

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.02.014

结合 SURF 与 SVM 的高分遥感影像车辆提取技术

张 勇¹, 牛成磊², 谷正气¹, 李 健¹, 夏 威³

(1. 湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 北京中科戎大信息技术有限公司, 北京 100190;
3. 中国交通通讯信息中心, 北京 100011)

摘 要: 从高分遥感影像中提取车辆信息, 对民用和军事领域具有重要意义。为提高车辆信息提取的精度和效率, 提出 SURF 特征和支持向量机 (SVM) 相结合的方法, 对感兴趣区域的车辆进行提取。通过边缘信息消除冗余图像, 利用半搜索策略滑动窗口, 以提高车辆识别精度, 减少计算量。对深圳南山区 0.25 m 分辨率的遥感影像进行车辆提取测试, 测试结果表明: 车辆提取的错误率低于 20%; 车辆提取时间控制在分钟级, 本算法具有一定的工程适用性。

关键词: 高分辨率; 遥感影像; 车辆提取; 支持向量机; SURF 特征

中图分类号: TP751

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)02-0067-05

SURF and SVM Based Vehicle Information Extraction from High Resolution Remote Sensing Image

Zhang Yong¹, Niu Chenglei², Gu Zhengqi¹, Li Jian¹, Xia Wei³

(1. School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;
2. Red Information Technology Co.,Ltd., Beijing 100190, China;
3. China Transport Telecommunications & Information Center, Beijing 100011, China)

Abstract: Vehicle information extracted from high resolution remote sensing image is of great significance in civil and military fields. To improve the accuracy and efficiency of the vehicle information extraction, the combined SURF (speeded up robust features) and support vector machine(SVM) algorithm is proposed to extract the vehicle information of the interest region. The edge information redundancy eliminating method and semi-search strategy are used to enhance the identification accuracy and reduce the amount of calculation. Vehicle information in the 0.25 m resolution remote sensing image of Nanshan District in Shenzhen is extracted and tested, the results show that the false rate is less than 20% and the extraction time can be controlled in minute level. The applicability of the method is demonstrated.

Keywords: high resolution; remote sensing image; vehicle extraction; SVM; SURF

0 引言

高分遥感已进入“平民化”时代, 将其应用于

交通行业成为研究热点。从遥感影像提取的车辆信息可用于交通调查和分析。与传统的车辆信息获取方式相比, 该方法具有宏观性强、可视化、效率高、

收稿日期: 2014-01-02

基金项目: 中国交通运输部重点基金资助项目(2012-364-208-802-2)

作者简介: 张 勇(1979-), 男, 陕西汉中, 湖南工业大学讲师, 主要从事交通工程和车辆工程方面的教学与研究,

E-mail: zhangyong7051678@163.com

通信作者: 牛成磊(1989-), 男, 山东滨州人, 北京中科戎大信息技术有限公司工程师, 主要从事GIS, RS方面的应用研究,

E-mail: niu.chenglei@163.com

节省时间等诸多优点。然而，如何从遥感影像中有效地提取车辆信息，成为实际应用的瓶颈。

在0.6~1.0 m分辨率范围内的高分遥感影像中，车辆的基本轮廓清晰可见。对此，1996年R. Ruskone等人^[1]提出使用结构轮廓特征提取车辆信息。2001年Zhao Tao等人^[2]提出使用一阶差分梯度法提取车辆信息。2003年S. Hinz等人^[3]提出使用3D和数据融合方法提取车辆信息。同年，郑宏等人^[4]应用人工免疫学习方法对0.6 m分辨率的遥感影像进行车辆信息提取，试验结果表明，利用该方法提取的车辆信息能达到一定精度。但以上方法的精度和效率仍不能满足工程应用要求。对此，本文提出将SURF (speeded up robust features) 特征和SVM (support vector machine) 学习算法相结合，对高分遥感影像进行车辆信息提取。采用分支定界方法，缩小求解空间；使用CPU/GPU多线程技术，加速计算，以期本算法能达到一定的速度和精度要求。

1 算法原理

1.1 感兴趣区域提取

对图像进行目标提取时，需要搜索整个图像空间，从而造成大量冗余计算，降低了信息提取效率。对此，本文将目标车辆所在的小范围作为感兴趣区域即解空间，进行目标搜索。如果影像带有地理信息数据，则每个像素均可对应到UTM坐标系统 (universal transverse mercator grid system) 中，即可将该地区的道路矢量图像作为解空间；如果影像不带地理信息数据，则可使用图像滤波方法提取感兴趣区域，本文使用双边滤波对图像进行预处理，应用图像形态学变换提取目标区域车辆。

车辆目标往往与背景有影像梯度差异，因此，增强图像中梯度变化较大的区域，削弱梯度变化较小的区域，使车辆周围的平滑道路区域、绿地等 (冗余解空间) 被剔除。操作定义如下：

$$G_1(f) = |f \oplus g - f|, \quad (1)$$

$$G_2(f) = |f \otimes g - f|. \quad (2)$$

以上式中： f 为灰度图像； g 为形态学核； \oplus 为图像膨胀操作； \otimes 为图像腐蚀操作。

图1为本算法对2幅图像进行感兴趣区域提取的结果图。通过 G_1 操作，亮目标车辆能获得较好的边缘，而暗目标车辆采用 G_2 操作，会得到较好结果。本文对图像进行 G_1 和 G_2 操作，最后，取其和值，得到目标边缘，即

$$G = G_1 + G_2. \quad (3)$$

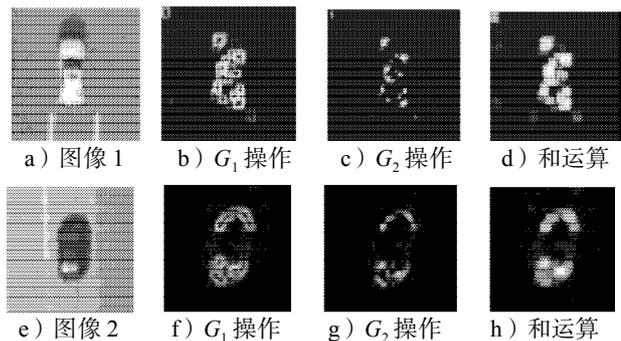


图1 感兴趣区域提取

Fig. 1 The extraction technique of ROI

1.2 目标特征表示和分类原理

首先，构建正-负样本的SURF^[5]特征，再利用训练样本对支持向量机进行训练，构造分类器。将感兴趣区域分割为 4×4 的窗口，计算每个子窗口的像素梯度值、梯度和、梯度绝对值之和，将梯度和、梯度绝对值之和作为特征描述符，此时描述符的维数为 $4 \times 4 \times 4 = 64$ ，SURF描述符原理见图2。

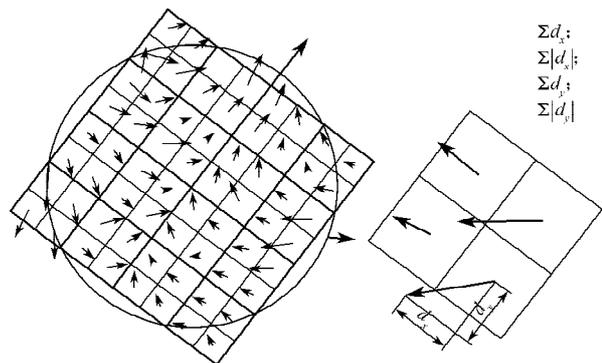


图2 SURF特征采样区域选取和梯度计算

Fig. 2 The selection of SURF feature sampling region and gradient computation

本文将训练样本分割为 4×4 的窗口，每个子窗口为 7×7 像素，分别计算其4个梯度和特征，然后组合成64维向量进行目标搜索，如图3所示。

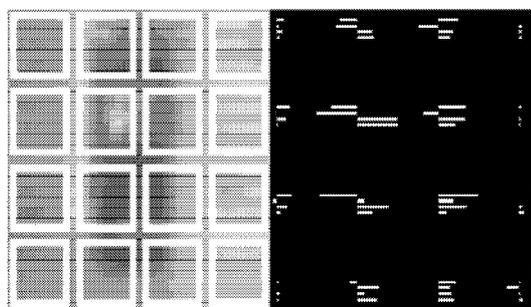


图3 训练样本SURF描述

Fig. 3 SURF description for training sample

支持向量机是一种成熟的数据分类算法，分类数据的超平面为一次函数，通过调整函数参数来优化超平面，优化的目的是让不同类属的样本间距最

大化,其原理如图4所示。图中, W 为超平面, $Margin$ 为样本间距。

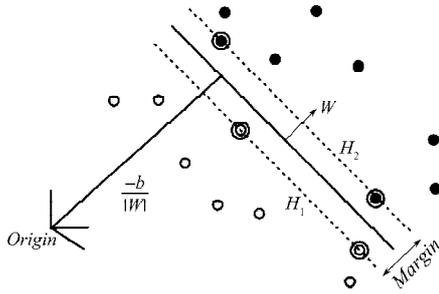


图4 超平面和待分数据图

Fig. 4 The hyperplane and analysis data diagram

确定超平面后,可将训练样本分成2类(目标与非目标),分类函数 f 可表述为

$$f(x_{new}) = \text{sign}(\langle W, x_{new} \rangle + b), \quad (4)$$

式中: x_{new} 为待分类样本向量; f 函数的返回值为样本类别属性。

一般,简单的线性分类器并不能完全满足分类目的。对于低维超平面不能分开的样本可用数据表示,将其特征向量映射到高维空间,通过多次高维映射,找到合适的超平面来完成分类。将向量 $p=(g_1, g_2)$ 和 $q=(h_1, h_2)$ 向高维空间进行映射的公式如下:

$$\Phi(g_1, g_2) \mapsto (z_1, z_2, z_3) := (g_1^2, \sqrt{2}g_1g_2, g_2^2), \quad (5)$$

$$\langle \Phi(p, q) \rangle = (g_1^2, \sqrt{2}g_1g_2, g_2^2) (h_1^2, \sqrt{2}h_1h_2, h_2^2)^T = (g_1h_1 + g_2h_2)^2 = \langle p, q \rangle =: K(p, q). \quad (6)$$

以上式中,函数 $K(p, q)$ 为核函数,其返回值反映分类结果。不同的投影方式,核函数不同。映射分类原理如图5所示,详细的公式推导见文献[6-7]。

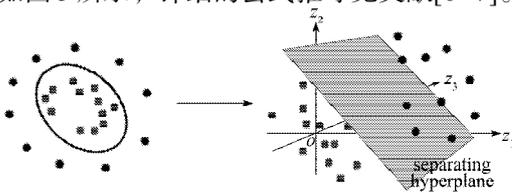


图5 SVM高维映射与超平面分类

Fig. 5 The SVM high-dimensional mapping and hyperplane classification

1.3 目标搜索策略

对图像感兴趣区域内的目标进行遍历搜索时,需要滑动窗口,计算窗口含目标的概率。对每个窗口都要进行特征提取和分类,而多数窗口不含目标,因此,造成大量冗余计算。为了减少计算量, M. Agrawal 等人^[8-9]提出了一种特征相关快速图像滑窗搜索法,用于图像快速搜索,但其需要额外的树状数据结构来存储信息,这产生了大量的临时变量,需占用较大内存。因此,本文提出半搜索法,将目标尺寸的一半作为递增量搜索目标,若在滑动窗口的

子窗口搜索距离范围内,目标描述符出现的概率大于设定阈值,则判断其含目标;若小于阈值,则对周围像素进行细化分类,直到完成准确的目标分类。算法分类原理如图6所示。假设目标尺寸为 2×2 , 搜索沿偶数行和列进行搜索。如果SVM分类器得到的概率大于阈值 T ,则表明此处为目标;如果为负数(图中使用 $-T$ 表示)表明此处为非目标;如果小于阈值 T ,则在周围的子窗口搜索目标(图6中的a-h窗口),直到确定此处为目标或非目标为止。

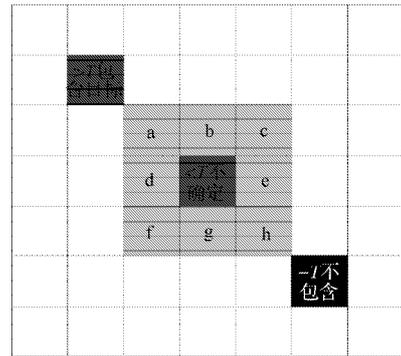
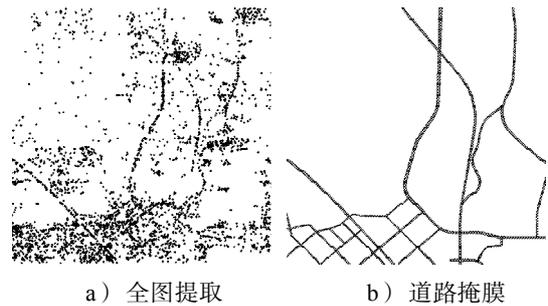


图6 搜索策略

Fig. 6 Search strategy

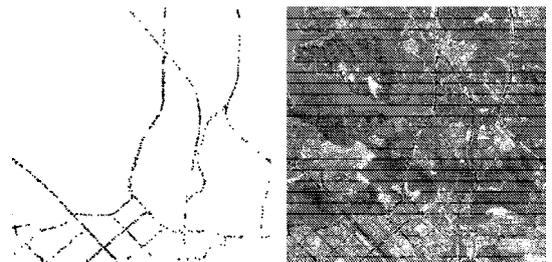
1.4 道路车辆信息提取

道路中的车辆信息是交通分析的重点,故需要删除道路外的车辆。本文利用道路矢量边界作为掩膜,删除道路以外的冗余信息。参照国际通用标准 Shape Context, 利用 ENVI 遥感处理软件对车辆信息图层和道路矢量图层进行逻辑运算,最终,获得道路内的车辆信息。车辆信息的提取流程如图7所示。



a) 全图提取

b) 道路掩膜



c) 道路车辆

d) 叠加

图7 掩膜提取道路车辆信息

Fig. 7 Road vehicle information by mask extraction

2 算法测试与分析

2.1 算法时效测试

本文利用深圳南山区0.25 m分辨率的遥感影像采集图像。训练样本集中,正样本1 100个,负样本3 000个。算法计算效率与计算机的CPU、内存有关系,本测试机的处理器为Intel Core i7 2.9 GHz,内存为8 GB。算法时效分析如表1所示。

表1 算法时效分析

Table 1 Timeliness analysis

图像尺寸 / 像素	耗时 / ms	计算量
500 × 500	609	6 132
2 048 × 2 048	9 641	93 590
25 699 × 26 535	1 187 843	7 200 000

由表1可知,本方法处理2万×2万像素的图像时,仅需要1 187 843 ms(约20 min),这说明算法时效性较好,具有工程可用性。

2.2 不同区域提取结果评估

目标提取评估的主要指标是检出率和错误率,检出率为检出的目标除以全部目标,错误率为检出的错误目标除以全部目标。本文分别对郊区路段、郊区生活区、城区路段、城区生活区进行测试,测试结果如图8所示。由图8可知,人口密集的生活区由于背景较复杂,错误率相对较高。

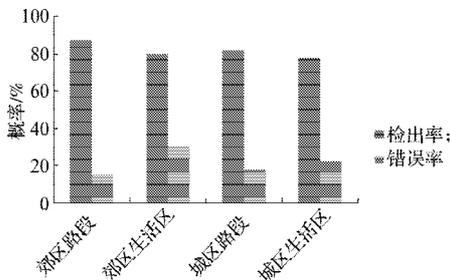
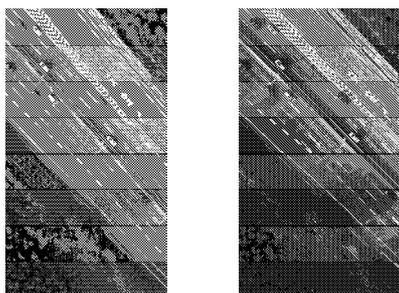


图8 不同区域提取的检出率和错误率

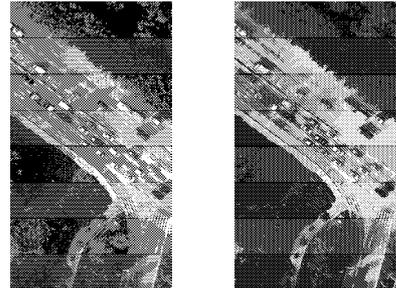
Fig. 8 The relevance ratio and error rate of the extraction results in different areas

2.3 不同道路提取结果评估

由2.2节可知,不同区域的提取精度可能不同。高速公路和普通公路上的车辆是交通关注的重点,对此,分析了本算法对2类道路的提取结果,如图9和表2所示。



a) 图像1 b) 图像1提取结果



c) 图像2 d) 图像2提取结果

图9 不同道路的提取效果图

Fig. 9 The extraction results in different areas

表2 不同道路的提取结果

Table 2 The extraction results in different areas

项目	普通公路	高速公路
目标车辆 / 辆	26	9
检出 / 辆	26	10
错检 / 辆	5	2
漏检 / 辆	5	1
错检率 / %	19.2	20
漏检率 / %	19.2	11.1

在图9 b中,由于道路的名称和前进标识与白色车辆的轮廓和光谱相似,被错误识别为车辆;黑色车辆被漏检。由表2可知,车辆提取的正确检出率在80%以上。首先,由于道路的复杂性(道路形状、绿化附属设施、阴影、太阳反光、靠近道路中央分割带等)和车辆类型(尺寸、颜色)的繁多,这些增加了准确提取车辆的难度;其次,由于训练SVM分类器的正-负样本有限,其分类精度不高。因此,通过进一步增加正-负样本数和特征描述维数,可提高车辆信息提取的正确率。

3 结语

本文提出了SURF与SVM相结合的方法对0.25 m高分遥感影像进行车辆提取。阐述了该方法的原理与步骤,并用实例进行分析。主要结论如下:采用消除冗余计算空间和半搜索法的策略,提高了搜索效率。对深圳市某地区2万×2万像素的0.25 m高分影像进行车辆提取,提取时间控制在分钟级,正确检出率在80%以上,这说明本算法从效率和精度上具有一定的工程可用性。由于分类器的分类效果受训练样本的限制,下一步,本课题组将增加训练样本数,以提高分类器的精度,获得更高的检出率和更低的误检率。

参考文献:

[1] Ruskone R, Jamet O, Guigues L, et al. Vehicle Detection

- on Aerial Images: A Structural Approach[C]//International Conference on Pattern Recognition. Washington: IEEE, 1996: 900.
- [2] Zhao Tao, Nevatia R. Car Detection in Low Resolution Aerial Image[C]//Proceedings of 8th IEEE International Conference on Computer Vision. Vancouver: IEEE, 2001: 710-717.
- [3] Hinz S, Schlosser C, Reitberger J. Automatic Car Detection in High Resolution Urban Scenes Based on an Adaptive 3D-Model[C]//Proceedings of the 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Area. Berlin: [s. n.], 2003: 167-171.
- [4] 郑宏, 李里. 基于人工免疫算法的高分辨率航空遥感影像车辆提取[J]. 国际计算机科学与网络安全期刊, 2007(2): 7-12.
Zheng Hong, Li Li. Vehicle Information Extraction from High Resolution Aerial Remote Sensing Image Based on Artificial Immune Algorithm[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2007(2): 7-12.
- [5] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, et al. Speeded-Up Robust Features(SURF)[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [6] Burges C J C. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 2(2): 121-167.
- [7] 吴迪. 基于SVM分类器的分步定位算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
Wu Di. Research on Indoor Wlan Location Algorithm Based on SVM Classifier[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.
- [8] Agrawal M, Konolige K, Blas M R. CenSurE: Center Surround Extremes for Realtime Feature Detection and Matching[C]//10th European Conference on Computer Vision. Heidelberg: Springer, 2008: 102-115.
- [9] Lehmann A, Leibe B, Van Gool L. Feature-Centric Efficient Subwindow Search[C]//2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision. [S. l.]: IEEE, 2009: 940-947.

(责任编辑: 邓彬)

(上接第4页)

- [11] 刘海锋. 壅塞空化器的实验研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2012.
Liu Haifeng. Experimental Study of Choking Cavitator[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2012.
- [12] 张凤华, 刘海峰, 徐俊超, 等. 壅塞空化与射流空化噪声谱特性的实验研究[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(6): 47-50.
Zhang Fenghua, Liu Haifeng, Xu Junchao, et al. Experimental Investigation on the Noise Spectrum Features of Choking-Cavitation and Jet-Cavitation[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25((6): 47-50.
- [13] 张凤华, 徐俊超, 刘海峰, 等. 壅塞空化器设计及其处理污水的可行性研究[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(4): 30-36.
Zhang Fenghua, Xu Junchao, Liu Haifeng, et al. The Choking Cavitator Design and Its Feasibility Study of Wastewater Treatment[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(4): 30-36.
- [14] Troya D. Dynamics of Collisions of Hydroxyl Radicals with Fluorinated Self-Assembled Monolayers[J]. Theoretical Chemistry Accounts, 2012, 131(1): 1-12.
- [15] Pan S K, Yao Dongrui, Zhou Mingqian, et al. Hydroxyl Radical Scavenging Activity of Peptide from Sea Cucumber Using Enzyme Complex Isolated from the Digestive Tract of Sea Cucumber[J]. African Journal of Biotechnology, 2014, 11(5): 1214-1219.
- [16] Gogate P R, Pandit A B. Hydrodynamic Cavitation Reactors: A State of the Art Review[J]. Review in Chemical Engineering, 2001, 17(1): 1-85.

(责任编辑: 邓彬)

