

文章编号: 2095-2163(2020)08-0058-05

中图分类号: TP391

文献标志码: A

# 基于神经网络的遥感图像分割方法研究

丁婷婷, 于晓鹏, 李紫薇

(吉林师范大学 计算机学院, 吉林 四平 136000)

**摘要:** 对于遥感图像分割这一当下的热点研究问题, 目标分割的是否准确是衡量算法优良的标准。近年来, 机器学习已应用到越来越多的领域, 神经网络在遥感图像分割领域也得到了广泛的应用。本文介绍了几种神经网络算法在遥感图像分割问题上的应用, 根据几种典型的神经网络在遥感图像分割问题上的研究现状, 简单分析了神经网络在此问题上的发展趋势。  
**关键词:** 遥感图像; 图像分割; 神经网络

## A review of remote sensing image segmentation methods based on neural network

DING Tingting, YU Xiaopeng, LI Ziwei

(College of Computer Science, Jilin Normal University, Siping 136000, Jilin, China)

**[Abstract]** For remote sensing research issues of the current image segmentation, target segmentation is accurate measure algorithm is of good standard in recent years. Machine learning applies to more and more fields, and the neural network has been widely used in the field of remote sensing image segmentation. Several neural network algorithms in the application of remote sensing image segmentation problem are introduced. According to several typical neural network on the remote sensing image segmentation problem of current research status, the development trend of the neural network on this issue is simply analyses.

**[Key words]** remote sensing image; image segmentation; neural network

## 0 引言

图像是向人们传递信息的直观途径。近年来, 图像分割在众多领域为人们提供了诸多帮助。图像分割是将图像中包含的若干部分分成多个具有某个独特特征的目标的技术和过程。而遥感图像分割就是将遥感图像中的感兴趣目标进行信息的提取, 那么如何提高提取精度就变成了研究的热点问题。

随着信息时代的不断发展, 人工智能在各个领域都呈现出了杰出的成绩。近年来, 遥感图像分割也和人工智能有了紧密的联系, 人工神经网络等都逐渐应用到了遥感图像分割的问题上。相比于常规的非监督遥感图像的分割方法, 神经网络的分割方法取得了明显的优势。神经网络可以针对大量数据进行训练, 解决了遥感图像数据量大、包含信息量广的问题。而迭代卷积和池化操作可以近乎准确的提取目标区域的特征信息, 通过机器学习, 降低人为分割的难度, 提高感兴趣区域的精确度。本文分析了常规遥感图像分割方法的研究现状以及存在的问题, 以解决问题为线索, 介绍了神经网络在遥感图像分割问题上的进展和现状。

## 1 遥感图像分割

### 1.1 遥感图像定义

遥感就是通过摄影、扫描或者雷达对地面目标的特征进行勘测。借助遥感获得的图像就是遥感图像。按照目标可分为陆地遥感图像、海洋遥感图像和气象遥感图像; 按照高度可分为航空遥感图像和卫星遥感图像; 按照物理波段又可分为可见光遥感图像、红外遥感图像和微波遥感图像。

### 1.2 遥感图像分割常规方法概述

近年来, 遥感图像分割日渐成为学术界研究的热点问题。针对各类遥感图像相对应的特征, 学者们提出了不同的分割方法。

遥感图像在采集或者成像的过程中, 会受到诸如阳光、大气等自然因素的影响而产生噪声。针对这一问题, 2016年初, 李亮亮等人提出了结合小波收缩与水平集的分割算法<sup>[1]</sup>。采用小波变换的方法对带有噪声的图像进行分解, 对分解后产生的系数进行自适应阈值处理, 然后再将系数进行小波重构, 最后对图像进行水平集方法分割。但这种方法存在分割效果不佳, 抗造性不足的问题。针对这一问题, 2017年王海峰等人提出了二代小波变换的抗

**作者简介:** 丁婷婷(1996-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 深度学习、遥感图像分割; 于晓鹏(1964-), 男, 学士, 教授, 主要研究方向: 深度学习、数值模拟; 李紫薇(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 深度学习、遥感图像分割。

**通讯作者:** 于晓鹏 Email: yyxppp@jlnu.edu.cn

**收稿日期:** 2020-06-04

噪 Otsu 图像分割方法,并在遥感图像上进行了实验<sup>[2]</sup>。二代小波变换是将带噪声的遥感图像进行整数小波变换,在形成的小波区域中对分割目标和背景的噪声进行抑制,然后再计算最大类间方差。这种方法的分割结果较佳。随着研究的深入,2019 年,黄冬梅等人提出了不同粒度遥感信息的非线性优化 Otsu 分割算法<sup>[3]</sup>。首先应用 PCA 算法对遥感影像进行降维,然后以最小值判断为基础,添加了分割算法的结束条件,最后输出最优值。利用总方差替代类间方差求解阈值大大提高了图像分割的精确度。

2017 年,李勇发等将改进后的 FCM 聚类算法应用在遥感图像分割问题上<sup>[4]</sup>。改进的原理是不再使用随机的方式确定聚类数和聚类中心,而是通过直方图来确定。同年,王民等在 FCM 的基础上,提出了基于 KFCM 和 EM 混合聚类的算法<sup>[5]</sup>。通过引入惯性权重,减低迭代次数,从而加快算法的收敛速度。为了解决遥感图像数据量大并且局部不均匀的问题,2018 年李玉等提出了在多主体框架下基于 FCM 的彩色遥感图像分割算法<sup>[6]</sup>。协调分割主体及邻域分割主体的聚类中心,从而消除遥感图像的局部非均匀性,实现了彩色遥感图像的分割。同年,赵泉华将可变类 FCM 算法应用在多光谱遥感图像分割的问题上<sup>[7]</sup>。通过包含像素和非相似性测度的目标函数求解到聚类中心和模糊隶属度,然后通过最优模糊因子得到最优类别数,从而实现分割任务。

### 1.3 常规遥感图像分割方法存在的问题

常规的遥感图像分割方法大多属于非监督学习方法,比如上述的聚类分析等。但是非监督的学习方法存在的最大问题是在遥感图像上并没有准确的标记特征信息,主要依靠图像的像素特征信息进行相同特征的分析,进而完成图像的分割。由于遥感图像在成像过程中,会受到自然条件的干扰,这就在相同特征的聚类过程中,为图像分割增加了一定难度。

在神经网络炙手可热的今天,其被众多学者应用到遥感图像分割这一领域。属于有监督学习的神经网络,会对遥感图像中的各类事物进行标记,然后通过机器学习,使计算机学习到各类事物的特征,经多次训练迭代以后,对输入的图像特征进行提取,并与学习到的特征进行比对,最后输出分割结果图。这种有标记的神经网络分割方法,相对于无标记的分割方法可以提高分割的精确度,是当下研究的热点问题。

## 2 神经网络

### 2.1 神经网络发展初期

1943 年, W · Mcculloch 和 W · Pitts 率先提出

了一直沿用至今的神经元的数学模型<sup>[8]</sup>,如图 1 所示(即有  $n$  个输入,有 1 个输出)。50 年代末, F · Rosenblatt 提出了模拟人类感知的机器——“感知机”,如图 2 所示。这一贡献首次把理论中的神经网络付诸到实践中。

但是,简单的神经网络结构并不能完全智能的获得特征提取参数。针对这一问题,1985 年, Geoffrey Hinton 使用多个隐藏层取代了感知机中的单个特征层,使用 BP 算法计算网络参数<sup>[9]</sup>。BP 算法的核心思想是反向传播,但随着隐藏层数的增加,传播往返时间过长,训练过慢,这些问题导致神经网络的发展陷入了瓶颈。

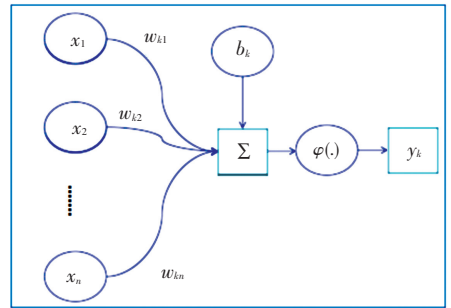


图 1 神经元数学模型

Fig. 1 Neuronal mathematical model

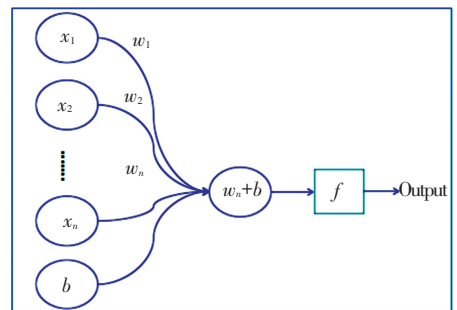


图 2 感知机的神经网络表现形式

Fig. 2 The expression form of neural network of perceptron

### 2.2 神经网络发展期

2006 年, Hinton 提出了一种深层网络模型<sup>[10]</sup>,即为深度置信网络 (DBN),如图 3 所示,使神经网络的发展进入了新时代。这种网络的训练方法降低了学习隐藏层参数的难度,并且 Hinton 和 Ruslan Salakhutdinov 发表了一篇关于深层网络训练中梯度消失问题的文章<sup>[11]</sup>,解决方案为:无监督预训练对权值进行初始化+有监督训练微调。开启了深度学习在各领域应用的新浪潮。

2011 年, ReLU 函数的提出<sup>[12]</sup>,有效的抑制了梯度消失的问题,加快了深度学习以及神经网络在语音识别和图像识别的发展速度。

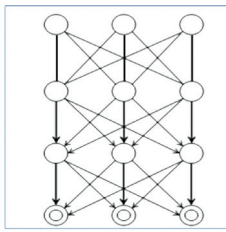


图3 DBN网络图

Fig. 3 DBN network diagram

### 2.3 神经网络爆发期

2012年, Hinton 课题组构建了 CNN 网络 AlexNet<sup>[13-15]</sup>, 在 ImageNet 图像识别比赛中取得了优异的成绩。因此, CNN 网络结构吸引了研究者的注意。接下来的四年中, 在 ImageNet 图像识别比赛中, 经过众多学者的不断努力, 使得神经网络的发展得到了前所未有的认可。也正是因此, 使得神经网络在遥感等领域得到了广泛的应用。

### 3 神经网络在遥感图像分割中的研究现状

目前, 遥感图像分割越来越依赖深度学习等智能化思想, 使得各类神经网络在遥感图像的分割任务上的应用越来越广泛。例如, 脉冲耦合神经网络(PCNN)、UNET 神经网络、全卷积网络(FCN)等。

#### 3.1 PCNN 的应用

Johnson 在 Eckhorn 提出的神经元模型的基础上<sup>[16]</sup>, 提出了脉冲耦合神经网络(pulse couple neural network, PCNN)模型。它是依据猫等动物的大脑皮层上的同步脉冲发放现象, 提出了非线性的动态神经网络, 其神经元模型如图4所示。

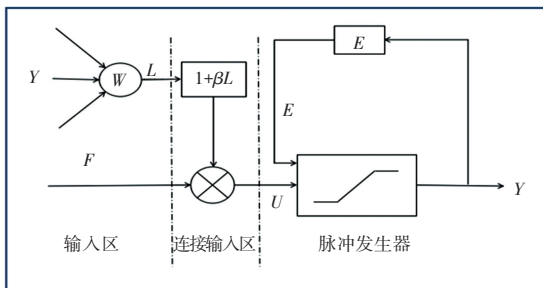


图4 PCNN 神经元模型

Fig. 4 PCNN neuron model

2014年, 冯一鸣等人将 PCNN 应用在了遥感图像中港口目标的分割问题上<sup>[17]</sup>。由于依靠手动选取神经元的连接强度参数会影响陆地上建筑物的轮廓呈现。为解决这一问题, 在程序中加入边缘算法和图形形态学的步骤, 使建筑物轮廓更加清晰。2015年, 潘改提出了改进的 PCNN 用于遥感图像的分割问题<sup>[18]</sup>。文中采用高斯函数定义邻域神经元与中心神经元的相似度, 在动态阈值中增加了未触

发邻域神经元的抑制项, 有效的解决了经典的 PCNN 无法进行精确分割遥感图像的问题。为进一步提高遥感图像的分割精度, 2018年, 陈慧珺等人提出了一种基于引力搜索算法参数优化的改进脉冲耦合神经网络的遥感图像分割方法<sup>[19]</sup>。文中也用到了高斯函数来定义相似度, 然后改进输入项和动态阈值, 之后结合引力搜索算法对遥感图像进行分割。引力搜索算法的搜索能力可以有效的搜索到 PCNN 模型中关键参数的最优值。因此, 二者的结合大大提高了分割的精度。

与其它神经网络的分割算法不同的是, 采用 PCNN 进行遥感图像分割, 完全依赖于图像本身的自然属性以及纹理特征, 不需要对数据进行预处理操作, 可减少部分工作量。

#### 3.2 UNET 的应用

UNET 是 2015 年被 Olaf Ronneberger 等人提出的一种神经网络, 这种网络的提出最先被应用在生物医学图像分割问题上<sup>[20]</sup>。

2018年苏健民等人提出了将改进后的 UNET 网络应用在高分辨率遥感图像分割问题上<sup>[21]</sup>。改进后的 UNET 相比于原始 UNET 增加了卷积层数, 并将过滤器的深度由 64 增加至 1024, 并将激活函数改为 ELU。改进后的方法可以对遥感图像中的建筑、道路、水体、植被等目标进行准确分割。2018年 Wenqing Feng 等人提出将深度 UNET 网络应用在遥感图像中水体的分割问题上<sup>[22]</sup>。文中主要加深了传统 UNET 的层数, 激活函数使用了 ELU。Deep U-Net 与 CRF 的结合应用不仅可以识别水体的本质特征, 还可以考虑图像的上下文信息, 从而获得较好的水体分割结果。2019年, Man Yuan 等人提出将改进后的 UNET 网络应用在遥感图像道路分割问题上<sup>[23]</sup>。传统 UNET 网络面临两个问题: (1) 当信息通过层传播时, 可能在到达网络末端之前就被冲掉; (2) UNET 类架构总是依赖于固定的权重。为了解决这两个问题, 文中对经典 U-Net 做了修改。受 SE-Net 网络中 SE 模块的启发, 提出了广域注意单元(WRAU)组件来学习加权多尺度特征映射通道。为了减轻 WRAU 的退化问题和聚合特征映射, 在 U-Net 编码器中增加了部分密集连接分支。改进后的网络可以很好地完成道路的分割。

由扩展路径和收缩路径组成的 UNET 网络形成了一个对称的 u 型架构。此网络只使用每个卷积的有效部分, 即输入的分割图像只包含可以提供全部上下文的像素信息。这种策略可以对任意大的图像

进行无缝分割。这个特点极其适合包含大量信息的遥感图像分割任务。

### 3.3 CNN 与 FCN 的应用

卷积神经网络 CNN (Convolutional Neural Networks) 是在 1998 年被 Yann LeCun 提出的<sup>[24]</sup>。CNN 能够自动从图像中提取出相关特性的特点,使得它在图像分割领域做出了很大的贡献。

Shunta Saito 等人在 2016 年提出,应用 CNN 在航空遥感图像中进行建筑和道路的分割任务<sup>[25]</sup>。文中通过提出新的输出函数有效地训练神经网络,使其能够达到单个 CNN 输出多任务(道路、建筑和背景)的目的。并且提出了空间位移模型平均方法,使分割精度进一步提高。

CNN 虽然可以完成遥感图像的分割任务,但是其对输入图像的尺寸却有固定的要求,这对尺寸不一的大型遥感图像来说是一大难题。为解决这一问题,Jonathan Long 等人在 2015 年将 CNN 最后的全连接层由卷积层替换,形成了全新的神经网络:全卷积网络 FCN(Fully Convolutional Networks)<sup>[26]</sup>,并应用在图像的语义分割问题中。

EmmanuelMaggiori 等人在 2016 年提出了将全卷积网络应用在遥感图像的道路和建筑的分割问题上<sup>[27]</sup>。相比之前的卷积网络,文中的网络只包含卷积和反卷积操作,简化了学习过程之后,使用了更少的参数,提高了准确性,缩短了训练时间。2018 年,Zhihuan Wu 等人提出将全卷积网络应用在高分辨率遥感图像的分割问题上<sup>[28]</sup>,并且采用自适应阈值的方法来解决训练数据不足的问题。

## 4 结束语

遥感图像中包含大量的自然信息,常规的分割方法已经不能使分割任务达到完美的精确度。神经网络的出现,使这一问题越过了瓶颈。神经网络可以仅使用一张带标记的图像进行训练,然后对未标记的图像进行分割。虽然工作量少,但是达到的精确度却远超过常规分割方法得到的结果。

如何通过神经网络使分割任务的精确度无限接近真实值是当下研究的重点问题。遥感图像自身包含的纹理特征在分割领域尚未被充分应用,利用这一特征,结合神经网络,在减少工作量的同时,进而提高分割的精度成为了分割领域的研究热点。

## 参考文献

[1] 李亮亮,贾振红,杨杰,等. 结合小波收缩与水平集的含噪遥感图像分割[J]. 激光杂志,2016,37(1):91-94.  
[2] 王海峰,章怡,蒋益锋. 二代小波变换的抗噪 Otsu 图像分割方法[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2017,45(6):100-106.

[3] 黄冬梅,孙婧琦,何婉雯,等. 不同粒度遥感信息的非线性优化 Otsu 分割算法[J]. 遥感信息,2019,34(1):7-14.  
[4] 李勇发,左小清,杨芳,等. 基于 FCM 聚类及其改进的遥感图像分割算法[J]. 浙江农业科学,2017,58(3):518-520.  
[5] 王民,张鑫,负卫国,等. 基于核模糊 C-均值和 EM 混合聚类算法的遥感图像分割[J]. 液晶与显示,2017,32(12):999-1005.  
[6] 李玉,林文杰,赵泉华. 多主体框架下基于 FCM 的彩色遥感图像分割[J]. 测绘通报,2018(1):44-49,71.  
[7] 赵泉华,刘晓燕,赵雪梅,等. 基于可变类 FCM 算法的多光谱遥感影像分割[J]. 电子与信息学报,2018,40(1):157-165.  
[8] 闵乐泉. 细胞神经网络——图像处理 and 复杂系统建模的有益工具[J]. 中国高校科技与产业化,2004(6):34.  
[9] David H. Ackley, Geoffrey E. Hinton, Terrence J. Sejnowski. A learning algorithm for boltzmann machines[J]. Cognitive Science A Multidisciplinary Journal, 9(1):147-169.  
[10] HINTON G E, OSINDERO S, TEH Y W. A fast learning algorithm for deep belief nets.[J]. Neural Computation, 2006, 18(7):2006.  
[11] HINTON G E. Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks[J]. Science, 2006, 313(5786):504-507.  
[12] GLOROT X, BORDES A, BENGIO Y. Deep Sparse Rectifier Neural Networks [J]. Journal of Machine Learning Research, 2011, 15:315-323.  
[13] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks [C]// NIPS. Curran Associates Inc.2012.  
[14] EINEN D, ROLFE J, FERGUSR. Understanding deep architectures using a recursive convolutional network [J]. arXiv: 1312. 1847v2, 2014.  
[15] SIMONYAN K, ZISSERMANA. Very deep convolutional networks or lager-scale image recognition [J]. arXiv: 1409.1556, 2014.  
[16] ECKHORN R, REITBOECK H, ARNDT M, et al. Feature Linking via Synchronization among Distributed Assemblies: Simulations of Results from Cat Visual Cortex [J]. Neural Computation, 1990, 2(3):293-307.  
[17] 冯一鸣. 基于遥感图像中港口目标的分割算法研究与实现[D]. 西安电子科技大学,2014.  
[18] 潘改. 改进的 PCNN 用于遥感图像分割[J]. 小型微型计算机系统,2015,36(4):882-885.  
[19] 陈慧珺,王建华,李垣江. 基于引力搜索算法参数优化的改进 PCNN 遥感图像分割[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2018,32(1):100-105.  
[20] RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation[J]. 2015.  
[21] 苏健民,杨岚心,景维鹏. 基于 U-Net 的高分辨率遥感图像语义分割方法[J]. 计算机工程与应用,2019,55(7):207-213.  
[22] FENG W, SUI H, HUANG W, et al. Water body extraction from very high-resolution remote sensing imagery using deep U-Net and superpixel-based conditional random field model[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2018, 16(4): 618-622.  
[23] YUAN M, LIU Z, WANG F. Using the wide-range attention U-Net for road segmentation[J]. Remote Sensing Letters, 2019, 10(5):506-515.  
[24] LECUN Y, BOTTOU L. Gradient-based learning applied to document recognition [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(11):2278-2324.  
[25] SAITO S, YAMASHITA T, AOKI Y. Multiple Object Extraction from Aerial Imagery with Convolutional Neural Networks [J]. Electronic Imaging, 2016, 60(1):10402-1/10402-9.  
[26] LONG J, SHELHAMER E, DARRELL T. Fully convolutional networks for semantic segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2014, 39(4):640-651.