

基于深度学习的城市建筑物提取研究

王扶家 杨政武

西安建材地质工程勘察院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i4.1738

[摘要] 随着城市化进程的加速,高分辨率遥感影像的获取与应用日益普及,城市建筑物提取成为了遥感图像处理领域的重要研究方向之一。本研究采用马萨诸塞州建筑物数据集,旨在评估U-Net模型和LEDNet模型在建筑物提取方面的有效性和优越性。通过实验验证和比较分析,为提高城市建筑物提取的准确性、效率和适用性提供理论和实践支持,推动深度学习技术在城市空间信息处理领域的进一步应用和发展。研究结果表明,U-Net模型在召回率、F1得分和交并比等指标上均优于LEDNet模型,为城市建筑物提取任务提供了更可靠的解决方案。

[关键词] 深度学习; 城市建筑物提取; U-Net; LEDNet; 遥感影像

中图分类号: P237 **文献标识码:** A

Deep learning based urban building extraction research

Fujia Wang Zhengwu Yang

Xi'an Building Materials Geological Engineering Survey Institute Co., Ltd

[Abstract] With the acceleration of urbanization and the increasing popularity of the acquisition and application of high-resolution remote sensing images, urban building extraction has become one of the important research directions in the field of remote sensing image processing. This study uses the Massachusetts building dataset and aims to evaluate the effectiveness and superiority of U-Net model and LEDNet model in building extraction. Through experimental validation and comparative analysis, it provides theoretical and practical support for improving the accuracy, efficiency and applicability of urban building extraction, and promotes the further application and development of deep learning technology in the field of urban spatial information processing. The results show that the U-Net model outperforms the LEDNet model in terms of recall, F1 score and intersection ratio, providing a more reliable solution for the urban building extraction task.

[Key words] Deep Learning; Urban Building Extraction; U-Net, LEDNet; Remote Sensing Imagery

随着全球城市化进程的不断加速,城市建筑物的提取对于地理信息系统、城市规划、环境监测等领域具有重要意义。准确获取城市建筑物的位置、形状和属性信息,对于城市管理、资源配置以及灾害应对具有至关重要的作用,因此及时活动建筑物的空间分布信息具有重要意义。

传统的城市建筑物提取方法主要包括三种方法,一是采用形态学方法对影像的特征进行提取,该方法利用数学形态学中的膨胀、腐蚀、开运算、闭运算等操作,对遥感影像进行处理,从而突出建筑物的特征。吴俐民等人^[1]提出一种FCM聚类算法协同Canny算子的遥感影像边缘检测方法,实验表明该方法能够准确的检测出地物目标的边缘;朱琴等人^[2]提出以LiDAR为辅助数据对航空影像的规则建筑物进行边缘提取和优化的方法,实验表明该方法可以较完整的提取出建筑物边缘;二是采用机器学习方法进行类别划分,该方法利用监督或无监督分类方法,将遥

感影像中的像素按照其光谱、空间或纹理特征进行分类,从而识别建筑物^[3]。邢瑾^[4]采用随机森林结合面向对象的影像分析对德国恩茨河畔法伊欣根某部分城区的建筑物信息提取;李星等^[5]提出一种面向对象的特征优化方法对建筑物提取,研究发现,基于最优特征子集建筑物提取的总体精度达到0.93。三是采用光谱特征法进行类别划分,该方法利用建筑物与周围地物在光谱特征上的差异,如颜色、反射率等,通过设置阈值或光谱指数(如NDVI、NDWI等)来识别建筑物。传统提取方法常依赖于人工解译或基于规则的图像处理技术,在处理大规模、复杂场景时往往面临效率低下、泛化能力差等问题。

随着遥感技术和深度学习技术的不断发展,基于深度学习的城市建筑物提取方法逐渐成为研究的热点,其优异的特征学习和分类能力在图像处理领域取得了巨大成功并在实践中展现出了巨大潜力。U-Net模型其采用U形结构,将图像特征进行自上

而下和自下而上的传播,能够有效地捕获不同尺度的信息,从而实现图像的精准分割。LEDNet模型则通过引入轻量级的特征提取网络和分割网络,实现了在保持高精度的同时大幅减少了计算成本,适用于在资源受限的环境下进行城市建筑物提取。

本文旨在探讨基于深度学习的城市建筑物提取方法,重点关注U-Net和LEDNet模型在该领域的应用和性能表现。通过实验验证和比较分析,旨在为提高城市建筑物提取的准确性、效率和适用性提供理论和实践支持,推动深度学习技术在城市空间信息处理领域的进一步应用和发展。

1 研究方法

1.1 U-Net模型

U-Net是一种经典的卷积神经网络模型^[6],用于图像分割任务,其原理基于编码器-解码器结构和跳跃连接机制,使其在保留上下文信息的同时能够获取细节。

(1)编码器(特征提取):U-Net模型的编码器部分由多个卷积层和池化层组成。每个卷积块包括一个卷积层和一个池化层。卷积层用于提取图像中的特征,而池化层则用于逐步降低特征图的空间大小和维度,从而提高计算效率。通过多个卷积和池化操作,编码器能够从原始图像中提取出具有不同尺度和语义的特征,这些特征对于建筑物的识别和分割非常重要;(2)解码器(分割):U-Net模型的解码器部分采用了与编码器对称的结构,由多个上采样和卷积层组成。解码器通过上采样(反卷积)操作将特征图的空间尺寸恢复到原始图像大小,并逐步学习合并来自编码器的特征信息;(3)输出层:U-Net模型的最后一层是一个卷积层,负责将网络学到的特征映射转换为像素级的语义分割结果,使得模型能够在像素级别上对输入图像进行准确的分割。

1.2 LEDNet模型

LEDNet模型是一种轻量级的深度学习模型^[7],专门用于从遥感图像中提取城市建筑物。其原理结合了轻量级特征提取网络和多尺度特征融合的策略,以及精心设计的分割网络,实现了高效而准确的建筑物提取。①轻量级特征提取网络:这个编码器结构设计简洁,参数较少,计算资源需求较低,适合处理大规模高分辨率的遥感图像数据。轻量级特征提取网络通过一系列卷积和池化操作,逐步提取图像的抽象特征,从而为后续的建筑物分割任务提供了有效的特征表示。②多尺度特征融合:在多尺度特征融合过程中,LEDNet模型采用了逐级采样和特征级别的连接操作,以实现不同尺度特征的有效融合,并提高分割性能。③分割网络设计:分割网络负责将从编码器获取的特征映射转换为像素级的建筑物边界预测。分割网络结合了轻量级的设计和与多尺度特征融合的策略,能够在保持高分割精度的同时,尽量减少参数和计算量,从而提高了模型的运行效率和实用性。④损失函数和优化器:LEDNet模型通常使用像素级别的交叉熵损失函数作为训练的目标函数,用于衡量模型输出与真实标签之间的差异。通过优化算法(如梯度下降),模型能够自动学习图像中的建筑物特征,并优化分割性能。

2 结果与分析

2.1 实验数据集构建

本研究选用公开的马萨诸塞州高分辨率遥感影像建筑物数据集来评估模型的性能,该数据集由波士顿地区的151张航拍图像组成,每幅图像的1500×1500像素,面积为2.25平方公里。因此,整个数据集覆盖约340平方公里。数据分为137个图像的训练集,10个图像的测试集和4个图像的验证集,通过栅格化从OpenStreetMap项目获得的建筑轮廓线来获得目标地图。

2.2 训练样本数据集

利用监督分类方法区分预处理后遥感影像中的阴影和非阴影,获取分类图。为解决样本数量问题,利用高斯模糊、拉普拉斯算子等方法模拟遥感影像部分数据丢失产生的效果,引入各类噪声信息使训练样本更加丰富,样本信息复杂化,泛化模型性能。由于各类别样本数据之间存在不平衡,因此需要适当的对数据进行增强,以此达到扩充样本的效果。本研究通过对图像的翻转、旋转、镜像等方法来实现数据增强。经过数据增强后,最终得到8352张训练数据,同时将样本按照6:2:2的比例分为训练集、验证集和测试集;同时,由于各类别样本数据之间存在不平衡,因此需要适当的对数据进行增强,以此达到扩充样本的效果。

2.3 数据预处理

使用深度学习在进行影像分类时,由于模型训练过程中需要使用梯度下降的方法求解最优化问题,归一化后可以提升模型的收敛速度,因此需要对影像进行归一化。最常见的归一化方法有两种,分别为min-max标准化和Z-score标准化。本文采用最大最小值归一化处理,将影像的三通道的数据范围从区间[0, 255]缩小至区间[0, 1]。

2.4 实验环境与参数设置

基于Tensorflow2.0+Keras深度学习框架进行,采用Adam优化算法训练网络,学习率设置为0.001。实验配置为Intel(R) Intel(R) Xeon(R) Platinum 8255C CPU@2.50GHz, NVIDIA GeForce RTX 2080Ti。

2.5 精度评价

本文采用三个指标对预测结果进行评定,分别为Recall(召回率)、F1-score(F1得分)和交并比(IoU)。召回率表示的是样本中的道路被正确预测概率。F1得分是准确率与召回率的调和函数,取值在[0, 1],值越接近1表示网络模型道路提取效果越好。交并比是一个综合评价指标,它考虑了道路被错分背景的情况更为全面。

2.6 实验结果及分析

2.6.1 定性分析

模型分割结果定性分析:马萨诸塞州建筑物数据集提取结果对比图如图1所示,前两列为原始RGB航拍图像和对应的地面真实图像,从第三列开始从左至右依次为U-Net和LEDNet模型实验结果。通过结果图可知,第一场景用于测试网络对于中小型建筑物的提取能力。由目视结果可以看出,U-Net和LEDNet模型均能检测到中小型建筑物,然而LEDNet模型存在对建筑物提取

边界不准确,小型建筑物存在漏提现象,而U-Net模型提取的中小型建筑物边界平滑、完整;第二场景用于检测农村地区分散建筑物的提取能力。由目视结果可以看出,U-Net和LEDNet模型均能检测到较为分散的建筑物,LEDNet模型虽然能大致识别建筑物轮廓,但与U-Net模型相比,提取结果易受建筑物阴影影响不能够去除背景信息。第三场景是大型建筑物提取结果,U-Net模型识别的大型建筑物边界相对完整平滑。

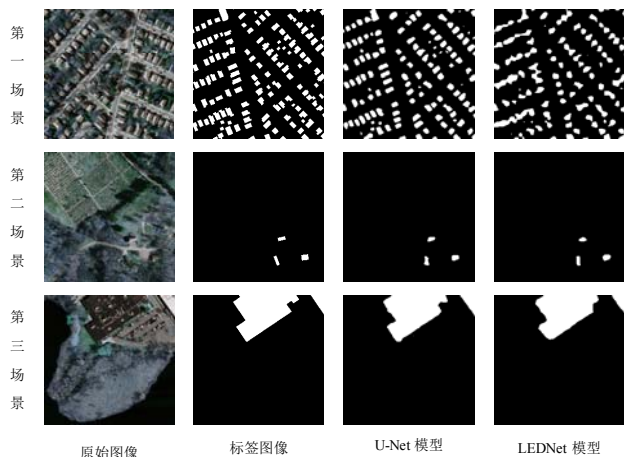


图1 马萨诸塞州建筑物数据集对比实验结果

2.6.2 定量分析

本研究在实验部分选择经典语义分割模型 U-Net和LEDNet模型进行对比实验,实验中所对比的网络模型具备相同的运行环境以及同样的网络训练优化参数(见表1)。U-Net 和LEDNet模型在图像交并比IoU分别达到84.37%和78.46%,U-Net模型优于LEDNet模型,并且在Precision、Recal和F1-Score均高于后者。

表1 不同模型测试集精度结果

Model	Precision	Recal	F1-Score	IoU
U-Net	0.9899	0.9856	0.9097	0.8437
LEDNet	0.8770	0.8586	0.8675	0.7846

3 结论

本研究基于马萨诸塞州建筑物数据集,探究了U-Net模型和LEDNet模型在城市建筑物提取方面的有效性和优越性。通过实验验证和比较分析,我们发现U-Net模型在召回率、F1得分和交并比等指标上均优于LEDNet模型。这表明在城市建筑物提取任务中,U-Net模型具有更好的性能和准确性,能够更准确地捕捉建筑物的细节信息,提高了建筑物提取的效率和适用性。

然而,本研究也存在一些局限性。首先,我们仅使用了马萨诸塞州的数据集,并未涵盖其他地区的数据。因此,未来可以进一步扩展数据集,验证模型的泛化能力和稳健性。其次,虽然U-Net模型在本研究中表现优异,但仍有可能存在一些改进空间,例如引入注意力机制或增加网络深度以进一步提升性能。此外,LEDNet模型虽然性能较差,但也可以通过调整网络结构或引入新的特征提取方法来改进其性能。

【参考文献】

- [1]吴俐民,於雪琴,黄亮.FCM聚类算法协同Canny算子的遥感影像边缘检测方法[J].测绘工程,2014,23(12):1-4.
- [2]朱琴,杨英宝,张宁宁.利用LiDAR和航空影像的屋顶边缘提取及优化[J].地理空间信息,2018,16(4):36-39+9.
- [3]韩东成,杨世植,赵强,等.面向对象的高分辨率遥感影像建筑物信息提取[J].大气与环境光学学报,2021,16(4):358-364.
- [4]邢瑾.基于RF的面向对象方法的建筑物提取研究[J].科技创新与应用,2022,12(1):24-27.
- [5]李星,曹建农.基于特征优化的面向对象建筑物提取[J].计算机系统应用,2022,31(9):360-367.
- [6]岱超,刘萍,史俊才,等.利用U型网络的遥感影像建筑物规则化提取[J].计算机工程与应用,2023,59(08):105-116.
- [7]索帅.基于深度学习和实例化方法的车道线检测算法研究[D].湖南大学,2020.

作者简介:

王扶家(1983--),男,满族,内蒙古赤峰市人,硕士,高工,研究方向:地理信息与遥感。