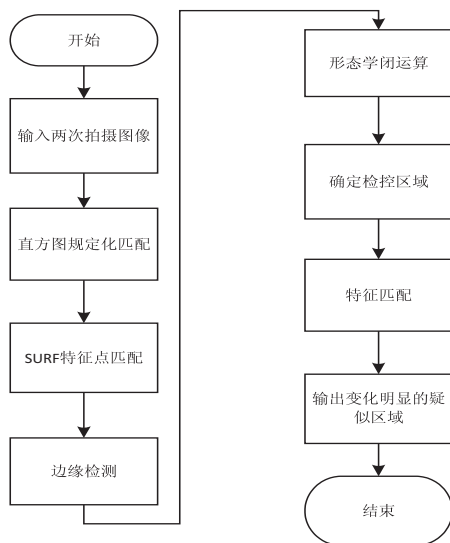


图2 算法流程

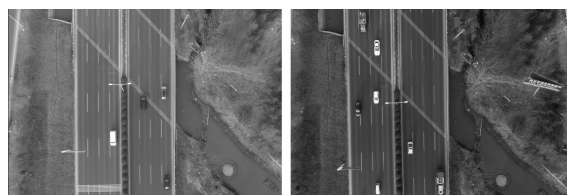


图3 两次拍摄的图像在光照和位置上的差异

#### 2.1.1 光照匹配矫正

对于不同光照情况下拍摄的两幅图像,在两幅图像对应区域展现出来的色泽或亮度会存在一些偏差,这样会对后面的处理操作产生干扰。所以在最开始阶段,需要对图像进行光照匹配矫正,使得两幅图像具备同样的光照性质。文中采用直方图规范化的方法<sup>[7]</sup>来进行光照匹配矫正。

在直方图均衡化的基础上,通过建立原始图像与标定图像之间的关系,使得原始图像的直方图匹配特定的形状。

先对原始图像进行均衡化,如式1。

$$s = f(r) = \int_0^r p_r(\mu) d\mu \quad (1)$$

然后对标定图像进行均衡化,如式2。

$$v = g(z) = \int_0^z p_z(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

令  $s = v$ , 有如下关系:

$$z = g^{-1}(s) = g^{-1}(f(r)) \quad (3)$$

可按照如下方式由输入图像得到标定图像的匹配变换图像:根据式 1 得到变换关系  $f(r)$ ;根据式 2 得到变换关系  $g(z)$ ;求得反变换函数  $g^{-1}(s)$ ;对输入图像所有像素应用式 3 中的变换,从而得到输出图像。

由于上述变换是单通道的,这里对实际图像采用的方法是先将 RGB 三个通道分离,然后分别对每个通道进行光照矫正变换,最后合并三个通道。

### 2.1.2 特征点匹配

由于无人机在空中飞行拍摄,本身定位存在一定误差,而且风力对飞行姿态也会产生一定的影响,导致倾斜、抖动、颠簸。这些因素使得无人机在空中拍摄的两次图像在位置上无法做到完全一致,所以应该采用图像匹配技术,对原始图像进行形变,以得到和标定图像对应位置关系的匹配图像。

分别计算两幅图像的 SURF<sup>[8]</sup> 特征点,对每个特征点,得到一个 64 维的特征向量。对两幅图的特征向量进行暴力匹配,排除匹配度太低的 20% 的点对。剩余的点对集采用 RANSAC 方法<sup>[9]</sup>进行计算,得到透视变换矩阵  $M^{[10]}$ :

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

将原始图像根据式 5 进行此透视变换。其中原始图像中点的坐标为  $(u, v)$ ,变换后的图像坐标为  $(x, y)$ ,  $x = x'/w'$ ,  $y = y'/w'$ 。

$$[x', y', w'] = [u, v, w]M \quad (5)$$

变换后即可得到与标定图像角度、位置匹配的图像,如图 4 所示。其中右图是将图像进行匹配变换得到与左图位置关系一样的图像。



图 4 图像匹配变换

## 2.2 确定监控区域

通常在道路两侧 15 m 范围内属于道路违法搭建的指定监控区域,需要自动找出这块区域,只对该区域内的图像内容进行比对。即不考虑道路内车辆对对比结果造成的干扰,也不考虑路面过远的区域。显而易见,也就是要先识别出路面区域,然后根据路面区域位置推算出检控区域。由于道路区域和非道路区域存在明显的边缘、色度差别,可以将图像分成一个个小块,对每个小块图像区域内容进行边缘属性和色度属性的判别,以对可能的路面区域图像块进行筛选。对筛选

后的图像进行连通域的判断,最大连通域的两侧即为道路两侧,由此可以确定监控区域。

### 2.2.1 粗糙区域过滤

由于路面整体颜色的一致性,图像路面区域比较平滑,边缘特性弱;而道路外景物复杂<sup>[11]</sup>,尤其是一些植物会为图像带来很强的边缘特性。可以根据这个特点来进行图像块区分。

根据式 6~8,先用 Sobel 算子<sup>[12-13]</sup>对原图像块  $I$  进行边缘检测,得到边缘图像  $G$ 。

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * I \quad (6)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * I \quad (7)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (8)$$

如式 9,选取特定阈值  $t$ ,将边缘图像进行二值化。

$$G(x, y) = \begin{cases} 255, G(x, y) > t \\ 0, G(x, y) \leq t \end{cases} \quad (9)$$

二值化后的图像白色区域表示原图像中边缘强烈的区域。根据二值化后的区域对原图像做掩模,即进行与操作,得到的图像再进行颜色过滤。

### 2.2.2 颜色过滤

根据路面区域颜色总是偏蓝这一特性,可以对图像像素中 RGB 分量进行判断对比,若蓝色分量大于其他分量,则保留,若绿色分量最大,或红色分量最大,则将此像素排除,如式 10 所示。

$$I_{\text{RGB}} = \begin{cases} I_{\text{RGB}}, T_B \geq T_R \text{ and } T_B \geq T_G \\ 0, T_G \geq T_R \text{ and } T_G \geq T_B \\ 0, T_R \geq T_B \text{ and } T_R \geq T_G \end{cases} \quad (10)$$

该方法可以有效排除掉河塘、池水等同样平滑,但颜色不同的区域。

通过这两步过滤之后留下的区域如图 5(b)所示。

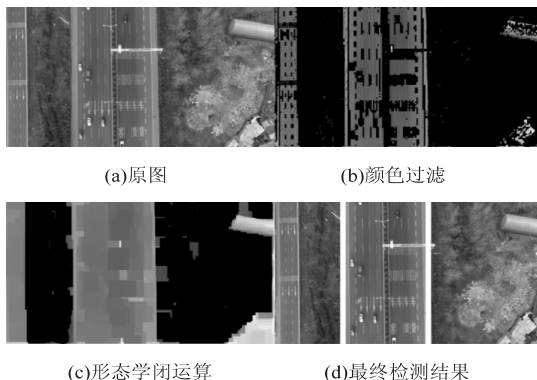


图 5 确定道路监控区域

### 2.2.3 确定路边平行线

对于经过粗糙区域过滤和颜色过滤后的图像,进



行先膨胀再腐蚀的形态学闭运算<sup>[14-15]</sup>,如图5(c)所示,可以将主要连通区域连接起来,并有效去除小的噪声连通区域。最后得到的连通区域的两侧即为道路区域的两侧,如图5(d)所示。两侧边线外延指定长度即为指定道路监控区域。

### 2.3 图像块特征匹配

这里还是将图像分为好多小的图像块,以分别对每对图像块做是否匹配的判断。由于在道路两侧区域内环境复杂,变化多样,提取图像的特征要有一定的稳定性,即不能太容易受到噪声的干扰;但同时也要具有一定的区分性,即变化太多的图像在提取出的特征处能够表现出很大的差异。基于这两点需求,提出的特征提取方法为基于图像块均值和边缘特性的匹配方法。

将图像块内的所有像素的色度取均值,得到的颜色值即为提取出的颜色均值特征。该方法看似简单,但是能够很好地满足所需求的两个特性:在图像块内,由于一些物体的细微不同不能够对整体图像颜色均值产生足够的影响,而大面积的违法搭建往往和原来背景在整体颜色上存在一些不同。

另外提取出图像块的边缘特征:通过 Sobel 算子提取出图块的边缘图像,并取一定阈值将其二值化,二值化后的图像块的白色像素个数即为提取出的特征。该特征反映的是该图像块的边缘区域丰富程度。此方法可以有效补充图像均值方法,使得提取出的区域包含物体边缘,显得更加丰富饱满。

匹配过程如式 11 所示。对于第  $i$  个图像块是否匹配,用 1 表示匹配,即两图像块近似;用 0 表示不匹配,即两图像块存在较大差异。

$$\text{match}_i = \begin{cases} 1, \text{abs}(\text{mean}_1 - \text{mean}_2) < T_1 \\ 1, \text{abs}(N_1 - N_2) < T_2 \\ 0, \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

其中,  $\text{mean}_1$ ,  $\text{mean}_2$  分别表示两个图像块的均值;  $N_1$ ,  $N_2$  分别表示两个图像块边缘强于阈值的像素个数。

### 3 实验结果与分析

实地考察了江苏省南京市的某条高速公路,在两天天气晴朗的环境下使用无人机采集了图像,并设置了一些搭建物来做实验,以验证检测效果。

实验是在 Windows10 平台上进行,采用 C++ 语言进行程序的编写。将拍摄的图像输入系统,经过算法流程,检测得到的结果如图 6 所示。其中(a)、(c)是第一次飞过拍摄下的图像,(b)、(d)是第二次飞过拍摄下的图像。其中道路两侧的监控区域都能够自动地识别出来,第二天拍摄时的两处搭建物也能通过算法

正确地识别出来。

实验共检测了 64 组图像,对于 8 处的搭建物,都能够正确地识别出来。但存在两处误检测,主要是反光和阴影造成的。

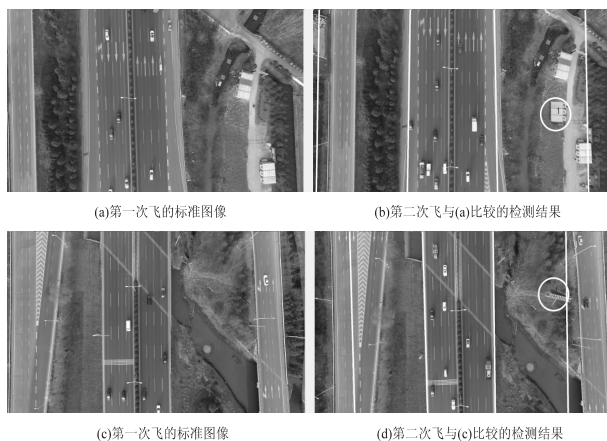


图6 实验检测结果

### 4 结束语

针对道路图像违法搭建的自动检测,设计了一种基于无人机采集与机器视觉相结合的方法,并设计了一种强鲁棒性和高识别率的算法。算法采用了许多数字图像处理中的核心技术,比如特征点匹配、边缘检测、形态学操作等。实验结果表明,该算法对于客观拍摄条件的不稳定性 and 景物的时延变化带来的干扰具有很好的鲁棒性,同时对于明显变化的图像景物区域的检测准确率高。当然,由于无人机高空拍摄时空场景复杂,算法对于拍摄角度偏差过大或重叠度过小的两张图片处理效果不太理想,对于较强的干扰还不能处理得十分完美。这些问题还需要进一步的探索。

#### 参考文献:

- [1] 王军. 强化路政管理的对策研究—安徽省“三线三边”公路环境整治[J]. 现代经济信息, 2014(10): 134.
- [2] CARROLL E A, RATHBONE D B. Using an unmanned airborne data acquisition system (ADAS) for traffic surveillance, monitoring, and management [C]//International mechanical engineering congress and exposition. [s. l.]: [s. n.], 2002.
- [3] 彭博, 张有节, 蔡晓禹, 等. 基于无人机的交通监控研究现状与展望[C]//第十一届中国智能交通年会大会论文集. 重庆: 中国智能交通协会, 2016: 104-113.
- [4] 刘慧, 李清泉, 曾喆, 等. 利用低空视频检测道路车辆[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2011, 36(3): 316-320.
- [5] KOZEMPEL K, REULKE R. Fast vehicle detection and tracking in aerial image bursts [C]//Object extraction for 3D city models, road databases and traffic monitoring. [s. l.]: [s. n.], 2009.

- 分析[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2017, 34(2): 195–199.
- [10] 塔什甫拉提·尼扎木丁, 汪 昆, 艾斯卡尔·艾木都拉, 等. 统计与规则相结合的维吾尔语人名识别方法[J]. 自动化学报, 2017, 43(4): 653–664.
- [11] 热合木·马合木提, 于斯音·于苏普, 张家俊, 等. 基于模糊匹配与音字转换的维吾尔语人名识别[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2017, 57(2): 188–196.
- [12] 阿依古丽·哈力克, 艾山·吾买尔, 吐尔根·伊布拉音, 等. 汉维时间数字和量词的识别与翻译研究[J]. 中文信息学报, 2016, 30(6): 190–200.
- [13] 杨 攀, 李 森, 张 建. 基于短语统计翻译的汉维机器翻译系统[J]. 计算机应用, 2009, 29(7): 2022–2025.
- [14] 董兴华, 周俊林, 郭树盛, 等. 基于短语的汉维/维汉统计机器翻译[J]. 计算机工程, 2011, 37(9): 16–18.
- [15] 阿米妮古丽·奥斯曼, 加日拉·买买提热依木, 吐尔根·依布拉音. 维汉/汉维机器翻译后编辑器的设计与实现[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2013, 30(4): 444–450.
- [16] 贾志先. 维吾尔语口语考试系统的开发与应用[J]. 计算机技术与发展, 2015, 25(5): 205–208.
- [17] BROWN P F, PIETRA V J D, PIETRA S A D, et al. The mathematics of statistical machine translation: parameter estimation[J]. Computational Linguistics, 1993, 19(2): 263–311.
- [18] VOGEL S, NEY H, TILLMANN C. HMM-based word alignment in statistical translation[C]//Proceedings of the 16th conference on computational linguistics. Copenhagen, Denmark; Association for Computational Linguistics, 1996: 836–841.
- [19] OCH F J, NEY H. A systematic comparison of various statistical alignment models[J]. Computational Linguistics, 2003, 29(1): 19–51.
- [20] LIU Yang, XIA Tian, XIAO Xinyan, et al. Weighted alignment matrices for statistical machine translation[C]//Proceedings of the 2009 conference on empirical methods in natural language processing. Singapore; Association for Computational Linguistics, 2009: 1017–1026.
- [21] KOEHN P, OCH F J, MARCU D. Statistical phrase-based translation[C]//Proceedings of the 2003 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics on human language technology. Edmonton, Canada; Association for Computational Linguistics, 2003: 48–54.
- [22] JAEGER H. Tutorial on training recurrent neural networks, covering BPPT, RTRL, EKF and the echo state network approach[R]. [s. l.]: [s. n.], 2002.
- [23] GUTHRIE D, ALLISON B, LIU Wei, et al. A closer look at skip-gram modelling[C]//Proceedings of the 5th international conference on language resources and evaluation. Genoa, Italy; European Language Resources Association, 2006: 1–4.
- [24] MIKOLOV T, SUTSKEVER I, CHEN Kai, et al. Distributed representations of words and phrases and their compositionality[C]//Advances in neural information processing systems. Lake Tahoe; Neural Information Processing Systems Foundation, 2013: 3111–3119.
- [25] MCCALLUM A, NIGAM K. A comparison of event models for naive bayes text classification[C]//Workshop on learning for text categorization. Madison, Wisconsin; Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 1998: 41–48.
- [26] OCH F J. Minimum error rate training in statistical machine translation[C]//Proceedings of the 41st annual meeting on association for computational linguistics. Sapporo, Japan; Association for Computational Linguistics, 2003: 160–167.
- [27] PAPINENI K, ROUKOS S, WARD T, et al. BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation[C]//Proceedings of the 40th annual meeting on association for computational linguistics. Philadelphia; Association for Computational Linguistics, 2002: 311–318.
- +++++
- (上接第 143 页)
- [6] CHENG Penggen, ZHOU Guoqing, ZHENG Zezhong. Detecting and counting vehicles from small low-cost UAV images[C]//ASPRS. Baltimore: [s. n.], 2009: 9–13.
- [7] 张专成, 张孝杰, 邹 涛. 用于数字图像直方图处理的一种二值映射规则[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(3): 280–284.
- [8] BAY H, TUYTELAARS T, GOOL L V. SURF: speeded up robust features[C]//Proceedings of the 9th European conference on computer vision. Graz, Austria; Springer-Verlag, 2006: 404–417.
- [9] CHUM O, MATAS J, KITTLER J. Locally optimized RANSAC[C]//Joint pattern recognition symposium. Berlin; Springer, 2003: 236–243.
- [10] 牛 彦. 关于透视变换的研究[J]. 计算机辅助设计与图形万方数据学报, 2001, 13(6): 549–551.
- [11] 江玉林, 陈学平, 李振宇, 等. 公路路域环境区域划分与环境特征的调查研究[C]//草坪与地被科学进展论文汇编. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [12] 陆宗骥, 梁 诚. 用 Sobel 算子细化边缘[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(6): 516–520.
- [13] 吴 捷, 陈德智, 郭成志. Sobel 边缘检测算法的变异实现图像增强[J]. 激光与红外, 2008, 38(6): 612–614.
- [14] 安 如, 冯学智, 王慧麟. 基于数学形态学的道路遥感影像特征提取及网络分析[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 798–804.
- [15] 李朝锋, 潘婷婷. 基于形态学开闭运算和梯度优化的分水岭算法的目标检测方法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1593–1594.