

# YOLO算法在医学图像分割中的应用进展

康敏诗, 戴安琳, 郭华源, 何昆仑

解放军总医院医学创新研究部, 解放军总医院医疗大数据应用技术国家工程研究中心, 解放军总医院医学工程实验室, 国家药监局人工智能医疗器械研究与评价重点实验室, 北京 100853

**摘要:**传统医学图像分析方法难以快速处理复杂环境下不规则或微小目标, 而深度学习方法能够捕捉多模态数据中的复杂隐式关系, 已成为当今医学图像处理领域的重要技术之一。YOLO(you only look once)作为一种优秀的深度学习模型, 以其速度和精度在医学图像分割应用中显示出较强实力。本文基于近年来的文献调研, 主要从技术特性、应用方式和研究进展3个方面介绍YOLO模型在医学图像分割中的应用表现, 以期为该领域的进一步研究与临床应用提供参考。

**关键词:**深度学习; 目标识别; 图像分割; YOLO; 医学图像

中图分类号: R445; R318; TP391

文献标志码: A

文章编号: 2095-5227(2025)10-1011-09

DOI: 10.12435/j.issn.2095-5227.25031102

引用本文: 康敏诗, 戴安琳, 郭华源, 等. YOLO算法在医学图像分割中的应用进展 [J]. 解放军医学院学报, 2025, 46(10): 1011-1019.

## Advances in application of YOLO algorithm in medical image segmentation

KANG Minshi, DAI Anlin, GUO Huayuan, HE Kunlun

Department of Medical Innovation Research of PLA General Hospital, Beijing 100853, China; National Engineering Research Center for Medical Big Data Application Technology, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; Medical Engineering Laboratory of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; Key Laboratory of Artificial Intelligence Medical Device Research and Evaluation of the National Medical Products Administration, Beijing 100853, China

Corresponding authors: GUO Huayuan. Email: guohuayuan@301hospital.com.cn

**Abstract:** Traditional medical image analysis methods have difficulties in quickly processing irregular or tiny targets in complex environments, while deep learning methods can capture complex implicit relationships in multimodal data and have become one of the important technologies in the field of medical image processing today. As an excellent deep learning model, YOLO has demonstrated strong capabilities in the application of medical image segmentation with its speed and accuracy. Based on recent literature research, this paper focuses on elaborating the technical characteristics, application methods and research progress of the YOLO model in medical image segmentation, with the aim of providing references for further research and clinical application in this field.

**Keywords:** deep learning; target recognition; image segmentation; YOLO; medical imaging

**Cited as:** Kang MSH, Dai AL, Guo HY, et al. Advances in application of YOLO algorithm in medical image segmentation [J]. Acad J Chin PLA Med Sch, 2025, 46(10): 1011-1019.

医学图像分割是指将医学图像中的肿瘤、器官和血管等不同解剖结构或病变区域分离出来, 为后续图像分析、计算与可视化等应用提供支撑, 既是“图像配准-分割-可视化”处理流程中的关键一环, 也是人工智能医学图像研究的热点之一, 在数字医学中发挥着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。近年来, YOLO(you only look once)算法因其计算准确、运行快速以及全局感知等特点, 在目标检测、图像

分割等领域获得广泛应用, 已应用到癌症诊断、肿瘤识别以及手术导航等临床诊疗工作中, 逐渐成为医学图像分割领域中颇有前景的一项技术<sup>[2-4]</sup>。本文围绕YOLO算法在医学图像分割中的实际应用, 重点分析其技术特性、应用方式、研究进展和问题与展望, 以期对相关研究提供有益参考。

## 1 YOLO算法概述及原理

YOLO算法由Joseph Redmon于2015年提出, 从首代YOLO问世到2025年YOLOv12的推出, 短短十年间该系列主流框架历经12次迭代升级, 衍生出众多变体及衍生模型, 充分彰显了YOLO强大的生命力与广阔的应用前景, 见图1。

收稿日期: 2025-03-11

基金项目: 国家重点研发计划(2024YFF0505704); 区市级课题

作者简介: 康敏诗, 硕士, 助理工程师。Email: shirleymaskang@qq.com

通信作者: 郭华源, 博士, 高级工程师。Email: guohuayuan@301hospital.com.cn



图1 主要医学分割算法发展历程

Fig. 1 Development history of major medical segmentation algorithms

### 1.1 算法概述

作为一种深度学习方法，YOLO算法与U-Net、ResNet、DeepLab等方法既有明显不同的特点，也有相互借鉴的共性。传统分割方法由于计算量大、泛化性不足、易被干扰等问题难以处理复杂场景的图像分割，而深度学习技术凭借强大的特征学习和识别提取能力推动了医学图像分割进入一个全新时代。

根据工作原理的不同，基于深度学习的图像分割技术可分为5类。一是基于特征编码方法，包括VGG-Net、ResNet、U-Net、PSPNet等，主要利用卷积神经网络对图像高层语义特征的有效识别与提取进行图像分割<sup>[5]</sup>。二是基于区域选择方法，包括Region-based CNN(简称R-CNN)、Fast R-CNN、Faster R-CNN、Mask R-CNN、Mask Scoring R-CNN等，核心思想是通过检测颜色空间和相似矩阵来识别待检测区域，进而实现目标分割<sup>[6]</sup>。三是基于反卷积方法，包括Fully Convolutional Network(简称FCN)、SetNet等，卷积神经网络采样会导致部分细节信息丢失，因此利用上采样补充一些细节信息，进一步提高分割准确性<sup>[7]</sup>。四是多维空间方法，包括Recurrent Neural networks、ReSeg，Multi-Dimensional RNN等，通过将RNN扩展到多维空间领域，充分利用上下文信息提高分割质量<sup>[8]</sup>。五是预训练方法，包括Segment Anything Model(简称SAM)、DeepLab、YOLO等系列模型，这类基于大样本数据进行训练的模型具有参数量大、拟合能力强、应用范围广等特点，能够适配多种下游任务<sup>[9]</sup>。

### 1.2 工作原理

YOLO是一种单阶段目标检测算法，与传统的两阶段方法(如R-CNN系列)需要生成候选区域再

进行分类不同。YOLO利用整张图片作为主干网络的输入，在一次神经网络前向传播中完成目标定位与分类，显著提高了检测速度，见图2。

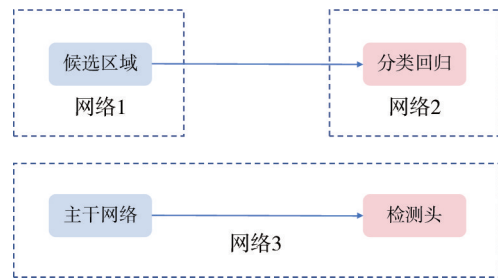


图2 两阶段网络、单阶段网络两种结构对比

Fig. 2 Comparison of two-stage network, single-stage network

### 1.3 各版本特点

YOLO算法的持续发展体现在骨干网络、损失函数、激活函数等主要模块的不断改进、升级和融合，共同推动模型性能发展。

YOLOv1采用“以大化小、分而治之”的策略，以GoogLeNet为骨干网络，能够快速完成目标识别任务。YOLOv2通过批量归一化改善收敛性，使用高分比率分类器和全卷积架构等技术有效提高网络对高分辨率输入图像的处理性能。YOLOv3引入基于金字塔池化的多尺度特征融合和基于darknet-53的残差网络等策略，在促进模型能够提取更深层特征的同时避免出现梯度消失或爆炸，显著提升了模型对小尺寸目标的识别能力，从而在准确性与实时性之间取得了更好的平衡。YOLOv5增强了特征提取的深度和广度，优化了对不同尺度目标的适应性，提高了训练速度。YOLOv8通过提供多种预训练模型，使模型在面对复杂场景时均能高效处理，如表1所示。这些版本迭代策略能够显著提升YOLO模型效果，也为未来YOLO模型的持续改进和发展拓展了思路。

表 1 YOLOv1 - YOLOv12 模型基本架构

Tab. 1 The basic architecture of YOLOv1-YOLOv12 model

方法	时间	锚框	输入	主干网络	头部网络	优化策略
YOLOv1	2015	有	448*448*3	GoogLeNet	Coupled Head	单一尺度,固定锚框尺寸训练
YOLOv2 <sup>[10]</sup>	2016	有	416*416*3	DarkNet-19	Coupled Head	图片批量归一化处理,提高小目标检测精度
YOLOv3 <sup>[11]</sup>	2018	有	608*608*3	DarkNet-53	Coupled Head	多尺度预测,提高对不同大小物体的识别精度
YOLOv4 <sup>[12]</sup>	2020	有	608*608*3	CSPDarkNet-53	Coupled Head	使用多种数据增强策略,引入DIoU_NMS,在检测遮挡重叠物体时效果比传统NMS好
YOLOv5	2020	有	608*608*3	CSPDarkNet-53	Coupled Head	优化多尺度目标适应性
YOLOX <sup>[13]</sup>	2020	有	640*640*3	CSPDarkNet	Decoupled Head	使用SimOTA标签匹配策略
YOLOv6 <sup>[14]</sup>	2022	可选	640*640*3	EfficientRep	Efficient Decoupled Head	优化模型部署性能,适合工业环境中的大规模应用
YOLOv7 <sup>[15]</sup>	2022	-	640*640*3	Extended-ELAN	Decoupled Head	改进训练过程中的标签分配方式,可以有效减少40%参数量和50%计算量
YOLOv8	2023	-	640*640*3	CSPDarknet	Decoupled Head	提供多种预训练模型
YOLOv9 <sup>[16]</sup>	2024	-	640*640*3	GELAN	Decoupled Head	提出PGI和辅助可逆分支设计方法,改进数据传输丢失、收敛速度慢、效果差的问题
YOLOv10 <sup>[17]</sup>	2024	-	640*640*3	CSPDarknet	One-to-one Head One-to-many Head	使用无NMS训练策略,引入PSA有助于提高全局学习能力,尤其是大尺寸模型的学习能力
YOLOv11	2024	-	640*640*3	CSPDarknet	Decoupled Head	框匹配策略优化,通过强调特征图中的空间相关性提高了对重要区域的关注度
YOLOv12 <sup>[18]</sup>	2025	-	640*640*3	R-ELAN	Decoupled Head	引入区域注意力模块

## 2 YOLO算法在医学图像分割中的应用

### 2.1 技术特性

YOLO算法的网络结构通常由一个主干网络和一个检测头组成,通过卷积层(CONV)提取图像特征,经过全连接层(FC)抽象和处理特征,通过检测头计算损失,基本架构见图3。

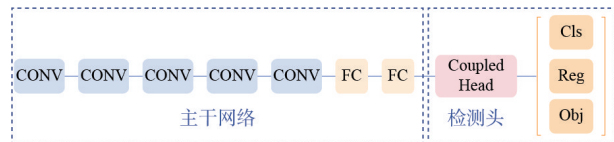


图 3 YOLOv1 结构

Fig. 3 The structure of YOLOv1

除了目标识别, YOLOv8-seg 等版本还支持实例分割任务,主要步骤由划分图像、预测边界&预测掩码系数、前向传递、损失度量、非最大抑制和掩码生成等组成,见图4。

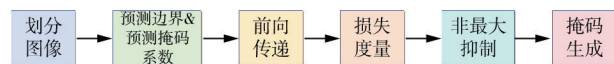


图 4 YOLO算法基本步骤

Fig. 4 Workflow of YOLO algorithm

(1)划分图像:将输入图像划分为多个固定大小的网格。(2)预测边界&预测掩码系数:对于每个网格, YOLO 预测出3或5个边界框。其中,每个边界框具有位置(中心坐标和宽高)、目标的置信度

(confidence)等主要属性,并且每个边界框还预测目标的类别。同时, YOLO 模型利用检测头,分析从该实例区域提取的特征,回归出一组固定大小的实数值(通常为32个),该组系数代表了该实例形状与全局原型掩码的关联权重。(3)前向传递: YOLO 通过一个卷积神经网络实现单次前向传递,并预测所有边界框的位置及类别。(4)损失度量: YOLO 使用位置损失、置信度损失和类别损失等多任务损失函数来训练网络。其中,位置损失衡量预测边界框和真实边界框的位置差异,置信度损失衡量边界框是否正确预测了目标,并惩罚背景框的置信度,类别损失衡量目标类别的预测准确性。(5)非最大抑制:在预测的边界框中,可能存在多个相互重叠的框,代表了同一个目标。为消除冗余边界框, YOLO 使用非最大抑制算法(NMS),根据置信度和重叠程度筛选出最佳的边界框。(6)掩码生成:为NMS筛选的每个预测结果,结合其掩码系数和原型掩码,生成最终分割掩码。

**2.1.1 端到端学习** 将目标识别与分割整合为一个统一的回归问题,实现了从原始图像到预测结果的端到端优化,简化了训练流程。

**2.1.2 多尺度预测能力** 通过引入特征金字塔等结构,有效融合深层的细节特征,使其能够精准识别不同尺度的目标。

**2.1.3 多任务能力** 模型可灵活配置,兼容目标

检测、实例分割、姿态估计等多种任务，通用性极强。

**2.1.4 高度的模块化与可扩展性** 架构采用模块化设计，便于集成注意力机制、新的卷积模块等先进技术，为应对复杂应用场景提供了良好的拓展基础。

**2.2 应用方式**

与自然图像、场景图像、室内图像等相比，医学图像具有成像原理多样、分辨率各异、噪声干扰较强、感兴趣目标数量多、形状差异大等特点。例如，与CT图像像素清晰、对比度较强等特点相比，超声图像噪声多、干扰大，目标模糊不清，识别难度大；病理图像中病变细胞的形态各异，而血常规检查中红细胞、白细胞等形状较为规则，等等。这就对医学图像分割应用提出了更高要求，需要模型具有更强的自适应、更好的可靠性和更高的准确率。因此，YOLO模型在医学图像分割中的应用方式主要有以下几种，见图5。

**2.2.1 YOLO + Transformer** 可以借助Transformer的自注意力机制来捕捉长距离的依赖关系，进一步提高YOLO在复杂医学图像中的鲁棒性和检测精度。

**2.2.2 YOLO + Attention** 通过在YOLO模型中引入注意力机制，有助于模型更好地聚焦图像关键特征，尤其在处理多个相似目标或微小目标时，能够提高检测的准确性和鲁棒性。

**2.2.3 YOLO + U-Net** YOLO与U-Net融合有助于将YOLO在目标检测方面的能力与U-Net在图像分割方面的优势相结合，着力提升图像目标定位与分割精度。

**2.2.4 YOLO + SAM** YOLO与SAM相融合，可以先使用YOLO进行快速目标检测，然后利用SAM进行精确分割，从而提升整体分割效率和精度，尤其在复杂医学图像分割中展现出强大潜力。

综上，目前YOLO模型在医学图像分割中既可以独立使用，又可以与其他深度学习模型强强联合——即YOLO侧重于目标定位，而由U-Net、SAM等模型进行分割，以此进一步提高分割精度

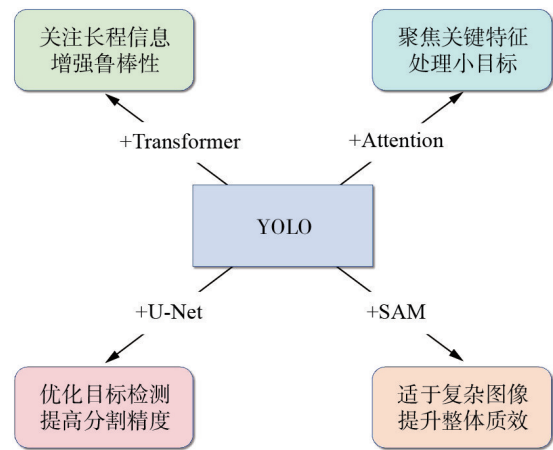


图5 YOLO与其他模型的融合  
Fig. 5 Integration of YOLO with other models

和处理速度。

**2.3 YOLO算法在医学图像分割中的应用研究进展**

YOLO算法凭借丰富的模型版本、强大的场景适配性、高效的处理速度、较高的准确率及轻量化特性等优势，相关研究受到业界的广泛关注。为分析YOLO算法在医学图像分割中的研究现状，本文对2021年以来的文献进行归纳整理(表2)，并从研究趋势、模型选择、地域分布与目标偏好3个维度，对YOLO的应用特点展开分析，为未来研究方向提供参考。

**2.3.1 研究趋势** YOLO算法在医学图像分割的研究快速扩张，呈现出以下3个主要趋势：第一，研发团队与模型版本呈现多元化特点，国内外团队竞相投入，YOLO的主流版本均被广泛应用，且新型改进算法能快速落地实践(图6AB)，体现该领域技术迭代迅速、充满活力。第二，从研究部位来看，YOLO医学分割研究主要聚焦于脑、心、肺、乳腺及消化系统等多个部位，并兼容MR、CT及X射线等图像类型，尤其是脑部图像的相关研究最多(图6C)，呈现出多模态、多部位的特点。第三，YOLO对数据标注的高要求间接推动相关数据集及集成平台的发展，如Roboflow、Kaggle等平台能提供数据上传、下载、预处理、自定义模型训练等服务，极大降低使用门槛，做到操作简单、使用方便、结果易懂。

表2 基于YOLO的医学分割方法

Tab. 2 Medical segmentation method based on YOLO

部位	主要模型	图像类型	年份	分割效果	数据集	国别
心	YOLO	MR	2021	校正前 mIoU=0.702 3; 校正后 mIoU=0.901 6	30 例右心导管的 PH 患者	中国 <sup>[19]</sup>
	YOLOv3	超声	2023	mAP=95.57%	252 张超声心动图图像	中国 <sup>[20]</sup>
	YOLOv8	超声	2024	mAP(50)=98.31%; mAP(50:95)=75.27%	4781 超声心动图图像	中国 <sup>[21]</sup>

续表

部位	主要模型	图像类型	年份	分割效果	数据集	国别
	YOLO	MR	2022	mAP=0.9688	BRATS 数据集	印度 <sup>[22]</sup>
	YOLO NAS	MR	2024	Accuracy=0.997%;Precision=0.982%	REMBRANDT	印度 <sup>[23]</sup>
	YOLOv2	超声	2024	Dice=0.83	18个胎儿脑超声	墨西哥 <sup>[24]</sup>
	YOLOv3+U-Net++	MR	2022	IoU=0.9374	25 603张MRM图像	中国 <sup>[25]</sup>
脑	YOLOv3+UNet	MR	2024	CCR=97%	346张轴向MRI切片图像	印度尼西亚 <sup>[26]</sup>
	YOLOv4	CT	2024	Accuracy=99.74%	出血性中风脑损伤的CT切片图像	巴西 <sup>[27]</sup>
	YOLOv5+2D U-net	MR	2024	mAP=89.5%,	Brain Tumor Figshare (BTF)	巴基斯坦 <sup>[28]</sup>
	YOLOv7	MR	2024	mAP(50)=0.941%;mAP(50:95)=0.659%	233名患者的3 064张图像	沙特阿拉伯 <sup>[29]</sup>
	YOLOv8	MR/CT	2024	mAP(50)=0.969;mAP(50:95)=0.748	Br35H	中国 <sup>[30]</sup>
	YOLOv8	CT	2025	mIoU=87.1%	医院定制的数据集	中国 <sup>[31]</sup>
	YOLOv9	MR	2024	mAP(50)=0.996	301张脑部肿瘤图像	巴西 <sup>[32]</sup>
	YOLOv4+3D U-Net	CT	2024	Accuracy=0.65	HCFMUSP COVID-19	墨西哥 <sup>[33]</sup>
肺	YOLOv7	CT	2023	mAP=81.28%	LIDC-IDRI	阿尔及利亚 <sup>[34]</sup>
	YOLOv8+SAM	X线	2023	Precision=0.874 7	Kaggle Lung X-ray	丹麦 <sup>[35]</sup>
	YOLOv8	CT	2024	Precision=0.757	Lung Nodule Image	意大利 <sup>[36]</sup>
动脉	YOLOv8	X线	2024	IoU=95.5%	Montgomery	西班牙 <sup>[37]</sup>
	YOLOv8	X线	2023	F1=0.411	2023年ARCADE挑战赛数据集	美国 <sup>[38]</sup>
	YOLOv9	CT	2024	mAP(50)=99.49%;mAP(50:95)=82.75%	新标注的120张横断面视图图像	希腊 <sup>[39]</sup>
乳腺	YOLOv3	超声	2021	mIoU=0.8259	含有肿瘤的图片共计3 259例	中国 <sup>[40]</sup>
	YOLOv5	X线	2022	IoU=64.0%	Curated Breast Imaging	加拿大 <sup>[41]</sup>
	YOLOv5	超声	2024	Precision=99.41%	28477张乳腺超声图像	中国 <sup>[42]</sup>
腰椎	YOLOv5+HED U-Net	MR	2022	mAP=0.975	Lumbar Spine Composite	巴基斯坦 <sup>[43]</sup>
消化及生殖	YOLOv8	X线	2024	Best Iou=95.09%	10616张图像	泰国 <sup>[44]</sup>
	YOLOv5	超声	2023	F1-score=87.33%	卵巢卵泡数据集	中国 <sup>[45]</sup>
	YOLOv8	内镜图像	2024	mAP(50)=0.8604;mAP(50:95)=0.863	KID	丹麦 <sup>[46]</sup>
口腔颌面部	YOLOv4+U-Net	X线	2022	Precision=0.917	420张下颌骨折的全景放射图像	韩国 <sup>[47]</sup>
	YOLOv5	X线	2024	Precision=0.98	3 854张儿童患者全景放射图像	土耳其 <sup>[48]</sup>
	YOLOv8	X线	2023	mAP(50)=0.966;mAP(50:95)=0.722	226个病变全景放射图像	克罗地亚 <sup>[49]</sup>
	YOLOv8	X线	2024	Precision=0.913;mAP=0.96	Roboflow 公开数据集	泰国 <sup>[50]</sup>
	YOLOv8	X线	2024	mAP(50)=0.591;mAP(50:95)=0.272	600张正位全景放射图像	西班牙 <sup>[51]</sup>
皮肤	YOLOv3	皮肤镜图像	2019	Sensitivity=0.9	ISIC	土耳其 <sup>[52]</sup>
	YOLOv4	皮肤图像	2024	mAP = 0.908	2 657张高质量银屑病病患者图像	中国 <sup>[53]</sup>
	YOLOv5+SAM	皮肤图像	2024	IoU=94.10%	83张病变图像	美国 <sup>[54]</sup>
	YOLOv7	皮肤图像	2024	成功率为75.12%	Roboflow 公开数据集	土耳其 <sup>[55]</sup>
	YOLO+Unet	MR	2024	Dice=0.462 4	公共数据集LITS	中国 <sup>[56]</sup>
肿瘤	YOLOv5	CT	2024	mIoU=88.64%;Speed=31fps	Kvasir-seg	中国 <sup>[57]</sup>
	YOLOv8+SAM ViT-b	MR	2024	Dice=0.79	Brain Tumor Segmentation	美国 <sup>[58]</sup>
	YOLOv8	CT	2024	mAP(50)=0.96;mAP(50:95)=0.72	KiTS23数据集	塞尔维亚 <sup>[59]</sup>
	YOLOv8	CT	2024	准确率提高4.4%;mAP提高2.3%	公共肾结石数据集	中国 <sup>[60]</sup>
眼底	YOLOv8	视网膜图像	2024	Precision=0.892;mAP(50)=0.89	582张病变视网膜和213张正常图像	中国 <sup>[61]</sup>
细胞及组织切片	YOLO+3D U-Net	显微图像	2024	mAP=0.367	模拟的3D细胞显微镜图像	美国 <sup>[62]</sup>
	YOLOv4	细胞图像	2023	mIoU=0.905;Fps=67	私人数据集BJTUCELL	中国 <sup>[63]</sup>
	YOLOv5	显微图像	2023	F1 Score=0.81	小鼠大脑新皮层组织切片	美国 <sup>[64]</sup>

续表

部位	主要模型	图像类型	年份	分割效果	数据集	国别
	YOLOv5	显微图像	2023	取得了接近最先进性能的结果	癌变组织切片	希腊 <sup>[65]</sup>
	YOLOv5+ YOLOv8	细胞图像	2024	Box mAP=0.911; Mask mAP=0.898	DSB2018, BCC	马来西亚 <sup>[66]</sup>
	YOLOv7+ Transformer	显微图像	2023	mAP=95.6%	BCCD, CBC, 血细胞	马来西亚 <sup>[3]</sup>
	YOLOv9	显微图像	2024	mAP=71.5%; mAP(50)=97.42%	200张大鼠肝组织照片	巴西 <sup>[67]</sup>
	YOLOv9	癌症活检 图像	2024	mAP(50:95)=35.93%	Pannuke 泛癌数据集	希腊 <sup>[68]</sup>

**2.3.2 模型选择** 在医学图像分割领域, YOLOv5 和 YOLOv8 是目前应用最为广泛的模型版本(图 6A)。通过对表 2 的分析, 发现 YOLOv5 在处理细胞及组织切片和皮肤等小目标图像时表现出色, 这可能归因于其较高的分辨率处理能力, 使其能够更精准地识别和分割小目标<sup>[54,64-65]</sup>。而 YOLOv8 在肺部、肿瘤和口腔等图像中更为常用, 推测是因为其多尺度特征融合能力更强, 能够更好地适应图像的复杂结构<sup>[36-37]</sup>。此外, YOLO 还常与 U-Net、SAM 等算法组合使用, 形成一种协同工作机制。具体而言, 先利用 YOLO 进行目标检测, 再调用 U-Net、SAM 进行图像分割, 这种组合方式能够充分发挥各算法的优势, 显著提高图像分割的准确性和效率<sup>[25,58]</sup>。

**2.3.3 地域分布与目标偏好** 从地域分布来看(图 6B), 在 YOLO 医学图像分割研究领域, 学者主要来自中国和美国, 这一现象可能与两国在医学图像处理 and 人工智能领域的研究基础、科研投入资源相关。从目标偏好来看, 相关研究主要集中在以下几个领域: (1) 脑部图像研究多聚焦于肿瘤、出血定位等任务, 常将 YOLO 与 U-Net 等结构结合, 以提高小病灶和边界复杂区域的分割效果<sup>[28]</sup>。(2) 显微图像与病理切片图像研究多集中在细胞检测、病理切片分割, 常涉及小目标和复杂纹理处理,

相关工作可结合 Transformer 或 U-Net 进行优化, 以提升分割精度。这类研究不仅有助于病理诊断, 还为疾病机制研究和药物研发提供支持<sup>[3,62]</sup>。(3) 在乳腺和消化系统图像中, 主要用于肿瘤及病灶检测, 目标在于提高早期筛查的灵敏度, 部分研究通过引入注意力机制以增强对微小异常区域的识别<sup>[42]</sup>。(4) 肺部图像研究则侧重于早期结节、肿瘤筛查等, 可结合 U-Net、SAM 等模型, 旨在通过 CT、X 射线等图像分割实现疾病的辅助诊断与监测<sup>[33,35]</sup>。

### 3 问题与展望

综合现有文献, YOLO 算法虽然具有速度快、准确度高等优势<sup>[2]</sup>, 但在微小病灶分割<sup>[3]</sup>、重叠组织边界分割、计算资源<sup>[26]</sup>等方面仍存在许多问题和挑战, 亟需进一步研究与改进, 表 3 为 YOLO 的挑战与改进方法。

未来 YOLO 发展可尝试从以下方面展开: (1) 加强与 Transformer、扩散模型、多模态学习等前沿技术的融合; (2) 推进轻量化与可解释性研究, 以便模型在临床应用中更加高效与透明; (3) 构建共享的高质量医学图像数据库, 推动模型泛化性提升; (4) 探索人机协同标注工具与半监督学习方法, 降低数据标注成本。这些方向将有助于推动

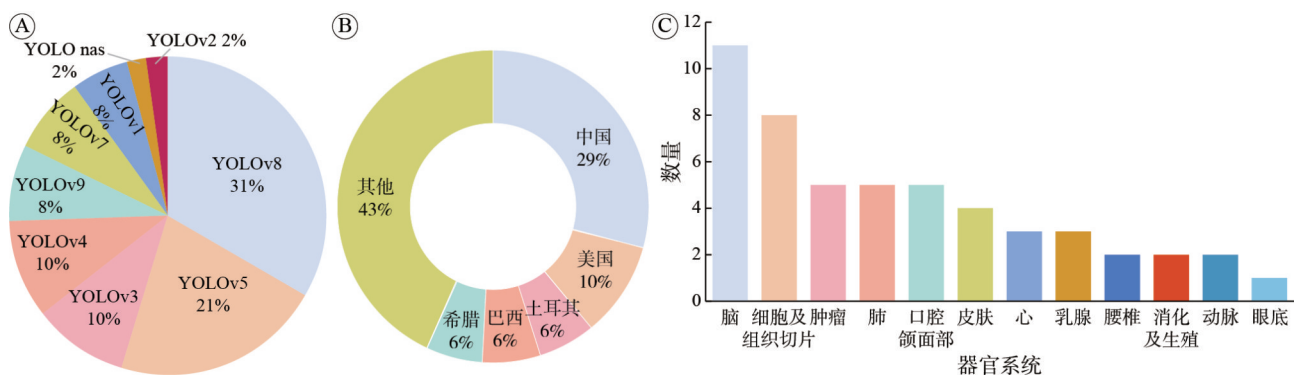


图 6 基于模型版本(A)和作者国别(B)占比分布以及器官系统分布(C)

Fig.6 Based on model version (A) and author country (B) and organ system distribution map (C)

表3 YOLO的挑战与改进方法

Tab. 3 The challenges and improvements of YOLO

挑战	主要表现	改进方法
微小病灶分割困难	在细胞、微小病变等小目标的医学图像分割中,小目标特征容易被忽略或误判	<b>引入注意力机制:</b> 通过引入通道注意力、空间注意力等,增强模型对小目标和关键区域的检测能力,提高检测精度
重叠组织边界分割模糊	对于重叠或紧密排列的目标,如肿瘤浸润区域、器官粘连区域,YOLO难以准确区分每个目标的边界	<b>数据增强和预处理:</b> 加强数据增强和预处理方法,如图像旋转、缩放、裁剪、噪声添加等,以提高模型的泛化能力和鲁棒性,改善图像质量,突出目标特征,降低检测难度
计算资源需求高	YOLO模型通常需要较强的计算资源,尤其是在处理大规模数据集或高分辨率图像	<b>模型压缩和加速:</b> 采用剪枝、量化、知识蒸馏等模型压缩技术,减少模型数量和计算复杂度,提高模型的运行速度和效率
模型泛化能力	YOLO在特定数据集上表现良好,但在其他数据集或不同类型图像时,泛化能力可能不足。而医学图像的多样性和复杂性,要求模型具有更强的泛化能力	<b>优化网络架构:</b> 可通过引入更深网络结构、改进卷积层设计等途径,提高YOLO特征提取的能力和精度。 <b>结合其他分割技术:</b> 将YOLO与U-Net、Mask R-CNN等结合,形成混合模型,提高精度和鲁棒性。此外,通过多任务学习进行目标检测和分割,提高性能、增强协同
数据标注成本高	医学图像标注需要专业知识和经验,标注成本高且耗时长,同时标注质量直接影响模型性能,低质量标注会导致模型训练效果不佳	<b>数据生成:</b> 利用生成对抗网络(GAN)或者扩散模型生成高质量的合成医学图像数据,弥补真实标注数据的不足。 <b>自动化标注:</b> 构建智能标注工具,利用预训练模型对输入数据进行初步标注,再经专家审核与交互式标注,大幅减少标注工作量,提高标注效率和质量。 <b>监督学习方法:</b> 利用少量标注数据和大量未标注数据,通过自训练、对抗网络、强化学习等方法提升模型自动标注性能

YOLO在医学图像智能化应用中的进一步发展<sup>[69]</sup>。

## 4 结语

本文主要从技术特性、应用方式和研究进展等方面综述YOLO算法在医学图像分割中的应用进展,同时也提出,其在微小病灶分割、重叠组织边界分割以及计算资源和数据标注等方面存在的不足。未来研究工作可进一步结合注意力机制、优化网络架构、融合其他分割方法等深度学习技术,推动YOLO模型在医学图像领域的更广泛应用,为医学人工智能应用与发展提供更高效、可靠的技术支持。

**作者贡献** 康敏诗:论文撰写;戴安娜:审阅和修订;郭华源,何昆仑:论文审读、修订和监督指导。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突。

## 参考文献

- Wang RS, Lei T, Cui RX, et al. Medical image segmentation using deep learning: A survey [J]. IET Image Process, 2022, 16 (5): 1243-1267.
- Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You only look once: unified, real-time object detection [C] //2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). June 27-30, 2016, Las Vegas, NV, USA. IEEE, 2016: 779-788.
- Kang M, Ting CM, Ting FF, et al. CST-YOLO: a novel method for blood cell detection based on improved YOLOv7 and CNN-swin transformer [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2306.14590>
- Li C, Che SL, Gong HT, et al. PI-YOLO: dynamic sparse attention and lightweight convolutional based YOLO for vessel detection in pathological images [J]. Front Oncol, 2024, 14: 1347123.
- Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-net: convolutional networks for biomedical image segmentation [C] //Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI 2015. Cham: Springer, 2015: 234-241.
- Girshick R. Fast R-CNN [C] //2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). December 7-13, 2015, Santiago, Chile. IEEE, 2016: 1440-1448.
- Long J, Shelhamer E, Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation [C] //2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). June 7-12, 2015, Boston, MA, USA. IEEE, 2015: 3431-3440.
- Visin F, Ciccone M, Romero A, et al. ReSeg: a recurrent neural network-based model for semantic segmentation [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/1511.07053>
- Kirillov A, Mintun E, Ravi N, et al. Segment anything [C] //2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). October 1-6, 2023, Paris, France. IEEE, 2024: 3992-4003.
- Redmon J, Farhadi A. YOLO9000: better, faster, stronger [C] //2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). July 21-26, 2017, Honolulu, HI, USA. IEEE, 2017: 6517-6525.
- Redmon J, Farhadi A. YOLOv3: an incremental improvement [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/1804.02767>
- Bochkovskiy A, Wang CY, Liao HM. YOLOv4: optimal speed and accuracy of object detection [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2004.04630>

- org/abs/2004.10934
- 13 Ge Z, Liu ST, Wang F, et al. YOLOX: exceeding YOLO series in 2021 [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2107.08430>
  - 14 Li CY, Li LL, Jiang HL, et al. YOLOv6: a single-stage object detection framework for industrial applications [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2209.02976>
  - 15 Wang CY, Bochkovskiy A, Liao HM. YOLOv7: trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors [C] //2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). June 17-24, 2023, Vancouver, BC, Canada. IEEE, 2023: 7464-7475.
  - 16 Wang CY, Yeh IH, Liao HM. YOLOv9: learning what you want to learn using programmable gradient information [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2402.13616>
  - 17 Wang A, Chen H, Liu LH, et al. YOLOv10: real-time end-to-end object detection [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2405.14458>
  - 18 Tian YJ, Ye QX, Doermann D. YOLOv12: attention-centric real-time object detectors [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2502.12524>
  - 19 Ma TT, Ma ZY, Zhang XP, et al. Evaluation of effect of curcumin on psychological state of patients with pulmonary hypertension by magnetic resonance image under deep learning [J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2021, 2021: 9935754.
  - 20 Ye CZ, Wang P, Liu BZ, et al. Design of image segmentation algorithm based on YOLOv3 network model [C] //2023 International Conference on Evolutionary Algorithms and Soft Computing Techniques (EASCT). October 20-21, 2023, Bengaluru, India. IEEE, 2024: 1-8.
  - 21 Balasubramani M, Sung CW, Hsieh MY, et al. Automated left ventricle segmentation in echocardiography using YOLO: a deep learning approach for enhanced cardiac function assessment [J]. *Electronics*, 2024, 13 (13): 2587.
  - 22 Jasmine RA, Rani PAJ, Dhas JA. Hyper parameters optimization for effective brain tumor segmentation with YOLO deep learning [J]. *J Pharm Negat Results*, 2022: 2247-2257.
  - 23 Mithun MS, Joseph Jawhar S. Detection and classification on MRI images of brain tumor using YOLO NAS deep learning model [J]. *J Radiat Res Appl Sci*, 2024, 17 (4): 101113.
  - 24 Velásquez-Rodríguez GAR, Fanti-Gutiérrez Z, Torres F, et al. 3D statistical shape models for automatic segmentation of the fetal cerebellum in ultrasound images [J]. *Signal Image Video Process*, 2024, 19 (1): 81.
  - 25 Fu J, Chai JW, Chen PL, et al. Quantitative measurement of spinal cerebrospinal fluid by cascade artificial intelligence models in patients with spontaneous intracranial hypotension [J]. *Biomedicine*, 2022, 10 (8): 2049.
  - 26 Iriawan N, Pravitasari AA, Nuraini US, et al. YOLO-UNet architecture for detecting and segmenting the localized MRI brain tumor image [J]. *Appl Comput Intell Soft Comput*, 2024, 2024 (1): 3819801.
  - 27 Michaliszen JR, Fernandes JCN, Barroso CB, et al. A novel segmentation approach utilizing object detection techniques as prompts for a zero-shot system in hemorrhagic stroke segmentation in CT images [C] //2024 IEEE 37th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). June 26-28, 2024, Guadalajara, Mexico. IEEE, 2024: 278-283.
  - 28 Ahsan R, Shahzadi I, Najeeb F, et al. Brain tumor detection and segmentation using deep learning [J]. *MAGMA*, 2025, 38 (1): 13-22.
  - 29 Almufareh MF, Imran M, Khan A, et al. Automated brain tumor segmentation and classification in MRI using YOLO-based deep learning [J]. *IEEE Access*, 2024, 12: 16189-16207.
  - 30 Yao QG, Zhuang DW, Feng YC, et al. Accurate detection of brain tumor lesions from medical images based on improved YOLOv8 algorithm [J]. *IEEE Access*, 2024, 12: 144260-144279.
  - 31 Wang HR, Wang GH, Li YL, et al. YOLO-HV: A fast YOLOv8-based method for measuring hemorrhage volumes [J]. *Biomed Signal Process Control*, 2025, 100: 107131.
  - 32 Teixeira EH, Melo MC, Junior WBC, et al. Brain tumor images class-based and prompt-based detectors and segmenter: performance evaluation of YOLO, SAM and grounding DINO [C] //2024 International Conference on Artificial Intelligence, Blockchain, Cloud Computing, and Data Analytics (ICoABCD). August 20-21, 2024, Indonesia. IEEE, 2024: 202-207.
  - 33 Valverde-Rebaza J, Andreis GR, Shiguihara P, et al. Integrating YOLO and 3D U-Net for COVID-19 diagnosis on chest CT scans [C] //2024 IEEE 37th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). June 26-28, 2024, Guadalajara, Mexico. IEEE, 2024: 15-20.
  - 34 Mammeri S, Amroune M, Haouam MY, et al. Early detection and diagnosis of lung cancer using YOLO v7, and transfer learning [J]. *Multimed Tools Appl*, 2024, 83 (10): 30965-30980.
  - 35 Pandey S, Chen KF, Dam EB. Comprehensive multimodal segmentation in medical imaging: combining YOLOv8 with SAM and HQ-SAM models [C] //2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW). October 2-6, 2023, Paris, France. IEEE, 2023: 2584-2590.
  - 36 Santone A, Mercaldo F, Brunese L. A method for real-time lung nodule instance segmentation using deep learning [J]. *Life*, 2024, 14 (9): 1192.
  - 37 Khalili E, Priego-Torres B, León-Jiménez A, et al. Automatic lung segmentation in chest X-ray images using SAM with prompts from YOLO [J]. *IEEE Access*, 2024, 12: 122805-122819.
  - 38 Liu T, Lin H, Katsaggelos AK, et al. YOLO-angio: an algorithm for coronary anatomy segmentation [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2310.15898>
  - 39 Smyrlis PN, Stancu GR, Dimaraki F, et al. Aorta localization in Computed Tomography images: A YoloV9 segmentation approach [C] //2024 9th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM). September 20-22, 2024, Athens, Greece. IEEE, 2024: 163-167.
  - 40 徐立芳, 傅智杰, 莫宏伟. 基于改进的YOLOv3算法的乳腺超声肿瘤识别 [J]. *智能系统学报*, 2021, 16 (1): 21-29.
  - 41 Su YY, Liu Q, Xie WT, et al. YOLO-LOGO: A transformer-based YOLO segmentation model for breast mass detection and segmentation in digital mammograms [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2022, 221: 106903.
  - 42 Li WQ, Ye XJ, Chen XM, et al. A deep learning-based method for the detection and segmentation of breast masses in ultrasound images [J]. *Phys Med Biol*, 2024, 69 (15). DOI: 10.1088/1361-6560/ad61b6.
  - 43 Mushtaq M, Akram MU, Alghamdi NS, et al. Localization and edge-based segmentation of lumbar spine vertebrae to identify the deformities using deep learning models [J]. *Sensors*, 2022, 22 (4): 1547.
  - 44 Vephasayanant A, Jitpattanukul A, Muneesawang P, et al.

- YOLO-based image segmentation for the diagnostic of spondylolisthesis from lumbar spine X-ray images [J]. *IEEE Access*, 2024, 12: 182242-182258.
- 45 Wang CJ, He CS, Yan RX, et al. Application of MP-YOLO for segmentation and visualization of ovarian ultrasound imaging [C] //2023 IEEE 5th Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS). June 2-4, 2023, Tainan, Taiwan, China. *IEEE*, 2023: 130-132.
- 46 Sahafi A, Koulouzidis A, Lalinia M. Polypoid lesion segmentation using YOLO-V8 network in wireless video capsule endoscopy images [J]. *Diagnostics*, 2024, 14 (5): 474.
- 47 Son DM, Yoon YA, Kwon HJ, et al. Combined deep learning techniques for mandibular fracture diagnosis assistance [J]. *Life*, 2022, 12 (11): 1711.
- 48 Beser B, Reis T, Berber MN, et al. YOLO-V5 based deep learning approach for tooth detection and segmentation on pediatric panoramic radiographs in mixed dentition [J]. *BMC Med Imaging*, 2024, 24 (1): 172.
- 49 Rašić M, Tropčić M, Karlović P, et al. Detection and segmentation of radiolucent lesions in the lower jaw on panoramic radiographs using deep neural networks [J]. *Medicina*, 2023, 59 (12): 2138.
- 50 Deepho C, Khlaisuwan V, Pengchai C, et al. Toward the development of an oral-diagnosis framework: a case study of teeth segmentation and numbering in bitewing radiographs via YOLO models [C] //2024 IEEE International Conference on Cybernetics and Innovations (ICCI). March 29-31, 2024, Chonburi, Thailand. *IEEE*, 2024: 1-6.
- 51 Bonfanti-Gris M, Herrera A, Paraíso-Medina S, et al. Performance evaluation of three versions of a convolutional neural network for object detection and segmentation using a multiclass and reduced panoramic radiograph dataset [J]. *J Dent*, 2024, 144: 104891.
- 52 Ünver HM, Ayan E. Skin lesion segmentation in dermoscopic images with combination of YOLO and GrabCut algorithm [J]. *Diagnostics*, 2019, 9 (3): 72.
- 53 Yin H, Chen H, Zhang W, et al. Image-based remote evaluation of PASI scores with psoriasis by the YOLO-v4 algorithm [J]. *Exp Dermatol*, 2024, 33 (4): e15082.
- 54 Taipe L, Bardales J, Pena-Pena K, et al. A hybrid approach incorporating superpixels for diabetic foot lesion segmentation using YOLOv5 and SAM [C] //2024 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI). May 27-30, 2024, Athens, Greece. *IEEE*, 2024: 1-4.
- 55 Yıldız M, Sarpdağı Y, Okuyar M, et al. Segmentation and classification of skin burn images with artificial intelligence: Development of a mobile application [J]. *Burns*, 2024, 50 (4): 966-979.
- 56 Zhang KJ, Zhang L, Pan HW. UoloNet: based on multi-tasking enhanced small target medical segmentation model [J]. *Artif Intell Rev*, 2024, 57 (2): 31.
- 57 Huang SZ, Sirejiding S, Lu YX, et al. YOLO-med: multi-task interaction network for biomedical images [C] //ICASSP 2024 - 2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). April 14-19, 2024, Seoul, Korea, Republic of. *IEEE*, 2024: 2175-2179.
- 58 Kassam S, Markham A, Vo K, et al. Intraoperative glioma segmentation with YOLO + SAM for improved accuracy in tumor resection [EB/OL]. <https://arxiv.org/abs/2408.14847>
- 59 Tanasković I, Ičagić S, Šolić I, et al. Adapting YOLOv8 for kidney tumor segmentation in computed tomography [C] //2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech). June 25-28, 2024, Bol and Split, Croatia. *IEEE*, 2024: 1-5.
- 60 Huang WL, Chen YT, Zhu XL. LG-Yolov8: a new method for object detection of kidney stone images [C] //Proceedings of the 2024 6th International Conference on Intelligent Medicine and Image Processing. April 26 - 29, 2024, Bali, Indonesia. *ACM*, 2024: 36-40.
- 61 Xie HF, Yuan BX, Hu CY, et al. SMLS-YOLO: an extremely lightweight pathological myopia instance segmentation method [J]. *Front Neurosci*, 2024, 18: 1471089.
- 62 Ziabari A, Rose DC, Shirinifard A, et al. YOLO2U-Net: Detection-guided 3D instance segmentation for microscopy [J]. *Pattern Recognit Lett*, 2024, 181: 37-42.
- 63 Wu NK, Jia DY, Zhang CW, et al. Cervical cell extraction network based on optimized yolo [J]. *Math Biosci Eng*, 2023, 20 (2): 2364-2381.
- 64 Morera H, Dave P, Alahmari S, et al. MIMO YOLO - a multiple input multiple output model for automatic cell counting [C] //2023 IEEE 36th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). June 22-24, 2023, L' Aquila, Italy. *IEEE*, 2023: 827-831.
- 65 Smyrlis PN, Vogklis K, Tsakai O, et al. A novel approach for cancer image segmentation [C] //2023 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM). December 5-8, 2023, Istanbul, Turkiye. *IEEE*, 2024: 4951-4954.
- 66 Kang M, Ting CM, Ting FF, et al. ASF-YOLO: A novel YOLO model with attentional scale sequence fusion for cell instance segmentation [J]. *Image Vis Comput*, 2024, 147: 105057.
- 67 Da Silva SA, Berton LEF, Carvalho MFT, et al. Nuclei segmentation in hepatocytes using YOLO and SAM [C] //2024 31st International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP). July 9-11, 2024, Graz, Austria. *IEEE*, 2024: 1-6.
- 68 Smyrlis PN, Ntetska A, Karamitsou T, et al. Yolov9 models for cancer detection in biopsy images: segmentation on pan-cancer data [C] //2024 9th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNM). September 20-22, 2024, Athens, Greece. *IEEE*, 2024: 174-178.
- 69 郭华源, 刘盼, 卢若谷, 等. 人工智能大模型医学应用研究 [J]. *中国科学 (生命科学)*, 2024, 54 (3): 482-506.

(责任编辑: 武建虎, 潘越)