

# 城市街区星载光学遥感图像车辆目标自动检测方法

李昭慧, 张建奇

(西安电子科技大学 物理与光电工程学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:** 针对星载光学遥感图像城市街区复杂背景问题, 提出一种车辆目标自动检测方法。首先, 利用场景中植被背景的物理属性, 通过多光谱波段抑制场景中的植被背景, 然后, 在分析城市街区地物形态反射率特性的基础上, 利用全色波段并结合二值形态学方法抑制场景中的建筑物, 最后, 引入著名的 RX 算法对抑制后的图像进行车辆目标检测。将文中提出的方法应用于实际 Quickbird 影像的车辆目标检测, 结果表明所提出的方法具有鲁棒性强, 执行效率高, 不需要人工辅助等方面的特点, 可用于城市街区车辆目标的自动检测。

**关键词:** 车辆检测; 光学遥感图像; 城市街区; 形态学

中图分类号: TN219 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2014)11-3751-05

## Automatic vehicle detection using spaceborne optical remote sensing images in city area

Li Zhaozhi, Zhang Jianqi

(School of Physics and Optoelectronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** It is difficult to detect vehicles in city area by using spaceborne optical remote sensing images, because the background in city area is too complex. In this paper, an automatic vehicle detection method was proposed to address the issue by using background segmentation method. Firstly, the physical property of the vegetation was analyzed and used to suppress the vegetation background of a scene by using the multi-spectral information of the scene. Next, the reflectance characteristics of city area cover types were analyzed. Based on the reflectance characteristics of building roofs and roads, the building background in the scene was removed by employing the binary morphological method on the panchromatic band image. Finally, the famous RX algorithm was introduced to detect the vehicles on the vegetation and building background suppressed image. The proposed method is applied to the actual Quickbird image for vehicle target detection. The results show that the proposed method has strong robustness, high efficiency, and automatic characteristics, and can be used for vehicle detection in city area.

**Key words:** vehicle detection; optical remote sensing images; city area; morphological

---

收稿日期: 2014-03-14; 修訂日期: 2014-04-17

基金项目: 国家自然科学基金(61301290)

作者简介: 李昭慧(1979-), 女, 博士生, 主要从事光信息和光电图像处理方面的研究。Email: zh791001@163.com

导师简介: 张建奇(1960-), 男, 教授, 博士, 主要从事成像系统性能评估及光电景象生成技术方面的研究。

Email: jqzhang@mail.xidian.edu.cn

## 0 引言

近年来,遥感技术发展迅猛,星载光学遥感成像的地面分辨率已到达亚米范围内<sup>[1]</sup>,给城市街区车辆目标检测提供了一种新的技术手段。研究基于光学遥感图像的城市街区车辆目标自动检测,对于智能交通,城市规划,军事目标检测与识别等都有重要意义<sup>[2]</sup>。然而,利用星载光学遥感图像进行车辆目标检测仍然存在许多难点,其中,城市街区背景复杂,车辆目标较小,目标背景对比度低,是制约检测的主要因素。2006 年,美国俄亥俄州立大学的 Niu 提出一种基于水平集的半自动车辆目标检测方法<sup>[3]</sup>,但是该方法耗时较长,还需要手动辅助给定种子点。随后,挪威奥斯陆计算中心的 Eikvil 等人提出一种基于分类的车辆目标检测方法,利用车辆目标和背景的灰度特征进行车辆目标检测<sup>[4]</sup>。该方法的自动化程度较高,但是并没有给出灰度分类的理论依据,并且其背景抑制中针对高纬度地区的阴影提取方法并不能直接应用于其他地区。此后,德国航空航天中心的 Leitloff 等人提出一种利用车队的线型特征检测车辆目标的新方法,但是该方法需要借助 GIS 信息确定道路范围<sup>[5]</sup>。最近,日本千叶大学的 Yamazaki 教授等人提出一种基于数学形态学的车辆目标检测方法,但是该方法也需要手动提取道路信息<sup>[6]</sup>。从以上分析可以看出,现有的利用星载遥感图像提取城市街区车辆目标的方法中仍然具有自动化程度较低,需要人工辅助,鲁棒性不强等方面的缺点。为此,文中提出一种新的星载光学遥感图像城市街区车辆目标自动检测方法,首先依据光学遥感图像中植被背景和建筑物的光学特性,去除场景中的植被背景和建筑物背景的干扰,然后,引入 RX 算法对抑制后的图像进行车辆目标检测。利用 Quickbird 遥感影像对文中提出的方法进行实验测试,结果表明所提出的方法可用于城市街区车辆目标的自动检测。

## 1 植被背景抑制

城市街区中的道边绿化带,草坪,公共绿地等植被背景,对车辆目标的检测造成了很大的干扰。通常的光学遥感图像都具有一个全色波段和四个多光谱

波段,其中全色波段以最大分辨率获取地面信息,而多光谱波段用来获取颜色信息,多光谱波段的分辨率为全色波段的四分之一<sup>[7]</sup>。而经常见到的光学遥感图像都是丢弃了近红外波段的信息后的融合图像,如 Google earth 上的光学遥感图像。事实上,光学遥感图像的近红外与红光波段的数据可用来监测地面植被的覆盖情况。参考文献[4]中提出可利用归一化植被指数(NDVI)进行植被背景抑制,因此,文中也引入 NDVI 进行植被背景抑制。在计算 NDVI 之前需要对多光谱波段的数据进行插值放大,使多光谱数据与全色数据分辨率一致。由于多光谱图像和全色图像的分辨率差别很大,传统的双线性插值算法会产生很强的不连续感,文中采用双三次立方插值方法<sup>[8]</sup>对多光谱数据插值放大。NDVI 的计算公式为:

$$NDVI(i,j) = \frac{I_{nir}(i,j) - I_r(i,j)}{I_{nir}(i,j) + I_r(i,j)} \quad (1)$$

式中: $i, j$  表示图像坐标; $I_{nir}$  和  $I_r$  分别表示红外波段和红光波段。NDVI 计算结果如图 1 所示。其中图 1(a) 是 NDVI 计算结果,植被背景具有较大的 NDVI 值,而道路、建筑物以及车辆等具有较小的 NDVI 值,植被背景与车辆目标的差异较大。

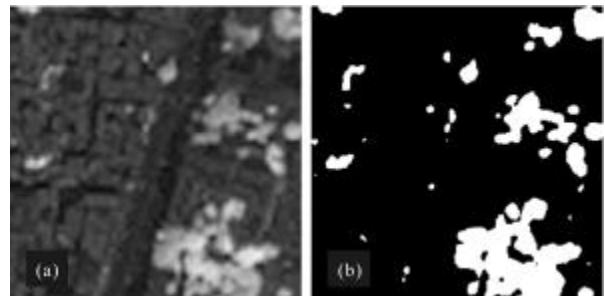


图 1 NDVI 及分割结果

Fig.1 NDVI and vegetation segmentation result

然后,利用 OSTU 自适应阈值分割方法,分割其中的植被背景:

$$v(i,j) = \begin{cases} 1 & NDVI(i,j) \geq \tau_{ostu} \\ 0 & NDVI(i,j) < \tau_{ostu} \end{cases} \quad (2)$$

分割结果如图 1(b)所示,植被背景被很好地分割出来,而车辆目标保留完好。利用 NDVI 进行植被背景抑制,并不会降低车辆目标的检测概率。

## 2 建筑物背景抑制

建筑物背景是城市街区中另一个主要的干扰因素,对建筑物背景的抑制可以大大降低对车辆目标

检测的干扰。城市建筑物的屋顶通常是由混凝土、沥青、金属等建筑材料构成,而道路主要是由沥青材料构成,此外,还有一些混凝土路面。参考文献[9-10]中分别对屋顶材料以及路面的光谱反射率特性进行了测试,测试结果如图 2 所示。

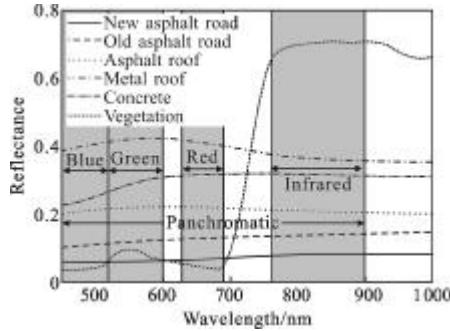


图 2 典型地物的反射率光谱

Fig.2 Reflectance spectrum of typical ground object

从图中可以看出,在各个成像波段内,植被的反射率随光谱变化较大,其余材料的光谱反射率随波长变化不大。沥青路面(新沥青路面和老沥青路面),具有较低的光谱反射率。而金属屋顶、混凝土屋顶以及沥青屋顶都具有较高的光谱反射率。混凝土路面由于受车辆碾压,表面密实光洁,其光谱反射率比混凝土屋顶表面要低。因此,综合考虑各种材料在各个光谱波段中的反射率特性,文中提出利用全色波段对建筑物背景进行抑制。选取全色图像中的均值作为分割阈值,

$$I(i,j) = \begin{cases} 1 & I_{pan}(i,j) \geq \tau \\ 0 & I_{pan}(i,j) < \tau \end{cases} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} I_{pan}(i,j) \quad (4)$$

式中: $M$  和  $N$  分别表示图像的宽度和高度。

建筑物背景分割结果如图 3(a)所示,从中可以看出,场景中的建筑物基本被分割了出来,但场景中的车辆目标由于是金属材料构成,具有较高的光谱反射率,也被分割了出来。为了后续的车辆目标检测,需要去除车辆目标。在建筑物分割结果中,车辆目标相对较小,具有明显的点状特征,可以利用数学形态学方法方便地去除,文中采用二值形态学方法去除车辆目标。

数学形态学中的二值图像的形态变换是一种针对集合的处理过程。用  $X$  表示输入图像,  $A$  为二值图像中的集合,  $B$  表示结构元素。引入集合的平移

$$(A)_b = \{x | x = a + b : a \in A\} \quad (5)$$

用  $B$  对  $A$  进行膨胀运算的定义为:

$$A \oplus B = \{x | (B)_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (6)$$

用  $B$  对  $A$  进行腐蚀运算的定义为:

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (7)$$

在星载光学遥感分辨率下,车辆目标的宽度在 3~5 个像素之间,为消除车辆目标,腐蚀结构元素应能够完全包含在车辆目标内,因此,文中选取  $3 \times 3$  大小的十字模版作为腐蚀结构元素,腐蚀两次

$$R = (L \ominus B) \ominus B \quad (8)$$

式中: $B$  为腐蚀结构元素。在腐蚀掉车辆目标后,为了保持建筑物背景,还需要利用  $R$  作为标记图像,利用二值形态学重建,得到建筑物背景。

车辆目标消除后的结果如图 3(b)所示,从图中可以看出,车辆目标被完全腐蚀,而建筑物背景变化不大。

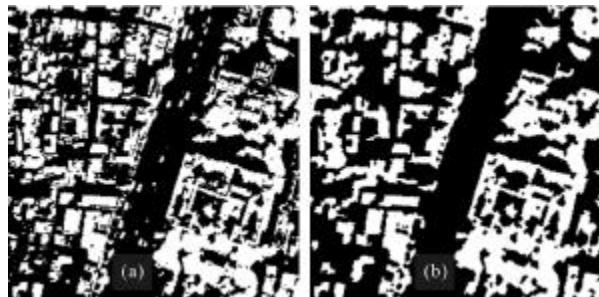


图 3 建筑物背景提取

Fig.3 Segmentation result of building background

### 3 车辆目标检测

星载光学遥感图像车辆检测面临的主要难点是背景复杂,因此,文中采用植被背景抑制以及建筑物背景抑制来消除复杂背景的影响。文中给出的车辆目标检测方法的流程示意见图 4。

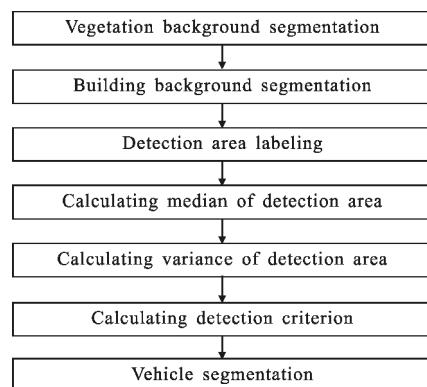


图 4 车辆目标检测流程示意图

Fig.4 Vehicle detection process of the proposed method

植被背景抑制和建筑物背景抑制后的检测区域为:

$$c(i,j) = \begin{cases} 1 & v(i,j)=1 \cup r(i,j)=1 \\ 0 & v(i,j)=1 \cap r(i,j)=0 \end{cases} \quad (9)$$

经过植被背景和建筑物背景抑制后, 场景中只剩下了道路和其他相当单一的背景。为了检测出其中的车辆目标, 文中利用著名的 RX 算法来完成后续的检测。RX 算法由美国南加州大学的 Reed 教授和 Xiaoli Yu 提出<sup>[1]</sup>, 并在国际范围内引起了广泛的关注, 该算法的显著优点是不需要目标的先验信息, 并且具有很强的鲁棒性。

设  $I_{pan}$  为一幅遥感图的全色波段图像, 则目标检测的判据由下式给定:

$$\eta(i,j) = \begin{cases} 0 & c(i,j)=1 \\ \frac{1}{S}[I_{pan}(i,j)-\mu]^2 & c(i,j)=0 \end{cases} \quad (10)$$

其中

$$\mu = \frac{1}{W} \sum_{c(i,j)=0} I_{pan}(i,j) \quad (11)$$

$$S = \frac{1}{W-1} \sum_{c(i,j)=0} [I_{pan}(i,j)-\mu]^2 \quad (12)$$

式中:  $W$  为植被与建筑物背景抑制后像素的个数, 最后还需要选取一个合适的阈值分割目标, 若  $\eta(i,j) > \eta_0$  便为目标, 反之为背景, 其中  $\eta_0$  与虚警概率有关, 由 N-P 准则确定。

#### 4 实验结果与讨论

为了验证文中提出算法的可行性, 将文中提出的方法应用于实际星载光学遥感图像的车辆目标检测。在 CPU 2.67 Hz, 内存 4 G 的计算机上利用 C++ 语言编程实现, 选取 Quickbird 卫星获取的印度班加罗尔市区的一部分图像(场景 1), 如图 5 所示。

图 5(a)中的场景中建筑物较多, 并且比较混杂拥挤, 道路两边和建筑物中间夹杂分布着一些植被, 车辆目标主要出现在道路中, 车辆目标较小, 所占像素数不多, 无较多形状信息和纹理信息可用, 车辆的目标强度不大, 在目标所在局部对比度较高。利用传统目标检测方法检测困难。将文中方法应用该场景的车辆目标检测, 耗时 0.592 s, 结果如图 5(b)所示。图中的植被背景以及建筑物背景基本被抑制干净, 道路背景以及一些其他背景, 也被极大地抑制, 车辆目标得到了很好地增强, 大幅提升了目标和背景的

信噪比, 便于后续的目标分割。通过简单的阈值分割后, 结果如图 5(c)所示。与人工检测进行比较结果见表 1。从表 1 中可以看出, 文中给出的方法能够检测出其中大部分的车辆目标, 虚警较低, 说明该方法能够有效地检测车辆目标, 但是该算法的也有一定的漏检比例, 主要由于一些黑色的车辆目标以及一些处于阴影中的车辆目标没有被检测出来造成的。

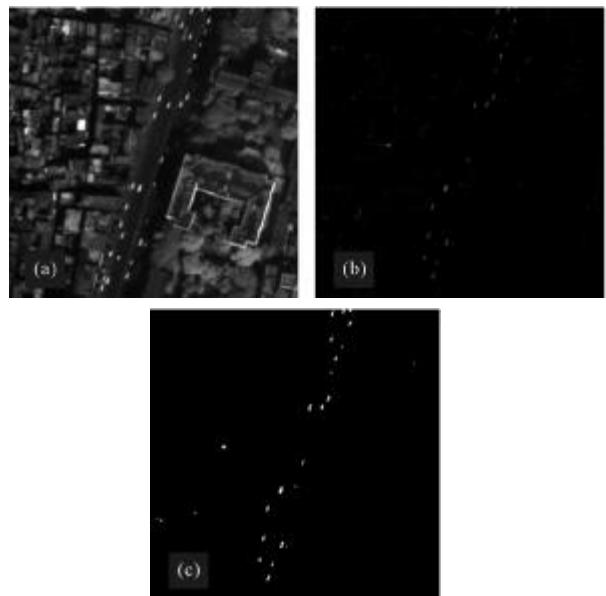


图 5 场景 1 车辆目标检测结果

Fig.5 Vehicle detection result in scene 1

表 1 场景 1 中的文中算法与人工检测比较

Tab.1 Comparison between proposed method and manual detection in scene 1

	Amount of vehicles	Percent
Manually detected	34	100%
Correctly detected	22	64.71%
False detected	3	8.82%
Undetected	12	35.29%

将文中给出的方法应用于另外一幅星载光学遥感图像, 该图像也是 Quickbird 卫星获取的印度班加罗尔市区的一部分(场景 2), 与场景 1 相比, 该场景更大, 具有植被、建筑物以及水体等多种背景, 车辆目标更多, 集中出现在道路上, 检测结果如图 6 所示。

图 6(a)是全色波段的图像, 文中算法的检测结果是图 6(b), 耗时 0.402 s, 简单阈值分割后的结果图 6(c)。从检测结果中可以看出, 虽然场景较大, 并且具有多种背景的影响, 但是场景中的背景被很好地抑制, 车辆目标都得到了很好地增强。表 2 是该方法与人工检测的

对比。从表中可以看出,该场景的中车辆目标更多,文中检测算法的检测率比场景 1 有所提高,这表明文中算法更适用于复杂背景下众多目标的检测。

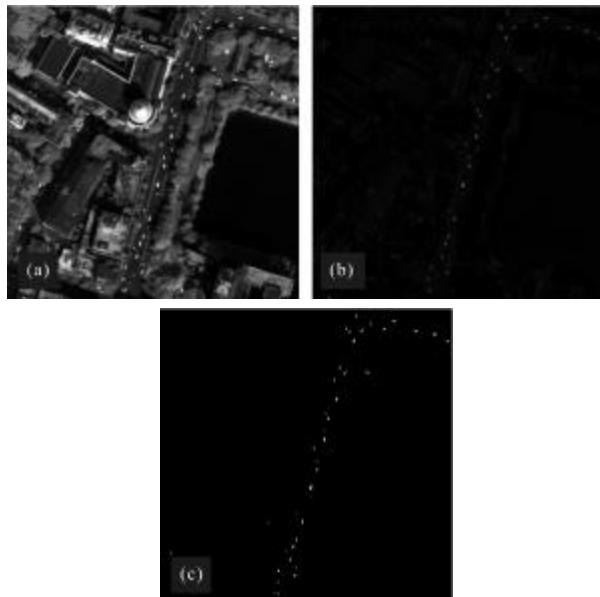


图 6 场景 2 车辆目标检测结果

Fig.6 Vehicle detection result in scene 2

表 2 场景 2 中的文中算法与人工检测比较

Tab.2 Comparison between proposed method and manual detection in scene 2

	Amount of vehicles	Percent
Manually detected	52	100.00%
Correctly detected	37	71.15%
False detected	3	5.77%
Undetected	15	28.85%

从以上两组实验结果中可以看出,文中提出的算法综合考虑光学遥感图像的各个波段的信息,尽管城市街区场景中的干扰因素较多,但是文中给出的方法能够根据不同干扰的物理属性,有针对性地设计背景抑制算法,进而对车辆目标进行检测,取得了较好的效果。

## 5 结 论

文中针对城市街区车辆目标的检测问题,提出一种星载高分辨率光学遥感图像检测方法,利用场景中植被背景的物理属性,采用归一化叶面指数 NDVI 结合自适应阈值分割方法抑制植被背景,然后,在研究建筑、道路以及车辆目标的光谱反射率特

性的基础上,利用全色波段图像结合二值形态学方法,消除建筑物背景的影响,在此基础上,引入著名的 RX 算法实现车辆目标的自动检测,有效克服了城市街区复杂背景干扰的问题。文中提出的方法具有执行简单、运行效率高、无需人工辅助的优点,可用于城市街区车辆目标的检测。

## 参 考 文 献:

- [1] Xin Hongwei, Yang Jinsong, Gao Minghui, et al. Support design for secondary mirror of high resolution space telescope [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(9): 1724-1729. (in Chinese)
- [2] Bi Fukun, Gao Lining, Long Teng. Remote sensing target detection based on visual saliency guidance and classifier fusion [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(10): 2058-2063. (in Chinese)
- [3] Niu X. A semi-automatic framework for highway extraction and vehicle detection based on a geometric deformable model [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2006, 61(4): 170-186.
- [4] Eikvil L, Aurdal L, Koren H. Classification-based vehicle detection in high resolution satellite images [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64(1): 65-72.
- [5] Leitloff J, Hinz S, Stilla U. Vehicle detection in very high resolution satellite images of city areas [J]. IEEE Trans Geosc Remote Sens, 2010, 48(7): 2795-2806.
- [6] Liu W, Yamazaki F, Tuong Thuy Vu. Automated vehicle extraction and speed determination from quickbird satellite images [J]. IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, 2011, 4(1): 75-82.
- [7] Wu Yu, Yu Tao, Xie Donghai, et al. Automatic registration of high resolution and multi-spectral remote sensing images [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(12): 3285-3290. (in Chinese)
- [8] Keys R. Cubic convolution interpolation for digital image processing[J]. IEEE Trans on ASSP, 1981, 29(6): 1153-1160.
- [9] Herold M, Gardner M E, Roberts D A. Spectral resolution requirements for mapping urban areas[J]. IEEE Trans Geosc Remote Sens, 2003, 41(9): 1907-1919.
- [10] Roberts D A, Herold M. Imaging Spectrometry of Urban Materials [M]//King P, Ramsey M S, Swayze G. Infrared Spectroscopy in Geochemistry, Canada Québec: Mineral Association of Canada, 2004: 155-181.
- [11] Reed I S, Yu X. Adaptive multiple-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distribution [J]. IEEE Trans on ASSP, 1990, 38(10): 1760-1770.