

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 23020141153187

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于超分辨率迁移学习的遥感图像车辆检测

Vehicle Detection in Remote Sensing Imagery Based on
Super-Resolution Transfer Learning

罗 峰

指导教师姓名: 曹刘娟 助理教授

专业名称: 计算机技术

论文提交日期: 2017 年 05 月

论文答辩时间: 2017 年 05 月

学位授予日期: 2017 年 06 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2017 年 05 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为福建省智慧城市感知与计算重点实验室的研究成果,获得该重点实验室课题经费的资助,在该重点实验室完成。

声明人(签名):

2017年 5月 20日



厦门大学博硕士论文

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

- () 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。
- () 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

2017年 5月 20日

罗峰

摘 要

遥感成像技术的迅猛发展催生了大量的遥感图像的产生。以车辆检测为代表的遥感图像目标检测在公共安全、智能交通、城市规划等领域具有研究价值。大规模卫星图像中的标注信息不足、表观特征不明显、噪声干扰等因素严重影响了对于当前计算机视觉主流车辆检测算法的直接应用,导致了直接训练鲁棒的卫星图像车辆检测器面临监督信息不足的挑战。本文主要研究基于高分辨率航摄图像进行高效自动的车辆目标检测,并将分类器迁移应用于低分辨率的卫星图像实现车辆检测。研究的主要内容包括以下三个方面:

(1) 针对卫星图像表观特征不明显的问题,本文引入基于随机森林的超分辨率重建算法对卫星图像进行特征增强、表观重构。对于背景复杂的卫星图像,基于随机森林的超分辨率重建算法将传统的稀疏编码方法以及锚邻域回归(ANR)转化为一个局部线性回归问题求解。

(2) 针对卫星图像噪声干扰问题,本文引入基于深度学习 GoogLeNet 模型,构建航拍图像车辆鲁棒检测模型。通过对训练数据引入上下文场景,使得深度学习网络更适合对背景复杂的航拍图像实现车辆检测。

(3) 结合以上两点,本文提出了基于超分辨率迁移学习的遥感图像车辆检测一体化框架算法。该框架分为离线部分对航摄图像进行鲁棒检测模型的训练,以及在线部分对输入的高分辨率卫星图像的超分辨率重建,并对重建结果输入深度卷积网络 GoogLeNet 实现最终的车辆检测。实现了将目标领域难以解决的问题迁移至源领域进行解决。

实验证明,与直接在卫星图像上训练模型进行车辆检测相比,在该检框架下经过超分辨率重建后的检测效果会有较好的提升。

关键词: 遥感图像; 车辆检测; 超分辨率重建; 迁移学习; 深度学习

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

A large number of remote sensing images have been produced with the rapid development of remote sensing imaging technology. Object detection in remote sensing images such as vehicle detection has been an important research topic in many applications, such as public security, intelligent transportation and urban planning. The lack of annotation information, apparent features, noise interference and other factors in large-scale satellite remote sensing images, have seriously affected the direct application of mainstream vehicle detection algorithms. It has also resulted in difficulty of directly training robust vehicle detectors on satellite remote sensing images with insufficient supervised information. The main contents of this thesis include the following three parts:

(1) To overcome the issue of unobvious features in satellite remote sensing images, a super-resolution algorithm based on random forest is introduced, which enhances the feature and reconstruct image. To process remote sensing images with complex background, the proposed super-resolution algorithm combines random-forest based sparse coding with anchor-neighborhood (ANR) scheme into a local linear regression problem.

(2) To overcome the issue of noise interference in aerial remote sensing images, a deep-learning model GoogLeNet is introduced to train a robust vehicle detector. By introducing context information to the training data, the trained deep network is more suitable for the vehicle detection under complex background of aerial image.

(3) Combing the above two points, this thesis further proposed an integrated framework for vehicle detection in remote sensing images via super-resolution transfer. The framework can be divided into offline part and online part. The offline part is mainly for training the robust detection model on the aerial images. The online part is mainly for the reconstruction of high-resolution satellite images, and then send the reconstruction results into deep convolutional network GoogLeNet for detection. In such a way, the difficult of detection vehicles in low-resolution (target) domains is transformed into the detection in the high-resolution (source) domain.

Experiments show that, by comparing to the vehicle detection model trained directly on the satellite remote sensing images, the proposed method can improve the detection performance with a significant gain, which achieves the state-of-the-art

results in large-scale dataset.

Key words: Remote Sensing; Vehicle Detection; Super-resolution Representation; Transfer Learning; Deep Learning

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

摘 要	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 课题研究背景与意义	1
1.2 研究现状	3
1.3 论文的研究目标与内容	6
1.4 论文的结构	7
第二章 基于随机森林的遥感图像超分辨率重建算法.....	9
2.1 超分辨率重建方法概述	9
2.2 基于稀疏表示的超分辨率重建算法	11
2.3 基于随机森林的超分辨率重建算法	15
2.4 实验评估	16
2.5 本章小结	18
第三章 基于 GoogLeNet 的车辆检测	21
3.1 基于样例搜索的遥感图像车辆检测	21
3.2 基于深度卷积网络 VGG-16 的遥感图像车辆检测	25
3.3 基于深度卷积网络 GoogLeNet 的遥感图像车辆检测	27
3.4 实验评估	30
3.5 本章小结	36
第四章 基于超分辨率迁移学习的车辆检测算法.....	37
4.1 基于超分辨率迁移学习的车辆检测一体化框架	37
4.2 遥感图像分辨率	38
4.3 遥感图像超像素分割	40
4.4 遥感图像超分辨率重建	43
4.5 基于深度卷积网络 GoogLeNet 的车辆检测	44
4.6 实验评估	44
4.7 本章小结	49

第五章 总结与展望	51
5.1 本文工作总结	51
5.2 今后的研究方向	51
参考文献	53
附录 攻读硕士学位期间发表论文及科研情况.....	59
致谢.....	61

厦门大学博硕士论文摘要库

Table of Contents

Abstract (Chinese)	I
Abstract (English)	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background and Significance.....	1
1.2 Literature Review	3
1.3 Objective and Content of the Thesis	6
1.4 Structure of the Thesis.....	7
Chapter 2 Super Resolution Reconstruction based on the Random Forest	9
2.1 Overview of the Reconstruction of Super Resolution.....	9
2.2 Super Resolution Reconstruction based on Sparse Representation	11
2.3 Super Resolution Reconstruction based on Random Forest.....	15
2.4 Experiment	16
2.5 Chapter Summary	18
Chapter 3 Aerial Images Vehicle Detection based on the GoogLeNet	21
3.1 Vehicle Detection based on Exemplar Search	21
3.2 Vehicle Detection based on VGG-16.....	25
3.3 Vehicle Detection based on GoogLeNet	27
3.4 Experiment	30
3.5 Chapter Summary	36
Chapter 4 Vehicle Detection for Remote Sensing Images based on Super Resolution Transfer Learning	37
4.1 An Integrated Framework for Vehicle Detection of Remote Sensing Images based on Super Resolution Transfer Learning	37
4.2 Resolution of Remote Sensing Images.....	38
4.3 Super Pixel Segmentation on Remote Sensing Images.....	40
4.4 Super Resolution Reconstruction on Remote Sensing Images.....	53
4.5 Vehicle Detection based on GoogLeNet	54

4.6 Experiment	44
4.7 Chapter Summary	49
Chapter 5 Conclusion and Prospect.....	51
5.1 Conclusion	51
5.2 Prospect.....	51
References	53
Appendix: List of Publications During Master's Study.....	59
Acknowledgements.....	61

厦门大学博硕士学位论文摘要库

插图

图 1.1 卫星图像与航摄图像差异示意图.....	2
图 1.2 基于超分辨率迁移学习的遥感图像车辆检测流程图.....	7
图 2.1 基于随机森林的超分辨率重构流程图.....	9
图 2.2 遥感图像超分辨率重建效果.....	17
图 2.3 遥感图像超分辨率重建效果.....	18
图 3.1 航拍图像中车辆检测算法流程图.....	21
图 3.2 车辆 HOG 特征提取及可视化.....	23
图 3.3 VGG 网络结构图 ^[70]	26
图 3.4 Inception 模块 ^[71]	28
图 3.5 改进后 Inception 模块 ^[71]	29
图 3.6 GoogLeNet 网络结构 ^[71]	29
图 3.7 网格划分训练集和测试集.....	31
图 3.8 训练样本示例.....	31
图 3.9 检测结果.....	32
图 3.10 GoogLeNet 窗口检测结果.....	33
图 3.11 不同上下文比例的训练图片.....	33
图 3.12 不同上下文场景比例的网络精度.....	34
图 3.13 精确率及召回率.....	34
图 3.14 基于样例搜索模型的正样本.....	35
图 3.15 三种分类模型评估结果.....	35
图 4.1 车辆检测流程图.....	37
图 4.2 空间分辨率 0.135m、0.270 m 遥感图像	38
图 4.3 空间分辨率 2.70m、0.54 m 遥感图像	39
图 4.4 归一化超像素切割算法效果图.....	41
图 4.5 数据集中的测试数据的示例.....	42
图 4.6 边缘召回率与超像素个数评估曲线.....	42
图 4.7 基于熵率分割超像素效果.....	43
图 4.8 随机森林训练集.....	43

图 4.9 准确率-召回率曲线	45
图 4.10 三种空间分辨率的模型检测效果.....	46
图 4.11 空间分辨率 0.15m 效果.....	47
图 4.12 车辆检测结果.....	48
图 4.13 谷歌地图空间分辨率 0.15m 效果	49

厦门大学博硕士论文摘要库

表格

表 2.1 定量评估的对比.....	17
表 3.1 Linux 相关配置.....	32
表 4.1 比例尺及空间分辨率关系.....	44

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 课题研究背景与意义

遥感数据在国民经济建设的众多领域中有着特殊的优势,例如战场态势监控、城市交通,以及矿物、陆地植被、惰性气体和人工材料的探测与识别等。在遥感数据时代的浪潮中,遥感数据处理技术面临着新的挑战,也伴随着新的发展契机。受到遥感图像智能化自动分析方法的局限,仅有少量的遥感信息能够通过知识挖掘与决策分析方法得到利用。因此,如何让计算机准确及时地从遥感数据中获取精确的地物信息,是当前遥感技术应用中迫切需要研究的课题。

当前已经针对航拍图像的车辆检测进行了广泛的研究^{[1][2][3]},同时逐渐出现了对低分辨率卫星域的车辆检测工作。随着成像技术的演变,目前卫星平台例如 IKONOS(1m), QuickBird(0.61m), WorldView(0.5m)等能够提供 0.5~1m 空间分辨率图像,通过这些分辨率可识别车辆。对遥感图像进行小目标检测并非容易的事情,主要挑战在两个方面:第一,与航拍图像相比,卫星图像中车辆的空间分辨率低一个数量级,即通常 ≤ 10 英寸卫星图像。因此,在卫星图像领域直接使用航拍图像域原先设计的特征和检测器几乎是不可行的^{[4][5][6]}。第二,卫星图像数据源普及时间不长,不管在移动车辆或静止车辆图像域,可用的监督标签都很少,不能用于训练车辆探测器。尽管人工标记可以减轻缓解该情况,但是需要耗费相当多的人工成本。

大规模卫星图像中的标注信息不足、表观特征不明显、噪声干扰等因素严重影响了当前计算机视觉主流目标检测算法的直接应用。首先,尚未有大规模的面向各尺度卫星像的车辆检测算法与车辆标注集合。这导致了直接训练鲁棒的卫星图像车辆检测器面临小样本学习问题的挑战:一方面,无法对不同尺度的卫星图像进行重复的人工标注,并重复地训练车辆检测器;另一方面,某尺度上不精确的低分辨率检测器泛化能力必然欠缺,因此难以在不同尺度上通用。其次,虽然当前大规模卫星图像已经具有较高分辨率,但针对车辆等目标尺寸而言,往往存在“低分辨率”问题。例如,目前应用比较广泛的高分辨率商业遥感卫星图像,针对车辆等小尺寸目标的表观描述与特征抽取存在一定挑战。如图 1.1(a)所示

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库