



基于改进Unet模型的视网膜血管分割

马玉莹^① 孟腾云^① 张家骅^① 张丹^{①*}

【摘要】 目的：提出一种能够自动准确分割视网膜血管的卷积神经网络模型，避免传统分割血管计算复杂、准确率不高的问题。方法：在传统Unet模型的基础上，减少网络层数来降低计算复杂度，使用连续空洞卷积对Unet卷积模型中部分卷积层替换来增加感受野，同时增加收缩路径中同层跳跃连接使模型能融合更多信息。结果：对DRIVE数据集的测试结果得到特异度为0.9812，灵敏度为0.7932，准确率为0.9561，1张视网膜血管分割时间为3.11 s。结论：该研究所提方法具有良好的血管分割质量和效率，可以为相关疾病诊断和治疗提供技术支持。

【关键词】 视网膜眼底图像 血管分割 卷积神经网络 Unet

Doi:10.3969/j.issn.1673-7571.2021.10.022

【中图分类号】 R319;TP391 **【文献标识码】** A

Fundus Retinal Vessel Segmentation Based on Improved Unet Model / MA Yu-ying, MENG Teng-yun, ZHANG Jia-hua, et al.

Abstract: Objective: An automatic detection and segmentation of vessels in fundus retinal images is proposed to overcome the complexity and poor quality of traditional means. Methods: Based on the Unet model, this paper reduces the number of network layers to reduce the computational complexity, uses dilated convolution to replace part of the convolution layer of the original model to increase the receptive field, and increases the skip connection in the same layer in the contraction path, so that the model can fuse more information. Results: The test results on DRIVE dataset are that: Sp is 0.9812, Se is 0.7932, Acc is 0.9561 and segmentation computing time for a single picture is 3.11s. Conclusion: The proposed method has good segmentation quality and efficiency, which can provide technical support for the diagnosis and treatment of related diseases.

Keywords: fundus retinal images, vessel segmentation, convolutional neural network, Unet

Fund project: Basic Education and Teaching Research Project of Association of Fundamental Computing Education in Chinese Universities-Development of the Experimental Project of Eye Disease Examination Based on Tensorflow (No. 2020-AFCEC-340)

Corresponding author: Xi'an Bright Eye Hospital, Xi'an 710000, Shaanxi Province, P.R.C.

1 引言

视网膜血管是人体中唯一可用肉眼直接观察到的血管。这些血管的形状、管径、尺度、分支角度是

否有变化，是否有增生、渗出，均可反映出身体的病变^[1]，如眼底血管发生动脉硬化意味身体其他部位也存在动脉硬化。因此，检测并提

取视网膜图像中的血管，对于相关疾病的诊断和治疗具有重要的临床医学意义^[2]。

传统视网膜血管需通过医生手

基金项目：全国高等院校计算机基础教育研究会计算机基础教育教学研究项目-基于Tensorflow的眼疾病检查实验项目开发（编号：2020-AFCEC-340）

*通信作者：西安普瑞眼科医院，710000，陕西省西安市碑林区友谊西路234号 E-mail: zhangdan20212021@163.com

①无锡工艺职业技术学院，214206，江苏省宜兴市荆邑南路99号

工标注进行分割，该方法耗时耗力，且存在主观判读的缺点，无法满足高效准确的大规模视网膜血管病变检查需求。随着人工智能技术的快速发展，利用人工智能技术辅助诊断视网膜血管成为近年来的发展趋势，特别是基于卷积神经网络的像素级语义分割技术在视网膜血管分割中得到了有效应用^[3]。如何提高现有方法在细微血管分叉处不连续、复杂曲度形态血管丢失，对病灶信息不敏感的问题，一直是行业关注的重点^[4]。

为提高眼底视网膜血管自动分割质量，为相关疾病诊断和治疗提供技术支持，本研究基于卷积神经网络Unet模型，提出1种改进卷积神经网络模型，在其中使用空洞卷积替换Unet中部分卷积层来增加感受野，提高模型对细微血管的灵敏度，并通过多次跳跃连接来融合更多卷积特性。

2 材料与方

2.1 材料 采用荷兰视网膜眼底数据集DRIVE（digital retinal images for vessel extraction）为研究对象，来验证所提方法的有效性。该数据集由40张768×584的视网膜眼底图片组成，分训练组和测试组，每组有20张不同的图片，图片中包括专家手动分割的血管图像与眼底掩模，眼底掩模用来去除圆外像素点。

2.2 预处理 为了消除图片采集质量对血管分割的影响，对图片进行了预处理。首先对彩色图片进行灰度转换，获得单通道灰度图像；再进行归一化处理，保

证数据变化幅度一致；接着采用受限制的自适应直方图均衡化（contrast limited adaptive histogram equalization, CLAHE），增强图像对比度，图1分别是各个预处理步骤的眼底图片。

神经网络的训练结果依赖于训练数据规模，基于图像块处理技术，以训练组中图像为样本，每张眼底图像上裁剪9 500个48×48图像块，20张训练组图像共190 000个样本供训练。

图2给出了随机提取的训练用图像块和对应的标准块分割图。

2.3 基于Unet模型的改进卷积神经网络 Unet是一种对于医学图像具有很好分割性能的神经网络，在没有大量数据集的情况下，可以实现良好性能^[5]。该网络由收缩和扩张路径组成，原始网络结构中网络5层深度，卷积层数量大约在20层，经

过4次下采样、4次上采样实现对图形分割^[6]。Unet这种深层网络模型在医学图像分割中表现优异，但在视网膜图像分割上还存在着一一些问题，例如当采样层过深时会产生梯度消失或梯度爆炸，且网络深度的增加，准确度会出现退化^[7]。这种退化并非由过拟合引起，而是由大量网络层间本身的级联造成；此外，由于眼底图像中病灶区域或拍摄视角变化等噪声存在，Unet无法更好地抑制这类干扰信息，造成血管分割的结果上仍存在一定的细节丢失。目前基于Unet的视网膜分割研究，大多是在Unet模型基础上，添加新的模块或是策略，来提高模型的性能^[4-5]。但添加新的模块或是策略，会增加模型中的参数，提高模型计算的复杂度，导致模型训练时间大量增加，分割血管时间延长。

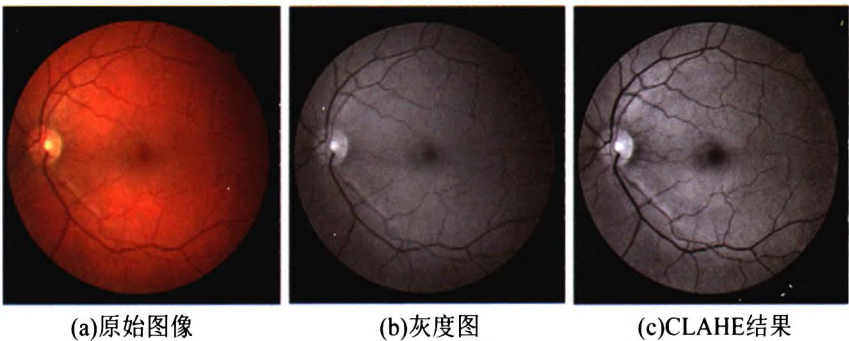


图1 预处理结果

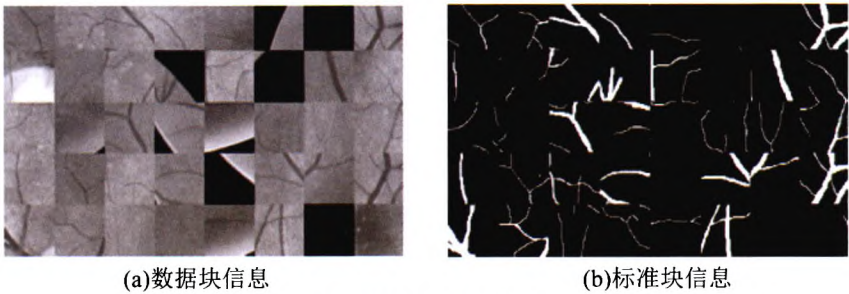


图2 训练数据块信息

基于此，本研究提出了基于Unet模型的改进卷积神经网络，针对原始Unet模型，通过减少网络层数，降低模型参数，使用空洞卷积和增加卷积中的跳跃连接，来提高卷积神经网络在视网膜血管分割上的性能，实现在不大量牺牲模型效率的情况下，提高模型对血管分割的质量。

(1) 减少网络层数。如前所述Unet模型的网络层数过多，不仅无法提高分割质量，还会造成退化。根据已有的研究表明，将5层深度网络修改为3层深度，可以得到Unet网络相同的效果，而且可以节约计算时间，降低计算复杂度^[8]。

(2) 混合空洞卷积。空洞卷积(dilated convolution)也称扩张卷积，其原理可看做是在普通卷积核像素间插入零，从而增加网络空洞率 r 。对于二维图像，输出特征层上 y 的像素点 i 空洞卷积过程为：

$$y(i) = \sum_k x(i + rk)w(k)$$
 式中， w 是卷积核； k 是卷积核尺寸， x 表示卷积输入量； r 对应输入信号采样步长，等效于在输入特征层上添加 $r-1$ 个0，通过调整 r 的大小可以调整感受野大小。如图3空洞卷积示意图所示，(a)中 $r=1$ ，相当于 3×3 的普通卷积核，随着空洞率 r 的增加感受野得到扩大。

由于最大池化会丢失图像细节，而如果扩大卷积核尺寸，会增加学习参数，导致训练产生过拟合。空洞卷积不需要池化操作，在计算量不变情况下，增大 r 扩大视野大小，保持原有图像分辨

率。但是如果重复使用相同 r 的空洞卷积，卷积采样会非常稀疏，导致局部信息不完整和远距离信息不相关。根据混合空洞卷积算法(hybrid dilated convolution, HDC)^[9]，使用膨胀系数 r 分别为1、3、5等连续空洞卷积代替Unet模型中部分卷积层和池化层，使本研究算法能保留更多的图像细节信息，提升算法的泛化能力。

(3) 增加收缩路径中同层跳跃连接。Unet模型通过将收缩路径和扩张路径之间进行跳跃连接，实现底层和高层信息的融合以对细节进行分割。但是在收缩路径中，每

层模型的输入只使用了最大池化操作前的卷积层，而忽略了中间卷积层中所包含的细节信息。为了充分使用各卷积层内的信息，本研究增加收缩路径中同层跳跃连接，从而使模型能获取更多的信息。

图4是同层跳跃连接示意图，图(a)是传统的同层连接，每个模型只使用前面模型的信息，图(b)中，将第一层卷积和第二层卷积进行合并，保留了前面卷积层中所有信息。

图5是最后的改进卷积神经网络模型，图中灰色的Merge框表示的是增加的同层跳跃连接，灰色的

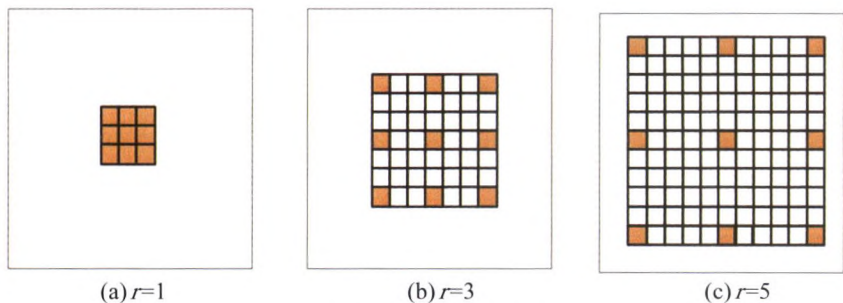


图3 空洞卷积示意

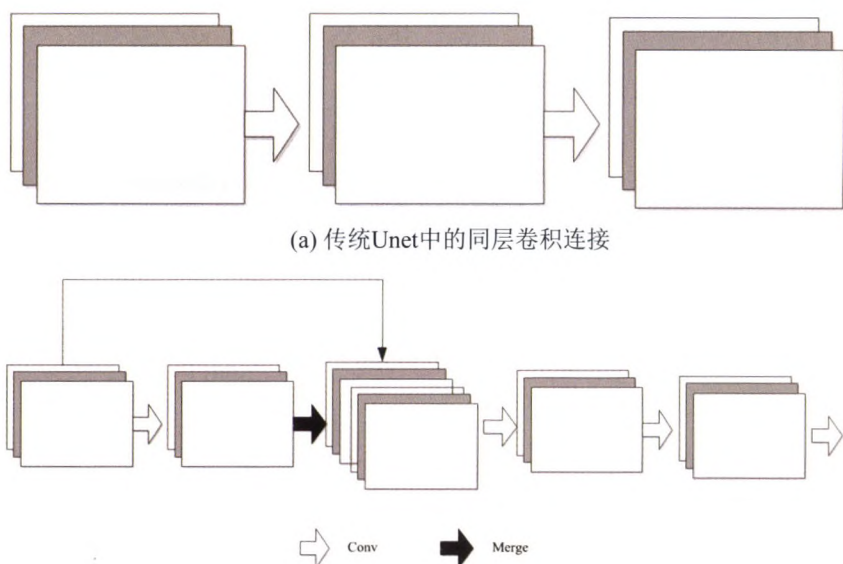


图4 同层跳跃连接示意

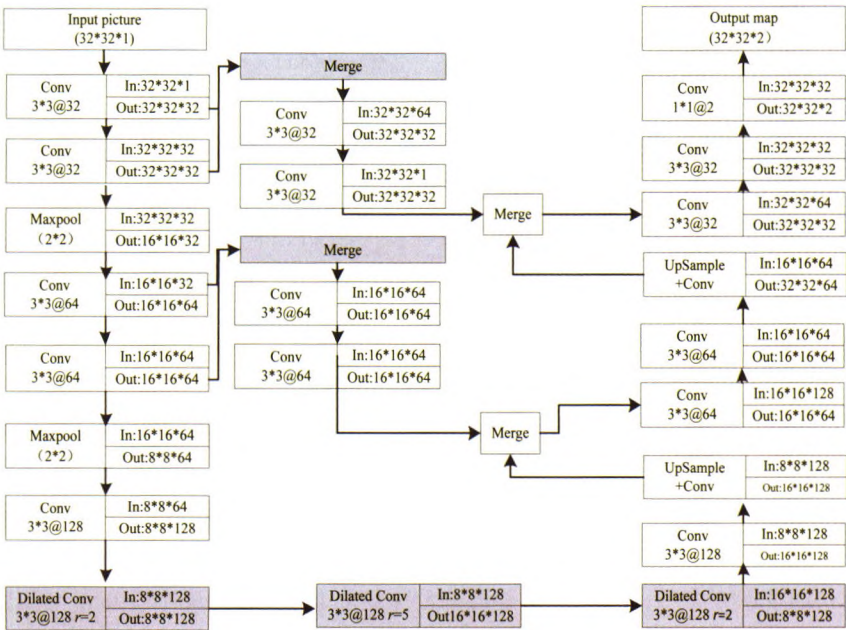


图5 改进卷积神经网络模型示意

Dilated Conv灰色框是增加的混合空洞卷积。

2.4 训练与测试 选择交叉熵函数作为损失函数，采用随机梯度下降进行损失函数优化，卷积层后的激活函数是整流器线性单元（ReLU），使用dropout 0.2，batch size为16，epoch设为100，训练集中10%的19 000个作为验证。

3 结果与讨论

本实验的仿真平台为Spyder，使用TensorFlow框架，计算机配置为Intel Core(TM) i5-6500 CPU @ 3.2GHz，16 GB内存，NVIDIA GeForce GT 720 GPU，采用64 bit Windows 10操作系统。

图6是测试集中的1张视网膜血管分割结果对比图，从最后分割结果和专家手工分割对比可以看出，采用本研究模型的分割效果在血管复杂度和细微结果处都有很好的结果，整体结果基本一致，直观证明

了本研究所用方法的有效性。

为了定量评估所提方法的性能，3个常用评价指标：特异度（specificity，Sp）、灵敏度（sensitivity，Se）、准确率（accuracy，Acc），用来与现有的方法进行对比，Sp表示分割正确



(a)原始图像 (b)标准图像 (c)分割结果

图6 分割结果

表1 不同方法的性能指标对比

方法	特异度	灵敏度	准确率
形态学方法 ^[10]	0.9795	0.7352	0.9458
匹配滤波方法 ^[11]	0.9724	0.7120	0.9382
条件生成对抗网络 ^[12]	0.9863	0.7191	0.8341
未改进的 Unet 模型	0.9807	0.7810	0.9536
本文方法	0.9812	0.7932	0.9561

的背景点占专家分割结果背景点总和的比例，Se表示分割正确的血管点占专家分割血管点总和的比例；Acc表示分割正确的像素点占整个图像像素点总和的比例。表1将本研究结果与现有的主流方法结果进行了对比，可以看到，本文方法可以得到良好的血管质量。

表2给出了未改进的Unet模型和本文方法在时间效率方面的对比，可以看到，本文方法在模型训练时间和血管分割时间上与原模型的时间相近，表明模型改进措施不会损失掉原模型的血管分割效率。

4 结语

自动检测并提取视网膜眼底图像中的血管在临床上有重要意义，本研究采用基于Unet模型改进的卷积神经网络，针对DRIVE数据集，对图片通过灰度和受限制的自适应直方图均衡化处理，基于图像块处



表2 时间性能对比

方法	模型训练时间 (h)	1 张视网膜血管分割时间 (s)
未改进的 Unet 模型	60.02	2.98
本文方法	60.13	3.11

理技术扩增数据训练集,对模型进行训练,最后结果与专家手工分割结果基本一致,结果表明本研究所使用方法具有良好的血管分割质量,而且改进措施不会大量增加原模型的训练和分割时间,具有较优的计算效率,可以为相关疾病诊断和治疗提供技术支持。✎

参考文献

[1] SHU-CHEN C,YUEH-MIN H.A novel approach to diagnose diabetes based on the fractal characteristics of retinal images[J].IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine,2003,7(3):163-170.
[2] 蒋鹏飞,李翔,彭清华.眼底血管病理改变特征提取方法研究进展[J].国际眼科杂志,2019,19(4):582-585.

[3] 马玉莹,张家骅.人工智能技术(AI)在眼底检查中的应用[J].中国眼镜科技杂志,2020(7):113-115.
[4] 薛文渲,刘建霞,刘然,等.改进U型网络的眼底视网膜血管分割方法[J].光学学报,2020,40(12):100-110.
[5] 梁礼明,盛校棋,郭凯,等.基于改进的U-Net眼底视网膜血管分割[J].计算机应用研究,2020,37(4):1247-1251.
[6] RONNEBERGER O,FISCHER P,BROX T.U-net:Convolutional networks for biomedical image segmentation[C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-assisted Intervention, Springer,Cham,2015:234-241.
[7] 郑婷月,唐晨,雷振坤.基于全卷积神经网络的多尺度视网膜血管分割[J].光学学报,2019,39(2):119-126.

[8] WANG X C,LI W,MIAO B Y,et al. Retina blood vessel segmentation using a U-net based Convolutional neural network[J].Procedia Comput Sci, 2018:1-11.
[9] WANG P,CHEN P,YUAN Y,et al. Understanding convolution for semantic segmentation[C]//2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV).IEEE,2018:1451-1460.
[10] MIRI M S,MAHLOOJIFAR A.Retinal image analysis using curvelet transform and multistructure elements morphology by reconstruction[J].IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2010,58(5):1183-1192.
[11] ZHANG B,ZHANG L,ZHANG L, et al.Retinal vessel extraction by matched filter with first-order derivative of Gaussian[J].Computers in Biology and Medicine,2010,40(4):438-445.
[12] 万程,王宜匡,徐佩园,等.多通道条件生成对抗网络视网膜血管分割算法[J].中华实验眼科杂志,2019,37(8):619-623.
【收稿日期: 2021-02-18】
(责任编辑: 张倩)

国家卫生健康委成立乡村振兴工作领导小组

近日,国家卫生健康委印发通知成立乡村振兴工作领导小组。国家卫生健康委党组书记、主任马晓伟任领导小组组长。领导小组办公室设在财务司。

据悉,委乡村振兴领导小组主要职责为:研究贯彻落实党中央、国务院关于巩固拓展脱贫攻坚成果、全面推进乡村振兴和定点帮扶工作决策部署的具体政策和措施;审定巩固拓展健康扶贫成果、全面推进健康乡村建设和定点帮扶工作的指导意见、工作方案、专项规划、年度工作计划等;听取巩固拓展健康扶贫成果、全面推进健康乡村建设和定点帮扶工作进展情况汇报;需要领导小组研究确定的其他重大事项。

委乡村振兴办主要职责为:研究提出贯彻落实党中央、国务院关于巩固拓展脱贫攻坚成果、全面推进乡村振兴决策部署的工作安排;研究提出健康扶贫同全面推进乡村振兴有效衔接的政策意见和工作部署;统筹协调、组织实施、督导评估乡村振兴和定点帮扶工作;完成委乡村振兴领导小组交办的其他工作任务。

有关司局现有与乡村振兴和定点帮扶相关的职责不变,对口部门不变。

来源:健康报