

光学相干层析医学图像分割研究现状

徐效文, 杨志刚

中南大学地球科学与信息物理学院生物医学工程系, 湖南 长沙 410083

【摘要】总结光学相干层析(OCT)医学图像的分割要求,对具有代表性的OCT医学图像分割方法进行详细论述,最后对OCT医学图像分割方法的发展趋势做出展望。代表性的OCT医学图像分割方法主要包括阈值分割方法、区域生长法、基于统计学的方法、基于活动轮廓的方法、基于图论的方法和形态学的方法等。综合利用多种医学图像信息,有效结合多种分割方法,注重提高方法的实时性、鲁棒性、精确性和自动化,将是OCT医学图像分割发展的重要趋势。

【关键词】光学相干层析成像;医学图像;分割;医学图像特征;综述

【中图分类号】TP391.41

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)07-0697-03

Methods for optical coherence tomography medical image segmentation

XU Xiao-wen, YANG Zhi-gang

Department of Biomedical Engineering, School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract: The requirements of optical coherence tomography (OCT) medical image segmentation are summarized in the paper, presenting a detailed review of the typical methods for OCT medical image segmentation and describing the prospect of the future research on the method for OCT medical image segmentation. The typical methods for OCT medical image segmentation mainly includes threshold segmentation method, region growing method, statistical method, deformable method, graph cut method, mathematical morphology and so on. Comprehensively utilizing the multiple medical image information, effectively combining various segmentation methods, and focusing on the improvement of the real-time performance, robustness, accuracy and automation of the method are the important development trends of OCT medical image segmentation.

Key words: optical coherence tomography; medical image; segmentation; medical image characteristic; review

前言

光学相干层析(OCT)技术具有分辨率高、成像快速等特点,自问世以来已被广泛地应用于眼科疾病、牙科疾病、皮肤烧伤及心血管疾病的诊断中^[1]。近年来,随着OCT成像技术和设备的发展日益成熟,越来越多的研究者集中于探索更加高效、稳定、通用的OCT医学图像分割方法^[2]。本文总结OCT医学图像的分割要求,并回顾和分析了近年来一些典型分割方法,最后对OCT医学图像分割方法的发展趋势做出展望。

1 OCT医学图像分割要求

【收稿日期】2016-03-09

【基金项目】国家自然科学基金(21105127)

【作者简介】徐效文,男,博士,副教授,硕士生导师, E-mail: xuxiaowen@csu.edu.cn

OCT医学图像分割是分离和提取具有相同特征的感兴趣区域的技术。由于人体解剖组织结构和形状比较复杂以及受散斑、高斯等各种噪声的影响,OCT医学图像具有模糊和不均匀的特点。此外,OCT成像速度快。所以,针对OCT医学图像的分割不仅需要精确度高,还需要具有很高的抗噪性和实时性。现有的分割方法并不能精确地完成OCT医学图像的分割,很多重要的图像特征都需要医生手动分割来获取,在临床上很难得到推广。因此,研究出高效、鲁棒的自动化分割方法对OCT图像的临床应用具有重大意义。

2 OCT医学图像分割方法概述

2.1 阈值分割方法

阈值分割法的基本思想是将图像中所有像素的灰度值以阈值为分界点划分为不同区域。根据所有像素点采用相同阈值还是不同阈值可以划分为全局

阈值法和动态阈值法。由于OCT医学图像常常存在散斑噪声多和整体对比度不均匀等特征,所以OCT医学图像的分割常常采用动态阈值分割方法。文献[3]基于修改直方图的眼前节OCT图像提出了动态阈值保边去噪分割算法。该算法通过重构后直方图的一阶和二阶差分确定了感兴趣区域识别阈值和噪声阈值,然后使用这两个阈值对图像进行动态阈值分割。分割后的图像虽然含有一点散斑噪声,但是眼前节的边缘部分被很好地保留了下来。同一课题组在文献[4]中,通过二维离散小波变换对眼前节OCT图像进行分解,然后在低频系数中选择感兴趣区域识别阈值和噪声阈值,同样获得了较好的结果。今后,可以引入遗传算法、神经网络等理论来改进阈值的选择方法。

2.2 区域生长法

区域生长法是通过在感兴趣区域内选取种子点,然后根据特定生长准则将相似性质的像素点合并到种子点区域内,当达到生长终止条件后,即完成图像分割。该方法对噪声十分敏感,所以,并不适用于分割散斑噪声严重的OCT医学图像。但通过与其他方法相结合,则可避开缺点,充分发挥优点。文献[5]通过采用标记分水岭算法对图像进行初步分割,然后利用不同区域的特征值进行最优合并实现了视网膜OCT图像的分层。虽然该算法对于平滑部分取得了良好的分割结果,但对于病变区域部分还需要进一步改进。

2.3 基于统计学方法

统计学的分割方法是指把图像的像素灰度值看作符合某一概率分布的随机变量,图像的分割过程可以看作是求取概率极值的过程。常用的统计学方法有分类器和聚类算法。

分类器是一种需要训练样本的有监督统计方法,根据训练样本对图像的像素进行分类。传统的分类器不需要迭代运算,运算速度快。文献[6]利用边界像素对构造的随机森林分类器进行训练,可以有效地对黄斑中央的视网膜进行分层。但传统分类器对大样本的空间进行分类时容易产生误差,而且其泛化能力差。支持向量机可以看作是传统分类器的升级,它可以在模型的复杂度和学习能力之间寻求最佳折中,获得更好的泛化能力。一些学者通过利用手动标记的样本对其进行训练后,对青光眼和正常眼的视网膜都取得了很好的分割结果^[7]。

聚类分割算法是一种不需要训练样本的无监督统计方法,根据图像的某些特征,通过迭代计算图像不同区域的特征值,将图像划分成不同的子区域,同

一区域的相似度较大,不同区域间的相似度较小,从而达到图像分割的目的。目前常用的聚类算法包括K均值、模糊C均值、期望最大化算法。Tung等^[8]将期望最大化算法和图割理论相结合,精确、鲁棒地对血管壁进行了分割。文献[9]通过增强的模糊C均值算法对图像像素的平均值进行聚类,正确地对血管OCT图像进行了分割。之后,Chou等^[10]将该方法进行三维推广。此外,Mandelias等^[11]将模糊C均值与小波变换相结合正确地提取了血管内壁的边缘。

2.4 基于活动轮廓模型的方法

基于活动轮廓模型的分割方法是近年来研究较热的一种图像分割方法。该方法综合利用图像的区域和边界信息,根据图像中目标的位置、大小、形状等先验知识有效地对目标进行分割。主要分为两类:参数活动轮廓模型和几何活动轮廓模型。

参数活动轮廓模型的典型代表是Snake模型。该模型需要先在感兴趣区域的附近初始化一条可形变的轮廓线,然后构造包括轮廓线自身内力和图像信息外力的能量函数,当能量函数极小化时,轮廓线就会收敛到目标边界,完成对目标的分割。Snake模型的收敛效果受到目标形状的影响,比较狭长的目标会导致轮廓线收敛失败。针对该缺点,文献[12]提出在平行约束条件下同时演化两条轮廓线的参数活动轮廓模型能够有效地分割狭长的目标。

几何活动轮廓模型的基础理论是水平集方法和曲线演化理论,所以也被称为水平集方法。水平集方法的思想是把可形变的边界轮廓视作高一维水平集函数的零水平集,这样就把边界轮廓的演化过程转变为水平集函数的演化,最终只要确定了零水平集就可以确定边界轮廓的演化结果。水平集方法具有很强的处理拓扑变化的能力,能够将各种复杂的目标分割出来,非常适用于解剖组织结构和形状比较复杂的OCT医学图像。文献[13]利用基于形状信息的水平集分割模型自动地对角膜的前部和后部进行了分割。Carass等^[14]利用可分割多对象的水平集模型在其提出的平坦空间域内对视网膜黄斑区OCT图像进行了分割。

2.5 基于图论的分割方法

基于图论的分割技术也是近年来研究的一个热点,其基本思想是将图像映射为一个带权无向图,这样图像分割问题就转化为求解图的最优划分问题。文献[15]通过利用像素亮度、曲率和形状知识将待分割的眼前节OCT图像映射为一个带权无向图,然后基于图割理论提出快速和高效的分割方法。Yang等^[16]基于双梯度信息和最短路径搜索策略实现了视

网膜深层 OCT 图像的自动分割算法;徐肃仲等^[17]通过利用图论和基于动态规划的最短路径算法提出了一种新的视网膜层次自动分割算法;牛四杰等^[18]在传统的三维图搜索模型上引入多尺度思想,提出了应用多尺度三维图搜索的视网膜图像分割方法。

2.6 其他方法

除了上述几种常用的分割方法,还有很多有效的方法。如 Yousefi 等^[19]结合形状和灰度信息提出了一种混合的血管 OCT 图像分割方法。樊鲁杰等^[20]综合利用视网膜的边界方法、图像强度峰值等信息提出了一种 OCT 视网膜体数据的三维分割方法;Chen 等^[21]通过改进的二维图形与曲线平滑约束搜索方法对原图像转换后的渐进强度距离图像进行分割,进而获得原图像的分割结果。此外,通过组合不同方法也可获得较好的分割结果,如 Wu 等^[22]将形态学方法、强度变换等技术综合应用到眼前节 OCT 图像的分割,提高了分割结果的精确度。

3 总结

OCT 医学图像具有成像快、散斑噪声严重等特点,传统的医学图像分割方法并不能满足精确、抗噪、实时的分割要求。近年来,学者们提出了许多快速、鲁棒的分割方法,如基于统计学的方法、基于活动轮廓的方法、基于图论的方法等,但这些方法都具有局限性,而且并没有完全实现全自动和高实时性。现在,OCT 医学图像分割方法的研究重点仍然是通过考虑多种医学图像特性,结合多种分割理论,研发实时、抗噪、自动的分割方法,并注重提高方法的适应性、鲁棒性和精确性。

【参考文献】

- [1] 孙延奎. 光学相干层析医学图像处理及其应用[J]. 光学精密工程, 2014, 22(4): 1086-1104.
SUN Y K. Medical image processing techniques based on optical coherence tomography and their applications [J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(4): 1086-1104.
- [2] DUAN J M, TENCH C, GOTTLOB I, et al. New variational image decomposition model for simultaneously denoising and segmenting optical coherence tomography images[J]. Phys Med Biol, 2015, 60 (22): 8901-8922.
- [3] DU W L, TIAN X L, SUN Y K. A dynamic threshold edge-preserving smoothing segmentation algorithm for anterior chamber OCT images based on modified histogram[C]. IEEE International Congress on Image and Signal Processing, 2011: 1123-1126.
- [4] DU W L, TIAN X L, SUN Y K. A dynamic threshold segmentation algorithm for anterior chamber OCT images based on wavelet transform[C]. IEEE International Congress on Image and Signal Processing, 2012: 279-282.
- [5] 徐奇, 常英, 李文彬, 等. 基于区域生长的 OCT 图像分层算法[J]. 信息技术, 2013, 4: 136-140.
XU Q, CHANG Y, LI W B, et al. A segmentation algorithm of OCT image based on region growth[J]. Information Technology, 2013, 4: 136-140.
- [6] LANG A, CARASS A, HAUSER M, et al. Retinal layer segmentation of macular OCT images using boundary classification[J]. Biomed Opt Express, 2013, 4(7): 1133-1152.
- [7] VERMEER K A, VAN DER SCHOOT J, LEMIJ H G, et al. Automated segmentation by pixel classification of retinal layers in ophthalmic OCT images[J]. Biomed Opt Express, 2011, 2(6): 1743-1756.
- [8] TUNG K P, SHI W Z, SILVA D R, et al. Automatic vessel wall detection in intravascular coronary OCT [C]. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: from Nano to Macro, 2011: 610-613.
- [9] LIU L C, LEE J D, HSU Y W, et al. Vessel segmentation in 2-D optical coherence tomography images [C]. Proceedings of 2013 ICME International Conference on Complex Medical Engineering, 2013: 35-39.
- [10] CHOU C W, LEE J D, LIU C T, et al. Region segmentation in 3-D optical coherence tomography images [C]. IEEE International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), 2014: 1-4.
- [11] MANDELIA K, TSANTIS S, SPILIOPOULOS S, et al. Automatic quantitative analysis of in-stent restenosis using FD-OCT *in vivo* intra-arterial imaging[J]. Med Phys, 2013, 40(6): 063101.
- [12] ROSSANT F, BLOCH I, GHORBEL I, et al. Parallel double snakes. application to the segmentation of retinal layers in 2D-OCT for pathological subjects[J]. Pattern Recognit, 2015, 48(12): 3857-3870.
- [13] DOMINIC W, YALIN Z, FANGJUN B, et al. Automatic segmentation of anterior segment optical coherence tomography images [J]. J Biomed Opt, 2013, 18(5): 319-326.
- [14] CARASS A, LANG A, HAUSER M, et al. Multiple-object geometric deformable model for segmentation of macular OCT[J]. Biomed Opt Express, 2014, 5(4): 1062-1074.
- [15] WILLIAMS D, ZHENG Y, BAO F, et al. Fast segmentation of anterior segment optical coherence tomography images using graph cut[J]. Eye Vis (London), 2015, 2(1): 1-6.
- [16] YANG Q, REISMAN C A, CHAN K, et al. Automated segmentation of outer retinal layers in macular OCT images of patients with retinitis pigmentosa[J]. Biomed Opt Express, 2011, 2(9): 2493-2503.
- [17] 徐肃仲, 黄胜海, 马庆凯, 等. 基于超高分辨率 OCT 图像的视网膜层状结构研究[J]. 国际眼科杂志, 2014, 14(8): 1494-1497.
XU S Z, HUANG S H, MA Q K, et al. Study on intra-retinal layers imaged with ultra-high resolution optical coherence tomography[J]. International Eye Science, 2014, 14(8): 1494-1497.
- [18] 牛四杰, 陈强, 陆圣陶, 等. 应用多尺度三维图搜索的 SD-OCT 图像层分割方法[J]. 计算机科学, 2015, 42(9): 272-277.
NIU S J, CHEN Q, LU S T, et al. SD-OCT image layer segmentation using multi-scale 3-D graph search method[J]. Computer Science, 2015, 42(9): 272-277.
- [19] YOUSEFI S, LIU T, WANG R K. Segmentation and quantification of blood vessels for OCT-based micro-angiograms using hybrid shape/intensity compounding[J]. Microvasc Res, 2015, 97(1): 37-46.
- [20] 樊鲁杰, 孙延奎, 张田, 等. 光学相干层析视网膜体数据的 3 维分割[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(3): 330-335.
FAN L J, SUN Y K, ZHANG T, et al. Three dimensional segmentation to detect retinal boundary surfaces from OCT volume data[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(3): 330-335.
- [21] CHEN Q, FAN W, NIU S J, et al. Automated choroid segmentation based on gradual intensity distance in HD-OCT images [J]. Opt Express, 2015, 23(7): 8974-8994.
- [22] WU W, LI Y, HUANG D, et al. A compound segmentation algorithm for anterior chamber angle in OCT image [C]. International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2011: 12-15.

(编辑: 黄开颜)