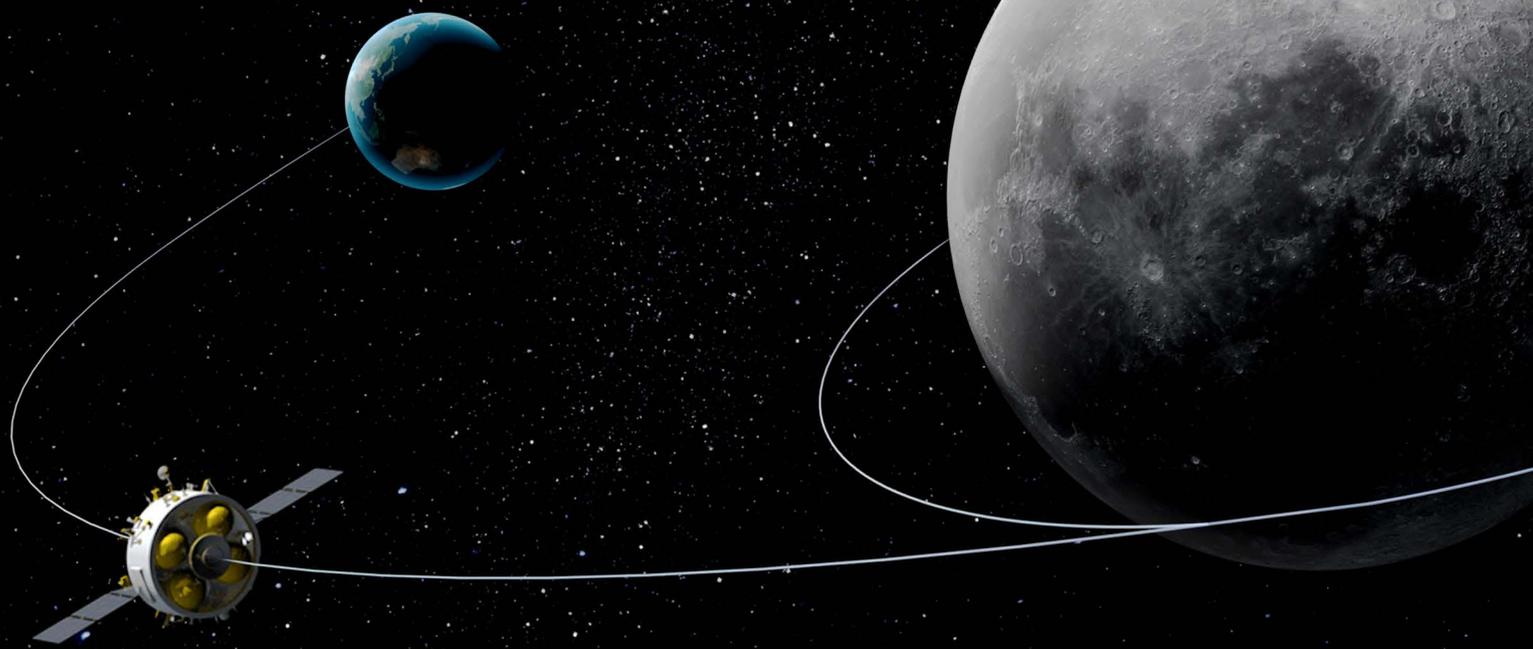


中国科技核心期刊 • 中文核心期刊 • CSCD、CSA核心源期刊
ESCI、SCOPUS、知网、万方、维普全文收录期刊
《航空航天领域高质量科技期刊分级目录》T2级期刊

ISSN 1000-758X
CN 11-1859/V
CODEN ZKKJEK



中国空间科学技术

Chinese Space Science and Technology



中国航天

中国空间技术研究院

China Academy of Space Technology

2022 **1** VOL.42

中国空间科学技术

Zhongguo Kongjian Kexue Jishu

双月刊·1981年创刊
聂荣臻元帅为本刊亲笔题名

第42卷1期2022年
总第248期
2022年2月25日出版

主管单位 中国航天科技集团有限公司
主办单位 中国空间技术研究院
北京空间科技信息研究所
主 编 杨孟飞
副主编 杨树仁 邱家稳
编辑部主任 程松涛
《中国空间科学技术》编辑部
地 址 北京市5142信箱211分箱
邮 编 100094
电 话 (010)68112646/68112647
投 稿 <http://zgkj.cast.cn>
印 刷 北京宇星舟科技印刷有限公司
发 行 北京市9622信箱发行组
邮 编 100086
电 话 (010)68378141
中国标准刊号 ISSN 1000-758X
CN11-1859/V
CODEN ZKKJEK
海外总发行 中国国际图书贸易集团
有限公司
(北京399信箱)
国外发行代号 BM1137
邮发代号 82-595
国内定价 50.00元
责任编辑 高 珍
编 辑 高 珍 邓 薇 程松涛
排 版 关 婕 吕春红

目 次

综述

- 低轨巨型星座构型设计与控制研究进展与展望
..... 阮永井,胡敏,云朝明(1)
卫星在轨故障案例与人工智能故障诊断
..... 王亚坤,杨凯飞,张婕,等(16)
星载 ADS-B 相关研究进展及展望
..... 倪久顺,陈利虎,余孙全,等(30)

论文

- 追踪及凝视状态下地气光对空间目标成像影响
..... 张路平,肖山竹,胡谋法,等(38)
空间薄膜结构刚柔耦合非线性动力学分析
..... 邵琦,陆一凡,史创,等(47)
极低频超大型航天器姿态机动与物理试验验证
..... 袁泉,林瀚峥,张军,等(57)
基于深度神经网络的多星测控调度方法
..... 李长德,徐伟,徐梁,等(65)
考虑失效性故障的火星探测器进入段姿态容错控制
..... 戴清,周洪刚,刘鹏轩,等(73)
基于覆盖圆的太阳同步回归轨道卫星目标轨迹调整方法
..... 林竹肿,王剑锋,张蔚,等(83)
星载 SAR 全方位模糊特性及计算方法
..... 陶满意,胡广清,黄源宝,等(92)
构架式可展开天线反射器模块化构型设计优化
..... 胡飞,宋燕平,黄志荣,等(99)
异形光斑的高精度光束偏转角度测量
..... 邹炎升,张乃元,袁辉,等(107)
基于视惯融合的大型空间碎片质心位置辨识
..... 姚金铭,李广平,张慧博,等(114)
融合邻域色差的 PSPNet 对遥感影像的分割
..... 袁伟,许文波,周甜(125)
碳基高导热材料及其在航天器上的应用
..... 童叶龙,陶则超,李一凡,等(131)

其 他

- 《中国空间科学技术》征稿简则 (封二)
《中国空间科学技术》编辑委员会 (封底)

Sponsored by China Academy of Space Technology (CAST)

Chinese Space Science and Technology

Vol. 42 No. 1 Feb. 2022

Bimonthly

CONTENTS

Advances and prospects of the configuration design and control research of the LEO mega-constellations	RUAN Yongjing, HU Min, YUN Chaoming(1)
Case study of in-orbit satellite failures and artificial intelligence based failure detection	WANG Yakun, YANG Kaifei, ZHANG Jie, et al(16)
A review for space-based ADS-B	NI Jiushun, CHEN Lihu, YU Sunquan, et al(30)
Influence of earth atmosphere radiation on the imaging of space object under tracking and gazing state	ZHANG Luping, XIAO Shanzhu, HU Moufa, et al(38)
Rigid-flexible coupled nonlinear dynamics and analysis of space membrane structure	SHAO Qi, LU Yifan, SHI Chuang, et al(47)
Attitude maneuver and physical test of large-scale spacecraft with ultra-low frequency	YUAN Quan, LIN Hanzheng, ZHANG Jun, et al(57)
Multi-satellite TT&C scheduling method based on DNN	LI Changde, XU Wei, XU Liang, et al(65)
Fault-tolerant attitude control of Mars entry phase considering actuator failure	DAI Qing, ZHOU Honggang, LIU Pengxuan, et al(73)
Nominal ground trace adjustment for regression SSO satellites based on revisit-circle	LIN Zhuchong, WANG Jianfeng, ZHANG Wei, et al(83)
Research on omnidirectional ambiguity characteristics and calculation method of spaceborne SAR	TAO Manyi, HU Guangqing, HUANG Yuanbao, et al(92)
Design optimization of modular configuration for deployable truss antenna reflector	HU Fei, SONG Yanping, HUANG Zhirong, et al(99)
High precision deflection angle measurement of irregular light spot	ZOU Yansheng, ZHANG Naiyuan, YUAN Hui, et al(107)
Mass-center location identification of large space debris based on binocular vision and inertial measurement units fusion	YAO Jinming, LI Guangping, ZHANG Huibo, et al(114)
Remote sensing image segmentation based on PSPNet with neighborhood color difference	YUAN Wei, XU Wenbo, ZHOU Tian(125)
Carbon materials with high thermal conductivity and its application in spacecraft	TONG Yelong, TAO Zechao, LI Yifan, et al(131)

Started in: 1981. Editor in Chief: YANG Mengfei

P. O. Box 5142-211, Postal Code 100094, Beijing, China

Distributor: China International Book Trading Corporation (GUOJI SHUDIAN)

P. O. Box 399, Beijing, China

融合邻域色差的 PSPNet 对遥感影像的分割

袁伟^{1,*}, 许文波², 周甜¹

1. 成都大学 建筑与土木工程学院, 成都 610106

2. 电子科技大学 资源与环境学院, 成都 610097

摘要:传统的遥感影像语义分割利用影像的光谱特性,将具有相似值的像素进行归类,但无法区分具有不同光谱的同一类对象。针对这一问题,提出将邻域的色差信息和原始图像一起输入 PSPNet 网络中的方法。先将 RGB 变换到 LAB 空间,然后采用 CIELAB 公式计算出每一个像素与周围 8 个邻域像素的色差值,取平均值作为该像素的邻域色差值。在 WHU building dataset 和 Massachusetts building dataset 上使用 PSPNet 进行对比试验。结果显示,在两个数据集中平均交并比 MIoU、准确度 ACC 和 F1-score 都有不同程度的提高。因此,融合邻域色差的方法能有效提高 PSPNet 分割精度。

关键词:遥感影像;语义分割;深度学习;邻域色差;卷积神经网络

中图分类号:P237

文献标识码:A

Remote sensing image segmentation based on PSPNet with neighborhood color difference

YUAN Wei^{1,*}, XU Wenbo², ZHOU Tian¹

1. School of Architecture and Civil Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China

2. School of Resources and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610097, China

Abstract: Traditional semantic segmentation of remote sensing image is to classify the pixels with similar values by using the spectral characteristics of images, but it is unable to distinguish the same kind of objects with different spectra. Aiming at this problem, a method was proposed in which the color difference information of neighborhood is integrated into the original image as input to PSPNet. Firstly, RGB was transformed into LAB. Then CIELAB formula was used to calculate the color difference value between each pixel and eight neighboring pixels, and the average value was taken as the neighborhood color difference value of the pixel. Experiment was done by using PSPNet on WHU building dataset and Massachusetts building dataset. The results show that the MIoU, ACC and F1-score with neighborhood color difference are better than without. Therefore, the proposed method of merging neighborhood color difference is an effective way to improve the segmentation accuracy of PSPNet.

Keywords: remote sensing image; semantic segmentation; deep learning; neighborhood color difference; convolutional neural network

收稿日期:2021-01-13;修回日期:2021-02-02;录用日期:2021-05-30;网络出版时间:2021-06-11 16:49

基金项目:四川省科技厅科技支撑计划(2020YFG0327)

* 通信作者. E-mail: 77370449@qq.com

引用格式:袁伟,许文波,周甜. 融合邻域色差的 PSPNet 对遥感影像的分割[J]. 中国空间科学技术, 2022,42(1):125-130. YUAN W, XU W B, ZHOU T. Remote sensing image segmentation based on PSPNet with neighborhood color difference[J]. Chinese Space Science and Technology, 2022,42(1):125-130 (in Chinese).

1 引言

传统的遥感影像语义分割是利用影像的光谱特性,依靠某种算法进行变换后,设定一个阈值,将具有相似值的像素进行归类^[1-5],但由于同物异谱现象的存在,提取效果不够理想。深度学习出现以后,因其可以自动提取特征等优势,现已成为遥感图像语义分割的主流方法,如文献[6]将建筑物的轮廓信息、区域信息和建筑物区域内至边缘的距离信息作为标签内容进行多任务训练,提高了建筑物的分割精度。文献[7]对UNet++进行了改进,在房屋提取上取得了更好的效果。文献[8]将DSM作为辅助信息进行学习,效果比SVM、GBDT、FCN-8s模型更好。文献[9]将注意力机制引入深度学习网络,在ISPRS的在线竞赛中总体精度排名第一。文献[10]联合深度学习和条件随机场进行遥感影像的云检测,取得了不错的效果。

有时,辅助信息难以获得。本文通过挖掘图片自身的信息,提出一种融合色差的方法,将像素与邻域的色差信息作为第4通道,共同输入到PSPnet^[11]网络中进行特征提取。

2 邻域的色差计算

对于一幅图像而言,邻近的像素如果颜色不同不一定是不同的物体;然而邻近的像素如果颜色相似,则往往是同一物体。根据这一原则,可以将图像中的每个像素与邻域像素之间的颜色相似程度,作为已完成预处理的特征,以第4通道的形式融合到原始图像中,以弥补卷积运算无法进行平方和开方这类复杂运算的缺点,增强深度学习网络提取特征的能力。为此,需要计算出每个像素的邻域色差。

RGB是使用最为普遍的颜色空间,分为红色、绿色、蓝色3个通道,每个通道的值是0~255的整数。将这3个通道以不同的值进行组合,共有约1678万个值,几乎可以表达现实世界所有的颜色。然而RGB颜色空间却无法通过计算各个通道的欧氏距离来衡量颜色的相似程度,因为RGB中一个通道的一点改变,会导致

颜色发生巨大变化,而如果3个通道同时改变,却只会使最后的明暗发生变化,色调并不会产生巨大变化。1976年,国际照明委员会(CIE)推荐基于LAB颜色空间建立的CIELAB色差公式^[12],后来又先后推出了改进的公式CIE94^[13]、CIEDE2000^[14]等。除CIE推荐的公式以外,还有一些其他公式,如CMC^[15]、IP^[16]等。但这些公式普遍计算较为复杂,为了简化计算,采用CIELAB色差公式:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta A^2 + \Delta B^2} \quad (1)$$

式中: ΔE 为色差; ΔL 为两个颜色的明度差值; ΔA 为两个颜色的红绿差值; ΔB 为两个颜色的黄蓝差值。

将每个像素与其周围的8个邻域像素之间求出色差,然后取其平均值作为该像素的邻域色差值:

$$\Delta E_{\text{Region}} = \frac{\sum_{i=1}^8 \sqrt{\Delta L_i^2 + \Delta A_i^2 + \Delta B_i^2}}{8} \quad (2)$$

将图像的每个像素求出邻域色差,再映射到0~255,形成一个单通道的灰度图像,如图1所示。将该通道与原始图像的RGB通过进行拼接,形成4通道的图像,输入到PSPNet进行训练。

3 PSPNet

PSPNet是2017年提出的深度学习网络模型,该模型结构如图2所示。首先,利用经典的特征提取网络,如VGG16、ResNet101,对输入图像进行特征提取,然后将得到的特征进行不同尺度的池化,以增强每个像素的实际感受野。图2中,红色模块是将整个特征图整体池化成1个像素,再卷积运算成深度为原来的1/4;黄色模块是将整个特征图等分为4块,分别池化为1个像素,得到2×2像素大小的特征之后再卷积运算成深度为原来的1/4;蓝色模块是将整个特征图等分为9块,分别池化为1个像素,得到3×3像素大小的特征之后再卷积运算成深度为原来的1/4;绿色模块是将整个特征图等分为36块,分别池化为1个像素,得到6×6像素大小的特征之后再卷积运算成深度为原来的1/4。最后将4个不同尺度池化后的结果上采样到输入特征图的大小,然后与输入特征图拼接在一起,再进行卷积运算,得到预测结果。

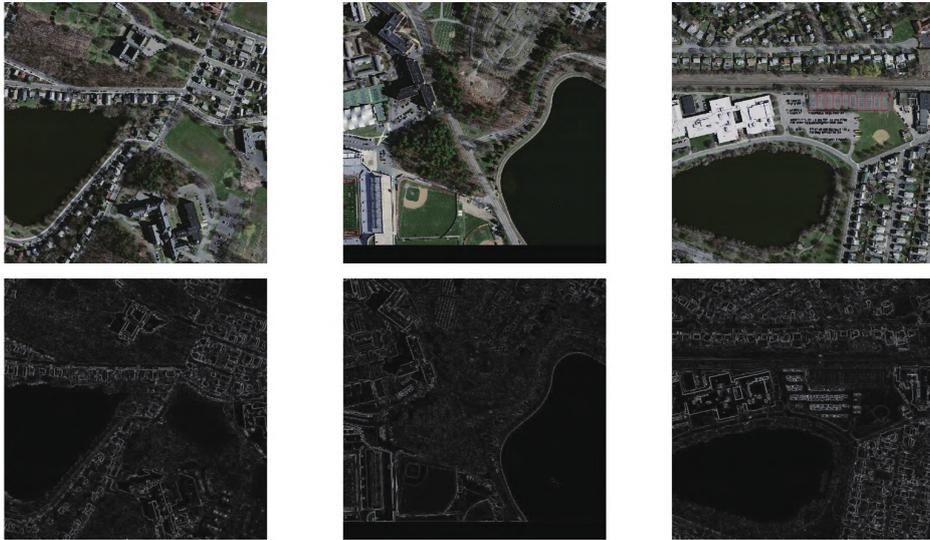


图1 原始图像和对应的色差灰度图像

Fig. 1 The original image and the corresponding color difference gray image

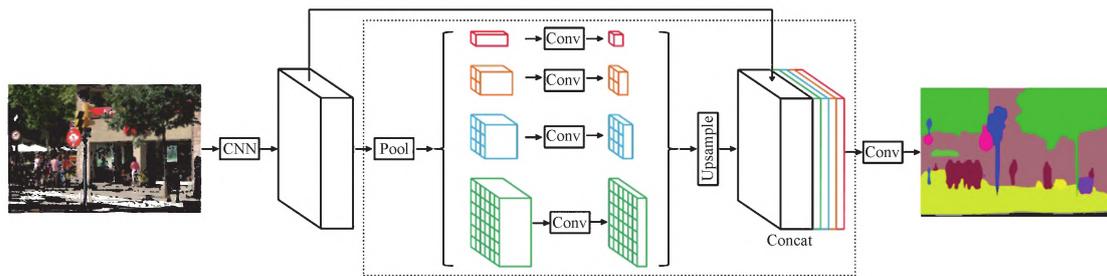


图2 PSPNet网络模型结构

Fig. 2 Structure of PSPNet network model

通过以上网络结构的运算之后,输出的每个像素就包含了全局、1/4、1/9、1/36的池化特征,感受野大大增强,从而获得更好的预测效果。

4 试验数据与评价指标

为了避免因数据集的独特性给网络的对比结果带来偶然性的影响,本文采用两个公开的遥感影像语义分割数据集进行试验。两个数据集的标注精度、地面分辨率都不相同,可以在各种情况下对模型进行对比,得出的结论也更有说服力。

4.1 WHU building dataset

WHU building dataset^[17]是由武汉大学季顺平教授团队用时近1年时间,人工制作的一套大场景、高分辨率的建筑物数据库,该数据库分为航空建筑物数据库和卫星建筑物数据库。如

图3所示,本文选用的航空建筑物数据库影像来自新西兰 Christchurch 市,涵盖 22 万栋形式各异的建筑,覆盖面积约 450 km²,地面分辨率 0.075 m。原始影像大小为 512×512 像素,格式为 tif,通道数为 3,对应的标注影像为单通道 tif 格式数据。训练数据集为 4 736 幅分辨率为 512×512 像素的航空影像,测试数据集为 1 036 幅 512×512 像素的航空影像。

4.2 Massachusetts building dataset

Massachusetts building dataset 数据集也是航空影像,位于美国的麻省,覆盖面积约 340 km²,地面分辨率为 1 m。原始影像大小为 1 500×1 500 像素,格式为 tif,通道数为 3,对应的标注影像为单通道 tif 格式数据。其中训练数据集包含 137 幅 1 500×1 500 像素的航空影像,按 512×512 像素的瓦片大小切割成 1 233 幅图像。测试数据

集包含 14 幅 1500×1500 像素的航空影像,按 512×512 像素的瓦片大小切割成 126 幅图像。



图 3 WHU building dataset
Fig. 3 WHU building dataset

4.3 评价指标

为了更客观地验证本文方法的优势,采用平均交并比(MIoU)、准确度(ACC)、F1-score 三个评价指标进行对比分析。

$$MIoU = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n \frac{TP}{TP+FN+FP} \quad (3)$$

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (4)$$

$$F1\text{-score} = \frac{2 \cdot \text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (5)$$

其中 precision 和 recall 的计算如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{precision} &= \frac{TP}{TP+FP} \\ \text{recall} &= \frac{TP}{TP+FN} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中: n 为前景分类数量,加上背景总共为 $n+1$ 类; TP 为真正,表示正确分为该类的像素个数; FP 为假正,表示他类被分为该类的像素个数; TN 为真负,表示正确分为他类的像素个数; FN 为假负,表示该类被误分为他类的像素个数。式(3)先将背景和建筑物分别作为正样本求出的评价指标后,再取平均值便可得到所有类的平均评价指标。式(4)~(6)中正样本为建筑物。

5 试验与分析

本文试验的 CPU 型号是 Intel I5-9400F,显卡为 NVIDIA GeForce RTX 2060 Super 8G,GPU

加速库采用 CUDA10.0。深度学习框架是 TensorFlow 和官方的高级封装库 Estimator。

采用 AdamOptimizer 算法^[18]寻找最优解,学习率为 0.0001。此外,采用文献[19]方法,对权重采用 L2 正则化,以防止过拟合,提高泛化能力。损失函数为交叉熵。迭代训练周期 epoch 最大值为 100,每个 epoch 之后在测试集上进行评估,若连续 10 个 epoch 的评价指标都不再升高,则采用提前终止模型训练的策略(early stopping)结束模型训练^[20]。

从评价指标来看,融入了邻域色差后的预测结果在两个数据集上的表现都更好一些,如表 1 所示。在 WHU building dataset 数据集上 MIoU 提高了 2.1 个百分点,ACC 提高了 0.5 个百分点,F1-score 提高了 2.4 个百分点。在 Massachusetts building dataset 数据集上,MIoU 提高了 1.4 个百分点,ACC 提高了 1.2 个百分点,F1-score 提高了 1.1 个百分点。

表 1 各数据集上网络模型评价指标对比
Table 1 Comparison of network model evaluation indexes on each dataset

Dataset	Method	MIoU	ACC	F1-score
WHU building dataset	PSPNet	86.1	97.0	86.0
	PSPNet+Color difference	88.2	97.5	88.4
Massachusetts building dataset	PSPNet	69.3	89.4	67.1
	PSPNet+Color difference	70.7	90.6	68.2

从两个数据集的测试数据上的预测图像来看,融入了邻域色差的预测结果效果更好,更接近于真实标签值。在具有相近颜色的像素上,融入了邻域色差预测结果更为一致,尤其在 WHU building dataset 的第 2 行图上更为明显,如图 4 第 2 行所示,原始图像中最右下角的房屋颜色都为灰白色,融入邻域色差后的预测像素大多预测为了房屋,只有中间个别像素预测为了背景,但是效果明显要好于没有融合邻域色差的预测结果。同时,在 Massachusetts building dataset 数据集上融入邻域色差前后的效果虽然说没有在 WHU building dataset 上区别这么大,但也可以看出,建筑物的训判情况要好很多,如图 5 第 1 行所示,水泥地被误判为建筑的情况大大减少。

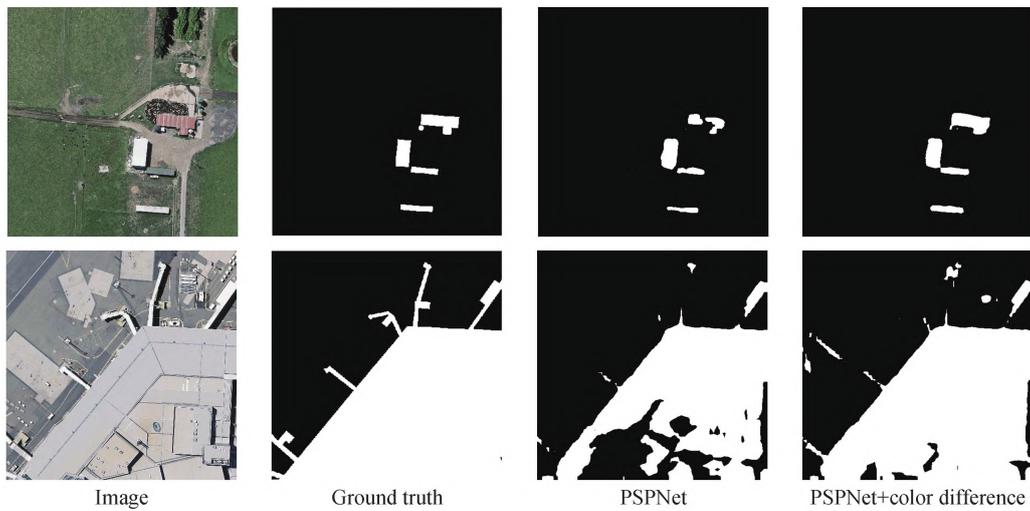


图4 在 WHU building dataset 上的效果对比
Fig. 4 Effect comparison on WHU building dataset

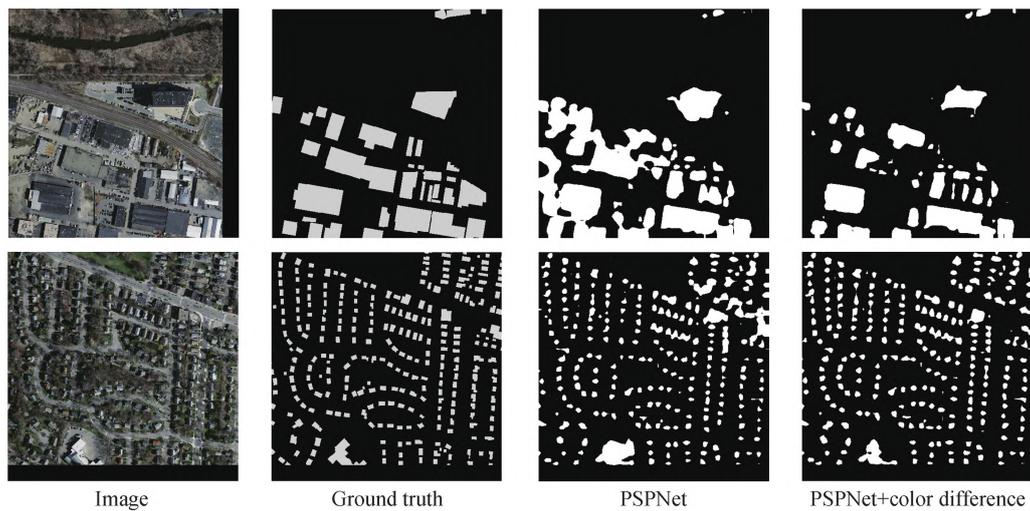


图5 在 Massachusetts building dataset 上的效果对比
Fig. 5 Effect comparison on Massachusetts building dataset

6 结论

为了提高 PSPNet 网络的分割精度,本文提出一种融合邻域的色差信息的方法,先将整个图像 RGB 转换为 LAB 空间,然后分别计算每个像素与邻域 8 像素的色差值,最后取平均值作为该像素的色差信息。将色差信息与 RGB 值进行拼接形成 4 通道的图像,输入到 PSPNet 中进行训练和预测。

通过在两个公开的遥感语义分割数据集上进行对比试验,可以看出融合了色差信息值以后,在每个数据集上,几乎所有的指标均有所提

高。并且从预测的图形上看,具有相似光谱信息的像素被预测成同一类地物的概率大大提高。

因此,本文提出的融合色差的方法,在一定程度上弥补了卷积运算的不足,是一种有效提高 PSPNet 预测精度的方法。

参考文献(References)

- [1] 陈杰,邓敏,肖鹏峰,等. 基于分水岭变换与空间聚类的高分辨率遥感影像面向对象分类[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(5): 597-603.
CHENG J, DENG M, XIAO P F, et al. Object-oriented classification of high resolution imagery based on watershed transform and spatial clustering[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(5): 597-603

编辑委员会

顾问（按姓氏笔画排列）：

王 赤 王 巍 王希季 叶培建 包为民 吕跃广 孙家栋 杨元喜 杨孟飞 吴伟仁 吴宏鑫
闵桂荣 张洪太 范本尧 林益明 周志成 周志鑫 周建平 赵小津 曹喜滨 戚发轫

编委会主任：李 明

编委会副主任：何 洋 黄 昕

编 委（按姓氏笔画排列）：

马小飞 么周石 王 立 王 伶 王 峰 王大轶 王小勇 王飞雪 王天舒 王伟宗 王海兴
史振威 白照广 朱立东 刘 辉 刘 静 刘 磊 刘乃金 刘国青 汤海滨 孙泽洲 李 爽
李恒年 李得天 杨 宏 邱乐德 邹元杰 宋申民 张 过 张 琦 张庆君 张柏楠 张洪波
张景瑞 陈 泓 果琳丽 岳洪浩 金仲和 郑 伟 郑日恒 孟中杰 孟维晓 赵齐乐 秦红磊
夏广庆 徐 明 徐之海 高 扬 高树义 高耀南 郭 宁 郭玲华 郭道省 黄伟芬 曹建峰
曹海翊 龚自正 崔万照 崔玉福 梁新刚 韩笑冬 谢 军 谢 侃 詹亚锋 解永春 谭小敏
谭惠丰 熊 智 樊世超 魏延明 魏春岭

荣誉主编：叶培建

主 编：杨孟飞

副 主 编：杨树仁 邱家稳

中国空间科学技术

2022年第1期

中国标准连续出版物号
ISSN1000-758X/CN11-1859/V
CODEN ZKKJEK
国外发行刊号 BM1137
国内定价 50.00元

ISSN 1000-758X



欢迎扫码关注

封面设计：吴 爽