



· 专家述评 ·



王 茵，同济大学附属上海市肺科医院超声科主任，副主任医师、副教授、博士研究生导师。担任中国医疗保健国际交流促进会结核病防治分会第二届委员、超声学组副组长，中国医师协会介入医师分会超声介入青委会委员，中国超声医学工程学会急重症超声专委会委员，中国医学装备协会超声装备技术分会第二届委员等多个学术组织任职。承担及参与多项国家及省部级科研项目。以第一作者和通讯作者发表SCI及中文核心期刊论文40余篇。参编专著多部。任《第二军医大学学报》特约编委，《中华航海医学与高气压医学杂志》等期刊审稿专家。主要研究方向：超声技术在肺部疾病诊疗中的应用，包括肺结核及肺外结核的超声诊断、周围型肺肿瘤良恶性超声鉴别，以及介入超声在肺疾病诊疗中的应用等。

计算机辅助诊断技术在超声医学中的应用进展

毕 珂^{1,2}，王 茵¹

1. 同济大学附属上海市肺科医院超声科，上海 200433；
2. 同济大学附属同济医院病理科，上海 200065

[摘要] 计算机辅助诊断 (computer aided diagnosis, CAD) 在超声医学中的应用已有多年历史，在乳腺、甲状腺、颈动脉和肝脏等领域已有较好的应用成果。近年来，随着深度学习的提出，以其为核心的超声图像分类和分割研究也逐渐兴起。本文对传统超声CAD技术、应用深度学习的新型超声CAD技术及其最新应用进行评述。

[关键词] 超声；计算机辅助诊断技术；人工智能

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2019.05.002

中图分类号: R445.1 文献标志码: A 文章编号: 2096-6210(2019)05-0296-05

Advances in the application of computer aided diagnosis in ultrasound medicine BI Ke, WANG Yin (1. Department of Ultrasound, Shanghai Pulmonary Hospital, Tongji University, Shanghai 200433, China; 2. Department of Pathology, Tongji Hospital, Tongji University, Shanghai 200065, China)

Correspondence to: WANG Yin E-mail: lpbb@aliyun.com

[Abstract] Computer aided diagnosis (CAD) has been used in ultrasound medicine for many years, and has achieved good results in breast, thyroid, carotid artery, liver and many other fields. In recent years, with the emergence of deep learning, the research of ultrasound image classification and segmentation based on it has gradually emerged. This paper introduced the main features of the traditional ultrasonic CAD technology and the new ultrasonic CAD technology applying deep learning, and reviewed the latest applications.

[Key words] Ultrasound; Computer aided diagnosis; Artificial intelligence

超声作为医学实践中常用的影像学技术之一，一直被应用于临床一线，尤其是在甲状腺、乳腺、心血管和妇产等领域具有独特的优势。与

其他影像学方法相比，超声具有实时成像、无创伤和无电离辐射的优点。但是在医师能够正确解读超声图像之前，需要经过大量的培训，且学习

基金项目：上海市科学技术委员会2018年度医学引导类（中、西医）科技支撑项目（18411966700）；

上海市科学技术委员会2019年度“科技创新行动计划”技术标准项目。

通信作者：王 茵 E-mail: lpbb@aliyun.com

周期长、学习难度大,不同操作者对图像的解读具有差异性。

计算机辅助诊断(computer aided diagnosis, CAD)在超声中的应用应运而生。早在20世纪60年代,就已有计算机数字图像分析的报道^[1],而近年来兴起的深度学习技术正在加速CAD的推广和应用。

1 传统超声CAD技术

传统CAD技术需要人工进行特征提取,然后将特征向量化后进行机器学习^[2]。这种训练方法易于理解,因为其结果是依据输入的特征运算的,可以有效提高训练的效率和准确率,降低运算的复杂度,但该方法的局限性也十分明显,对大量数据的特征提取需要的人力成本较高,且可能出现人为偏倚,另外还存在一些潜在的特征不能被机器主动发现的问题^[3]。

超声图像中的常见特征有形态、纹理、反向散射回波和特征描述符等^[4]。

1.1 形态

形态特征的范围较广,是超声图像人工解读的通用特征,其中最常见的是纵横比和边缘光整度。

1.1.1 纵横比

纵横比是肿瘤良恶性分类中的重要指标。恶性病灶由于其侵袭性和对营养的掠夺性,呈纵向生长,纵横比多 >1 ,而良性病灶多呈横向的膨胀性生长,纵横比 <1 ^[5-8]。

1.1.2 边缘光整度

边缘光整度反映病灶与周围组织的关系,恶性病灶多无包膜或包膜不完整,与周围组织分界模糊,边缘不光整,而良性病灶通常拥有完整的包膜结构,边缘光整度高。这一特征可以被量化并纳入CAD的计算过程中^[9]。

1.2 纹理

纹理是影像学CAD中常用的特征之一,它将人眼观察到的图像经过运算而量化^[10],反映其中呈规律性变化的排列特征,不断重复的、局部一致的、随机出现的图像灰度分布特点可以被用于对图像内容的区分^[11-13]。该特征具有良好的抗噪能力,被广泛用于对各种图像的认识和场景

的分类,但其只注重局部特征的分析 and 提取,不能兼顾整体图像特征,且该方法是对排列特征的描述,不能反映图像中物体的本质属性。

常用的纹理分析方法有统计法、结构法和频谱法。

1.2.1 统计法

统计法利用像素的灰阶和相对位置建立“灰阶共生矩阵”,计算反映图像均匀性的“二阶矩”、反映随机性的“熵”、反映相邻像素差异的“对比度”,进而对比不同类图像的差异^[14]。该方法最易被理解和接受,技术难度较低。

1.2.2 结构法

结构法将图像中复杂的纹理结构视为一些简单纹理单元的有序排列,确定了纹理单元和排列方法就可以轻松地将图像量化,从而进行统计对比^[15]。

1.2.3 频谱法

常用的获取图像频谱的方法为“傅里叶变换”和“盖伯变换”。若频谱中出现明显的峰值,即对应一个明显的纹理,其强度、方向和周期性可作为图像识别的分类指标;另外,除去峰值的非周期性信息也可以被利用。

具有“数字显微镜”之称的小波变换是另一种常用的方法,这种方法更适用于处理自然科学领域中的非平稳信号^[16]。小波指的是一种能量在很短的时间内非常集中的波,它能量很小,以某一点为中心波动,可以是不规则或不对称的,但各方向的积分最终为零。按行和列可以对图像进行反复多次的小波分解和重构,这一过程可以不断突出其中最具有代表性的波,从而达到滤过杂波获得小波特征的效果。

1.3 反向散射回波

超声成像是依据超声波的反射实现的,除此之外,散射、折射也会形成独特的图像特征。学者们依据不同组织的反向散射回波特征建立多种模型,再将模型应用于图像的分析中,对比模型参数进行组织类型的分类。其中Nakagami模型和K分布模型已经在超声CAD中得到了广泛的应用^[17-18]。

1.4 特征描述符

特征描述符这类特征是根据诊断经验人为规定的,是特定病种诊断中医师关注的特点,例如乳腺影像报告和数据系统(Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS)和甲状腺影像报告和数据系统(Thyroid Imaging Reporting and Data System, TI-RADS)中提及的形状、内部回声、后方回声变化及钙化等^[19]。

2 应用深度学习的新型超声CAD技术

1943年,McCulloch和Pitts^[20]最早提出了人工神经网络、人工神经元的概念和模型。经过半个多世纪的发展与完善,2006年Hinton等^[21]的深度学习网络突破诸多瓶颈,实现了强大的特征学习能力。

深度学习是将普通的事物特征抽象化(将低级别特征转化为高级别特征),从而实现了对特征进行描述、识别和分类的一种机器学习技术。深度学习无监督的学习方式、特征数据较强的代表性,都极大地推动了它在图像识别、语义分析和疾病诊断等多个领域的发展。

与传统CAD不同的是,深度学习可以不依据人工提取的特征进行后续的图像处理。有学者^[22]指出,深度神经网络提取的特征有时比人类设计的特征更有效。大量超声CAD模型的成果构建和优秀的诊断能力也证明了这一点。

2.1 超声CAD在乳腺、甲状腺病变诊断中的应用

超声是乳腺、甲状腺等浅表器官最常用的影像学诊断方法,高分辨率的图像、多模式的成像方法、便捷的操作性能使超声成为一线诊断方法。超声方面的CAD技术开发的也较早,基于BI-RADS、TI-RADS特征描述符的传统卷积神经网络分类^[6-8]和新型的栈式深度多项式网络集成学习框架^[23]均有应用报道,其准确率可达到90.90%~97.50%^[23-24]。

2.2 超声CAD在颈动脉病变诊断中的应用

颈动脉是超声检测动脉硬化程度最常用的区域,其内中膜厚度是重要的指标。为了更快速、准确地获知其厚度,有学者应用深度学习中的自动编码器算法进行图像分割,从而实时

获取精准的内中膜厚度数据,误差仅为 $(5.79 \pm 34.42) \mu\text{m}$ ^[25]。另外,卷积神经网络模型对斑块的脂质核心、纤维帽、钙化灶的检测与临床评估具有90%的相关性^[26]。

2.3 超声CAD在肝脏疾病诊断中的应用

超声诊断的肝脏疾病包括弥漫性和局限性病变。肝纤维化作为弥漫性疾病的代表一直备受关注,Meng等^[27]利用深度卷积神经网络(VGGNet和FCNet)将纤维化程度分为正常、早期和晚期三级,获得了93.90%的准确率。Liu等^[28]将弹性成像等量化数据加入分类特征中,将诊断准确率提高到了96.80%。

2.4 超声CAD在其他疾病诊断中的应用

除了上述成果之外,更多领域的超声CAD应用结果也逐渐被报道。Hetherington等^[29]将超声CAD应用于椎间位置的检测,从而辅助麻醉进针位置的选取;Burlina等^[30]对肌炎、皮肌炎的超声图像CAD技术进行了研究,获得了76.2%的分类准确率;Yu等^[31]将超声CAD技术用在胎儿标准平面的分析中,得到了比传统方法高的准确率(93.03%)。还有更多的应用范围和技术手段正在探索和应用中。

3 小 结

本研究总结并分析了超声CAD技术国内外的相关文献,分别介绍了CAD的原理和其在超声医学中的应用现状。

对于传统CAD技术而言,特征的人工提取对最终的性能影响最大。其中,纹理特征是最早采用的一种特征,但由于该特征很难被人眼直接解读,需要通过软件转换,因此很难被接受和推广。而形态特征因其直观性被逐渐应用,该特征可以将现有经验和诊断指南纳入运算,再结合其他的特征描述符进一步提高诊断性能。但传统CAD技术的局限性也很突出,大量的人力成本和自主探索能力的不足使其难以跟上现代医学快速发展的步伐。

随着深度学习技术的发展,新型CAD技术实现了利用深度学习网络自主探索和提取特征,并且只需人工进行简单的修正和校对即可完成大批量的工作。新型CAD技术极大地提高了学习效

率,并实现了对人类未知领域的探索。但该技术仍有不足,类似黑匣子的深度学习网络很难用人类语言解读,给人工干预造成了极大的困难。

目前,超声CAD的相关研究十分丰富,从浅表器官到深部脏器,图像识别到功能探索都已有相关报道,并获得了较好的研究成果。但这些研究都存在着标准不统一、数据样本较小等不足。

综上所述,超声CAD技术的发展十分迅速,将会是未来超声医学重要的趋势之一。随着技术的不断更新发展,多维度、多模式、多参数的影像学CAD系统日益强大,将极大地改善现有的临床工作流程,有望达到医学工学相结合、人脑电脑相融合的更高境界。

参 考 文 献

- [1] MENDELSON M L, KOLMAN W A, PERRY B, et al. Morphological analysis of cells and chromosomes by digital computer [J] . *Methods Inf Med*, 1965, 4(4): 163-167.
- [2] RAVINDRAIAH R, TEJASWINI K. A survey of image segmentation algorithms based on fuzzy clustering [J] . *IJCSCMC*, 2013, 2(7): 200-206.
- [3] LEE S, LO C, WANG C, et al. A computer-aided design mammography screening system for detection and classification of microcalcifications [J] . *Int J Med Inform*, 2000, 60(1): 29-57.
- [4] HUANG Q, ZHANG F, LI X. Machine learning in ultrasound computer-aided diagnostic systems: a survey [J] . *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 5137904.
- [5] HORSCH K, GIGER M L, VENTA L A, et al. Computerized diagnosis of breast lesions on ultrasound [J] . *Med Phys*, 2002, 29(2): 157-164.
- [6] SELLAMI L, BEN SASSI O, CHTOUROU K, et al. Breast cancer ultrasound images' sequence exploration using BI-RADS features' extraction: towards an advanced clinical aided tool for precise lesion characterization [J] . *IEEE Trans Nanobioscience*, 2015, 14(7): 740-745.
- [7] HAN S, KANG H K, JEONG J Y, et al. A deep learning framework for supporting the classification of breast lesions in ultrasound images [J] . *Phys Med Biol*, 2017, 62(19): 7714-7728.
- [8] CHI J, WALIA E, BABYN P, et al. Thyroid nodule classification in ultrasound images by fine-tuning deep convolutional neural network [J] . *J Digit Imaging*, 2017, 30(4): 477-486.
- [9] JOO S, YANG Y S, MOON W K, et al. Computer-aided diagnosis of solid breast nodules: use of an artificial neural network based on multiple sonographic features [J] . *IEEE Trans Med Imaging*, 2004, 23(10): 1292-1300.
- [10] SOH L K, TSATSOU LIS C. Texture analysis of SAR sea ice imagery using gray level co-occurrence matrices [J] . *IEEE T GEOSCI REMOTE*, 1999, 37(2): 780-795.
- [11] GOMEZ W, PEREIRA W C, INFANTOSI A F. Analysis of co-occurrence texture statistics as a function of gray-level quantization for classifying breast ultrasound [J] . *IEEE Trans Med Imaging*, 2012, 31(10): 1889-1899.
- [12] ZHANG Q, LI C, HAN H, et al. Spatio-temporal quantification of carotid plaque neovascularization on contrast enhanced ultrasound: correlation with visual grading and histopathology [J] . *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2015, 50(3): 289-296.
- [13] ABDEL-NASSER M, MELENDEZ J, MORENO A, et al. Breast tumor classification in ultrasound images using texture analysis and super-resolution methods [J] . *Eng Appl Artif Intell*, 2017, 59: 84-92.
- [14] 黄志杰. 基于血管内超声图像的动脉粥样硬化斑块组织区域的识别方法的研究 [D] . 广州: 南方医科大学, 2018.
- [15] 郭永华, 肖保军, 曹红书. 胎儿小脑蚓部不同超声纹理特征与胎儿畸形的关系 [J] . *临床超声医学杂志*, 2019, 21(2): 157-158.
- [16] ANTONINI M, BARLAUD M, MATHIEU P. Image coding using wavelet transform [J] . *IEEE Trans Image Process*, 1992, 1(2): 205-220.
- [17] SHANKAR P M, DUMANE V A, REID J M, et al. Classification of ultrasonic B-mode images of breast masses using Nakagami distribution [J] . *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*, 2001, 48(2): 569-580.
- [18] TAKEMURA A, SHIMIZU A, HAMAMOTO K. Discrimination of breast tumors in ultrasonic images using an ensemble classifier based on the AdaBoost algorithm with feature selection [J] . *IEEE Trans Med Imaging*, 2010, 29(3): 598-609.
- [19] COSTANTINI M, BELLI P, LOMBARDI R, et al. Characterization of solid breast masses: use of the sonographic breast imaging reporting and data system lexicon [J] . *J Ultrasound Med*, 2006, 25(5): 649-659, quiz 661.
- [20] MCCULLOCH WS, PITTS W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. 1943 [J] . *Bull Math Biol*, 1990, 52(1-2): 99-115, discussion 73-97.
- [21] HINTON G E, SALAKHUTDINOV R R. Reducing the dimensionality of data with neural networks [J] . *Science*, 2006, 313(5786): 504-507.
- [22] HOSNY A, PARMAR C, QUACKENBUSH J, et al. Artificial intelligence in radiology [J] . *Nat Rev Cancer*, 2018, 18(8): 500-510.
- [23] SHI J, ZHOU S, XIAO L, et al. Stacked deep polynomial network based representation learning for tumor classification with small ultrasound image dataset [J] . *Neurocomputing*, 2016, 194(C): 87-94.
- [24] LIU T, GUO Q, LIAN C, et al. Automated detection and classification of thyroid nodules in ultrasound images using clinical-knowledge-guided convolutional neural networks [J] . *Med Image Anal*, 2019, 58: 101555.

- [25] MENCHÓN-LARA R M, SANCHO-GÓMEZ J L, BUENO-CRESPO A. Early-stage atherosclerosis detection using deep learning over carotid ultrasound images [J] . Applied Soft Computing, 2016, 16(49): 616-628.
- [26] LEKADIR K, GALIMZIANOVA A, BETRIU A, et al. A convolutional neural network for automatic characterization of plaque composition in carotid ultrasound [J] . IEEE J Biomed Health Inform, 2017, 21(1): 48-55
- [27] MENG DAN, ZHANG L, CAO G, et al. Liver fibrosis classification based on transfer learning and FCNet for ultrasound images [J] . IEEE Access, 2017, 5(99): 5804-5810.
- [28] LIU X, SONG J L, WANG S H, et al. Learning to diagnose cirrhosis with liver capsule guided ultrasound image classification [J] . Sensors (Basel), 2017,17(1): E149.
- [29] HETHERINGTON J, LESSOWAY V, GUNKA V, et al. SLIDE: automatic spine level identification system using a deep convolutional neural network [J] . Int J Comput Assist Radiol Surg, 2017, 12(7): 1189-1198.
- [30] BURLINA P, BILLINGS S, JOSHI N, et al. Automated diagnosis of myositis from muscle ultrasound: exploring the use of machine learning and deep learning methods [J] . PLoS One, 2017, 12(8): e0184059.
- [31] YU Z, TAN E L, NI D, et al. A deep convolutional neural network-based framework for automatic fetal facial standard plane recognition [J] . IEEE J Biomed Health Inform, 2018, 22(3): 874-885.

(收稿日期: 2019-09-05 修回日期: 2019-09-29)

《肿瘤影像学》2019年征订启事

《肿瘤影像学》自1992年创刊以来深受医学界欢迎, 1998年经中华人民共和国科学技术部、国家新闻出版署批准为国内外公开正式发行的期刊, 刊号: ISSN 2096-6210, CN31-2087/R。杂志采用优质铜版纸印制, A4开本, 64页/期, 双月刊。被中国学术期刊综合评价数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊全文数据库等收录, 是中国科技核心期刊。主要报道医学影像领域科研成果、临床应用、综述、病例报告、讲座及与理工结合的有关论文等。

《肿瘤影像学》坚持学术性与科学性, 信息量大, 具有临床实用价值。是医院图书馆、影像科室及高等医药院校收存和使用的学术刊物, 是临床医学影像专业医务人员晋升中、高级职称的重要论文发表园地。欢迎各医学院校、医学图书馆、影像科室及个人向当地邮局订阅。

本刊季末出版, 邮发代号4-653, 定价每期15元, 每年共90元整。

单位全称: 《肿瘤影像学》编辑部

通讯地址: 上海市东安路270号复旦大学附属肿瘤医院

邮 编: 200032

电 话: (021)64188274

E - m a i l : imaging109@163.com

网 址 : www.zhongliuyingxiangxue.com

《肿瘤影像学》编辑部