

医学图像深度学习处理方法的研究进展

佟超^{1,2} 韩勇^{1,2} 冯巍^{1,2} 李伟铭^{1,2} 陶丽新^{1,2} 郭秀花^{1,2}

摘要 由于医学图像数据爆炸式增长,传统依靠医生人工对医学图像进行分析诊断,不仅工作效率低下,工作量大,还容易误诊、漏诊。随着人工智能(artificial intelligence, AI)技术的发展与应用,机器学习(machine learning, ML),尤其是深度学习(deep learning, DL)在医学图像分析领域发挥着越来越重要的作用。本文对 DL 在医学图像自动分割和分类识别中的研究进展进行综述,为 DL 在解决医学图像分析诊断方面提供有益参考。

关键词 医学图像;特征提取;自动分割;分类识别;深度学习

DOI:10.3969/j.issn.1002-3208.2021.02.014.

中图分类号 R318.04 **文献标志码** A **文章编号** 1002-3208(2021)02-0198-05

本文著录格式 佟超,韩勇,冯巍,等.医学图像深度学习处理方法的研究进展[J].北京生物医学工程,2021,40(2):198-202. TONG Chao, HAN Yong, FENG Wei, et al. Research progress of deep learning processing methods for medical images[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2021, 40(2): 198-202.

Research progress of deep learning processing methods for medical images

TONG Chao^{1,2}, HAN Yong^{1,2}, FENG Wei^{1,2}, LI Weiming^{1,2}, TAO Lixin^{1,2}, GUO Xiuhua^{1,2}

1 School of Public Health, Capital Medical University, Beijing 100069;

2 Beijing Key Laboratory of Clinical Epidemiology, Beijing 100069

Corresponding author: GUO Xiuhua (E-mail: guoxiuh@ccmu.edu.cn)

【Abstract】 Due to the explosive growth of medical image data, traditionally relying on doctors to analyze and diagnose medical images manually are not only low efficiency and heavy workload, but also easy to misdiagnoses and missed diagnoses. With the development and application of artificial intelligence technology, machine learning, especially deep learning, is playing an increasingly important role in the field of medical image analysis. This article reviews the research progress of deep learning in automatic segmentation and classification and recognition for medical images, providing a useful reference for deep learning in solving medical image analysis and diagnosis.

【Keywords】 medical image; feature extraction; automatic segmentation; classification; deep learning

0 引言

人工智能(artificial intelligence, AI)是研究、开

发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。机器学习(machine learning, ML),是一种实现人工智能的方法,其应用算法来解析数据,像人一样具有学习能力,对具体事件进行决策和预测。而深度学习(deep learning, DL)是一种实现机器学习的技术,是一种数据驱动的自动学习图像中隐藏的高层次特征的方法,该方法能够大幅度减少特征选择时主观因素的

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(2016YFC1302804)、国家自然科学基金(81773542、81530087)、北京市教育委员会科技计划重点项目(KZ201810025031)资助

作者单位:1 首都医科大学公共卫生学院(北京 100069)

2 临床流行病学北京市重点实验室(北京 100069)

通信作者:郭秀花。E-mail: guoxiuh@ccmu.edu.cn

干扰;此外,该模型应用了非线性层结构,能够建立较为复杂的模型;另外,浅层神经网络容易出现欠拟合,而 DL 可以通过增加网络深度提高学习能力,使解决一些较复杂问题成为可能。因此,近些年该方法广泛应用于图像分类、人脸识别及医学图像。

1 DL 在医学图像自动分割中的应用

医学图像分割是 DL 应用于医学图像分析的一个重要领域,它在图像中自动分割出感兴趣区域,帮助后续的诊断及分析,有效避免医生的主观性影响^[1]。脑肿瘤是指在颅腔中的异常生长的新生物,对人体伤害非常大,常常产生头痛、颅内高压等症状。由于根据脑肿瘤病理类型及发病部位的不同其治疗方案也随之改变,因此,正确对脑肿瘤进行分割对其诊治是十分重要的。Havaei 等^[2]提出一种基于深度神经网络的全自动脑图像肿瘤分割方法,不仅在临床诊断中有助于神经系统疾病的评估,提高了模型速度,而且在基础神经科学研究中也具有重要作用。此外,毛雷^[3]在研究中提出了基于卷积神经网络(convolution neural network, CNN)的脑肿瘤快速分割的方法,但由于磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)像素类别不平衡而导致分割精度不高,针对该不足,又提出了基于深度级联网络的脑肿瘤分割方法,该方法能够有效分割出完整的脑肿瘤区域,并大大提高了分割精度。

乳腺癌是由乳房组织恶性病变发展而成的癌症,主要表现为乳房形状改变、乳腺皮肤出现“橘皮样改变”、乳头溢液、无痛性肿块等。乳腺癌是女性常见的恶性肿瘤之一,威胁女性的身心健康,是当前社会的重大公共卫生问题之一。Men 等^[4]为实现乳腺癌放射治疗靶区的自动分割,训练出一种深度残差网络,该方法能够准确、快速分割出乳腺癌放疗靶区。而在乳腺 MRI 图像上,肿块型和非肿块型之间形态差异较大,非肿块型由于缺乏明确的边界,诊断较为困难。目前缺乏针对非肿块型乳腺肿瘤自动分割的相关研究,针对该问题,马伟等^[5]研究出一套新的 DL 模型:首先利用 YOLOv2 良好的拟合性及运行速度进行粗监测;然后应用 SegNet 模型进行精细分割,为减少医生工作量及辅助医生诊断提供了可能。

肝癌是指发生于肝脏或从肝脏开始的恶性肿瘤,是目前我国高发的恶性肿瘤,主要表现为肋骨架

右侧下方疼痛、腹胀、黄疸、消瘦以及身体虚弱等。对肝脏肿瘤进行精确分割是切除手术的第一步,但医生手工勾画病理区域由于边界模糊问题使得分割较为困难。因此, Ahn 等^[6]为克服医生手工勾画病理区域的局限性,制定了基于深度卷积神经网络(deep convolution neural network, DCNN)的肝癌自动分割框架,结果表明该框架优于手工勾画。为解决 CNN 方法存在的计算量大、GPU 内存消耗大等问题,黄赛^[7]提出了一种基于全卷积神经网络(fully convolutional networks, FCN)的 U-net 网络模型,该模型能够更精确地分割肝脏肿瘤。

淋巴结转移是肿瘤最常见的转移方式,一般先到达距离肿瘤最近的淋巴结,随后向相邻的淋巴结扩展。通过对转移淋巴及肿大淋巴结进行切割活检,能够有效进行肿瘤病理分型,在肿瘤的诊治中扮演着重要角色。因此,正确对淋巴结进行分割对恶性肿瘤的诊治发挥重要作用。Zhao 等^[8]提出了一个基于 DL 的多参数磁共振成像(mpMRI)全自动淋巴结检测与分割模型,该模型对于自动分割淋巴结并对其进行评估具有巨大潜力。淋巴瘤是起源于淋巴系统的恶性肿瘤,是由于淋巴细胞病变造成的。主要表现为无痛性淋巴结肿大、发热、盗汗等症状。为实现淋巴瘤患者 PET/CT 中受累淋巴结的自动分割,张璐等^[9]提出了双路全卷积神经网络——W-net,该方法对淋巴结具有更好的分割能力。

DL 在医学图像分割领域的应用还有很多。赵飞等^[10]利用 CNN 对心脏 CT 图像的感兴趣区域进行分割,该方法更有利于医生对患者心脏健康状况的判断和对病变部位的观察;由于肩关节 MRI 中骨结构的精确分割对骨损伤的诊治十分重要,刘云鹏等^[11]应用 U-net 和 Alex Net 对骨结构进行自动分割;此外,冉昭等^[12]利用 U-net 模型对直肠肿瘤 MRI 进行全自动分割,该模型能够准确勾画肿瘤边界。

2 DL 在医学图像分类与识别中的应用

如今,视功能损害眼病的发生会严重降低人们的生活质量,因此,及时发现和治疗微动脉瘤是预防糖尿病视网膜病变等视功能损害眼病发展的关键步骤。Dai 等^[13]提出一个 CNN 模型,其利用临床报告中的少量监督信息,通过特征空间中的图像来识别潜在的微动脉瘤区域,该框架的准确率为 99.7%,具有一定的优越性。在对成人糖尿病患者视网膜底

图像的评估中,Gulshan 等^[14]应用 DL 创建了用于自动检测视网膜底照片中糖尿病性视网膜病变和糖尿病性黄斑水肿的算法,该算法对检测糖尿病性视网膜病变具有较高的灵敏度和特异性。Ohsugi 等^[15]将 CNN 应用于超宽视场眼底影像来侦测孔源性视网膜脱离,提高了偏远地区眼科门诊的医疗水平。

肝癌是全世界癌症相关死亡的第二大原因,人肝细胞癌(human hepatocellular carcinoma,HCC)是最常见的原发性肝癌。快速、可靠地检测和诊断 HCC 可使这些患者更早开始治疗并获得更好的疗效。有研究者提出了基于 CNN,从 6 种常见肝脏病变类型中对具有典型影像学特征的病变进行了分类诊断^[16];Yasaka 等^[17]利用 CNN 的方法研究动态造影剂增强 CT 对肝脏肿块的鉴别诊断;茹仙古丽等^[18]通过改进 CNN Inception V3 模型对肝脏组织切片图像进行分类,分类效果较好。

肺癌是最常见的癌症死亡原因,肺癌筛查对降低肺癌死亡率具有重要意义。Ardila 等^[19]使用 DCNN 来学习特征,对肺癌进行筛查,结果优于 6 位放射科医生;Ciampi 等^[20]提出一种基于多尺度卷积网络的 DL 系统,该系统能自动对所有肺结节进行分类;Jiang 等^[21]设计了一个四通道 CNN 模型,能够有效提高肺结节的检测性能,大大降低在大量图像数据下的误报率;Coudray 等^[22]训练了一个 CNN 模型,能够准确和自动地对腺癌、鳞状细胞癌或正常肺组织进行多分类诊断,从而提高了精准药物使用范围和性能。肺纤维化是肺部疾病的终末期改变,能导致肺功能进行性丧失。有研究人员应用 CNN 检测慢性阻塞性肺疾病,并预测吸烟者的急性呼吸道疾病和死亡率,在肺纤维化疾病的诊断中起重要作用^[23];Walsh 等^[24]开发了一种 DL 算法,该算法可在高分辨率 CT 上提供纤维性肺病的自动分类,不仅成本低、可重复,而且准确性高。

DL 所涉及的医学图像识别领域众多,其在医学方面产生着巨大影响。Nardelli 等^[25]提出利用三维卷积神经网络将胸部 CT 图像中的血管分为动脉和静脉,整体准确度达 94%;Zreik 等^[26]应用 CNN 以自动识别功能性冠状动脉狭窄患者;Han 等^[27]应用 CNN 学习算法对 12 种皮肤疾病的临床图像进行分类,诊断敏感性得到提高;CNN 在鉴别角质形成细胞癌与良性脂溢性角化病,恶性黑色素瘤与良性痣这两项任务上均达到了与所有测试过的专家相同的

性能,表明其能对皮肤癌进行分类,具有与皮肤科医生相当的能力^[28];研究人员通过使用大脑的 18F-氟脱氧葡萄糖 PET,开发了用于早期预测阿尔茨海默病的 DL 算法,该模型具有 100% 敏感性、82% 的特异性^[29];Peng 等^[30]基于 CNN 方法对晚期鼻咽癌的个体诱导化疗价值进行评估,可作为预测晚期鼻咽癌预后的有力工具;Jeyaraj 等^[31]通过研究患者的高光谱图像,提出的 CNN 算法提高了口腔医学诊断的复杂医学图像的诊断质量;Lee 等^[32]将 CNN 用于甲状腺癌淋巴结转移的 CT 诊断,能在术前对甲状腺癌患者的颈淋巴结转移进行准确分类;Gandomkar 等^[33]利用深度残差网络对乳腺组织病理图像进行多类别诊断;Bien 等^[34]利用 CNN 对膝关节 MRI 检查的临床病理进行分类。

3 小结

DL 的最新进展为医学图像自动分割与分析提供了新的思路,使人们能够从数据中发现图像中的形态或纹理模式,已经在不同的医学领域中取得了重大进步。但是,由于 DL 模型的黑盒状特征,直观地理解和解释所学习的模型仍然是一个需要解决的难题。对医学图像采用 DL 法进行智能化分割诊断,具有广阔的应用空间和前景。

参考文献

- [1] 吴扬. 基于深度学习的医学图像研究综述[J]. 电脑知识与技术,2020,16(19):174-176.
Wu Y. A review of medical image research based on deep learning[J]. Computer Knowledge and Technology, 2020, 16(19):174-176.
- [2] Havaei M, Davy A, Warde-Farley D, et al. Brain tumor segmentation with deep neural networks[J]. Medical Image Analysis, 2017, 35:18-31.
- [3] 毛雷. 基于深度卷积网络的 MRI 图像脑肿瘤自动分割研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2018.
Mao L. A study on automatic segmentation of brain tumor using deep convolution network in MRI images[D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2018.
- [4] Men K, Zhang T, Chen X, et al. Fully automatic and robust segmentation of the clinical target volume for radiotherapy of breast cancer using big data and deep learning[J]. Physica Medica, 2018, 50:13-19.
- [5] 马伟,刘鸿利,孙明建,等. 新型乳腺磁共振增强图像肿瘤区域的自动分割模型[J]. 中国生物医学工程学报,2019,38(1):28-34.

- Ma W, Liu HL, Sun MJ, et al. A novel automated tumor segmentation model for enhanced breast MRI [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2019, 38(1): 28-34.
- [6] Ahn SH, Yeo AU, Kim KH, et al. Comparative clinical evaluation of atlas and deep-learning-based auto-segmentation of organ structures in liver cancer [J]. Radiation Oncology, 2019, 14(1): 213.
- [7] 黄赛. 基于深度学习的MR图像肝脏肿瘤自动化分割方法的研究[D]. 南京: 南京大学, 2018.
- Huang S. Study on automatic segmentation of liver tumor based on of MR images [D]. Nanjing: Nanjing University, 2018.
- [8] Zhao X, Xie P, Wang M, et al. Deep learning-based fully automated detection and segmentation of lymph nodes on multiparametric-mri for rectal cancer: a multicentre study [J]. EBioMedicine, 2020, 56: 102780.
- [9] 张璐. 基于深度学习的淋巴结自动分割算法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- Zhang L. Research on automatic segmentation algorithm of lymph nodes based on deep learning [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [10] 赵飞, 刘杰. 基于卷积神经网络和图像显著性的心脏CT图像分割[J]. 北京生物医学工程, 2020, 39(1): 48-55.
- Zhao F, Liu J. Cardiac CT image segmentation based on convolutional neural network and image saliency [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2020, 39(1): 48-55.
- [11] 刘云鹏, 蔡文立, 洪国斌, 等. 应用图像块和全卷积神经网络的肩关节MRI自动分割[J]. 中国图象图形学报, 2018, 23(10): 1558-1570.
- Liu YP, Cai WL, Hong GB, et al. Automatic segmentation of shoulder joint in MRI by using patch-wise and full-image fully convolutional networks [J]. Journal of Image and Graphics, 2018, 23(10): 1558-1570.
- [12] 冉昭, 简俊明, 王蒙蒙, 等. 基于全卷积神经网络的直肠肿瘤磁共振影像自动分割方法[J]. 北京生物医学工程, 2019, 38(5): 465-471.
- Ran Z, Jian JM, Wang MM, et al. Automatic segmentation method based on full convolution neural network for rectal cancer tumors in magnetic resonance image [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2019, 38(5): 465-471.
- [13] Dai L, Fang R, Li H, et al. Clinical report guided retinal microaneurysm detection with multi-sieving deep learning [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2018, 37(5): 1149-1161.
- [14] Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs [J]. JAMA, 2016, 316(22): 2402-2410.
- [15] Ohsugi H, Tabuchi H, Enno H, et al. Accuracy of deep learning, a machine-learning technology, using ultra-wide-field fundus ophthalmoscopy for detecting rhegmatogenous retinal detachment [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 9425.
- [16] Hamm CA, Wang CJ, Savic LJ, et al. Deep learning for liver tumor diagnosis part I: development of a convolutional neural network classifier for multi-phasic MRI [J]. European Radiology, 2019, 29(7): 3338-3347.
- [17] Yasaka K, Akai H, Abe O, et al. Deep learning with convolutional neural network for differentiation of liver masses at dynamic contrast-enhanced CT: a preliminary study [J]. Radiology, 2018, 286(3): 887-896.
- [18] 茹仙古丽·艾尔西丁, 艾尔潘江·库德来提, 严传波, 等. 卷积神经网络在肝癌病理切片图像分类中的应用[J]. 北京生物医学工程, 2020, 39(1): 29-33.
- Roxangul A, Arpanjan K, Yan CB, et al. Application of convolutional neural network in image classification of liver cancer pathological section [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2020, 39(1): 29-33.
- [19] Ardila D, Kiraly AP, Bharadwaj S, et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography [J]. Nature Medicine, 2019, 25(6): 954-961.
- [20] Ciompi F, Chung K, van Riel SJ, et al. Towards automatic pulmonary nodule management in lung cancer screening with deep learning [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 46479.
- [21] Jiang H, Ma H, Qian W, et al. An automatic detection system of lung nodule based on multigroup patch-based deep learning network [J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2018, 22(4): 1227-1237.
- [22] Coudray N, Ocampo PS, Sakellaropoulos T, et al. Classification and mutation prediction from non-small cell lung cancer histopathology images using deep learning [J]. Nature Medicine, 2018, 24(10): 1559-1567.
- [23] González G, Ash SY, Vegas-Sánchez-Ferrero G, et al. Disease staging and prognosis in smokers using deep learning in chest computed tomography [J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2018, 197(2): 193-203.
- [24] Walsh SLF, Calandriello L, Silva M, et al. Deep learning for classifying fibrotic lung disease on high-resolution computed tomography: a case-cohort study [J]. The Lancet Respiratory Medicine, 2018, 6(11): 837-845.
- [25] Nardelli P, Jimenez-Carretero D, Bermejo-Pelaez D, et al. Pulmonary artery-vein classification in CT images using deep learning [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2018, 37(11): 2428-2440.
- [26] Zreik M, Lessmann N, van Hamersvelt RW, et al. Deep learning analysis of the myocardium in coronary CT angiography for identification of patients with functionally significant coronary artery stenosis [J]. Medical Image Analysis, 2018, 44: 72-85.
- [27] Han SS, Kim MS, Lim W, et al. Classification of the clinical images for benign and malignant cutaneous tumors using a deep learning algorithm [J]. Journal of Investigative Dermatology,

- 2018,138(7):1529-1538.
- [28] Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks [J]. *Nature*, 2017, 542(7639):115-118.
- [29] Ding Y, Sohn JH, Kawczynski MG, et al. A deep learning model to predict a diagnosis of Alzheimer disease by using ^{18}F -FDG PET of the brain [J]. *Radiology*, 2019, 290(2):456-464.
- [30] Peng H, Dong D, Fang MJ, et al. Prognostic value of deep learning PET/CT-based radiomics: potential role for future individual induction chemotherapy in advanced nasopharyngeal carcinoma [J]. *Clinical Cancer Research*, 2019, 25(14):4271-4279.
- [31] Jeyaraj PR, Nadar ERS. Computer-assisted medical image classification for early diagnosis of oral cancer employing deep learning algorithm [J]. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 2019, 145(4):829-837.
- [32] Lee JH, Ha EJ, Kim JH. Application of deep learning to the diagnosis of cervical lymph node metastasis from thyroid cancer with CT [J]. *European Radiology*, 2019, 29(10):5452-5457.
- [33] Gandomkar Z, Brennan PC, Mello-Thoms C. MuDeRN: multi-category classification of breast histopathological image using deep residual networks [J]. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2018, 88:14-24.
- [34] Bien N, Rajpurkar P, Ball RL, et al. Deep-learning-assisted diagnosis for knee magnetic resonance imaging: development and retrospective validation of MRNet [J]. *PLoS Medicine*, 2018, 15(11):e1002699.
- (2020-07-02 收稿, 2020-11-06 修回)

(上接第 159 页)

- [25] Huang Y, Evans D, Katz J, et al. Faster secure two-party computation using garbled circuits [C]//Proceedings of the 20th USENIX conference on Security. Berkeley, CA: USENIX Association, 2011:35-51.
- [26] Pinkas B, Schneider T, Smart NP, et al. Secure two-party computation is practical [M]//Advances in Cryptology-ASIACRYPT 2009. Lecture Notes in Computer Science. Tokyo, Japan; Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, 5912:250-267.
- [27] 王阳阳, 郑西川. 基于规则和机器学习的中文电子病历患者隐私保护算法 [J]. *北京生物医学工程*, 2019, 38(5):492-497.
- Wang YY, Zheng XC. Patients privacy preserving algorithm of Chinese electronic medical record based on rule and machine learning [J]. *Beijing Biomedical Engineering*, 2019, 38(5):492-497.
- [28] 蒋贤海, 谢存禧. 远程健康监护系统监护信息预报方法 [J]. *北京生物医学工程*, 2013, 32(4):387-391.
- Jiang XH, Xie CX. Predicting method of monitoring information in telemonitoring system [J]. *Beijing Biomedical Engineering*, 2013, 32(4):387-391.
- [29] Chen H, Chillotti I, Song Y. Multi-key homomorphic encryption from TFHE [M]//Advances in cryptology-ASIACRYPT, 2019. Lecture Notes in Computer Science. Switzerland; Springer, Cham, 2019, 11922:446-472.
- (2020-06-29 收稿, 2021-01-06 修回)