

文章编号: 0253-2239(2007)03-0419-5

视网膜光学相干层析图像的预处理方法*

苑佳丽¹ 刘瑞华² 高旋³ 杨军¹ 苑立波¹

1 哈尔滨工程大学理学院光子科学与技术研究中心, 哈尔滨 150001
2 哈尔滨医科大学附属第一医院眼科, 哈尔滨 150001
3 哈尔滨医科大学附属第二医院, 哈尔滨 150086

摘要: 光相干层析技术(OCT)是近来发展起来的成像技术,利用光相干层析技术可以得到清晰的视网膜以及黄斑区的层析图。主要论述了在开发视网膜光相干层析图像识别和临床诊断系统中采用的图像预处理方法。利用图像分割、图像增强等处理技术,实现了图像的自动边缘检测与轮廓提取。通过对视网膜光相干层析图像进行预处理,为进一步的图像识别与分析打下了良好的基础。对黄斑囊样水肿、黄斑裂孔以及正常的视网膜光相干层析图像进行了实验,均取得了较好的效果。

关键词: 图像处理; 轮廓提取; 图像分割; 图像增强; 光相干层析技术
中图分类号: TP391.41; TN919.8 文献标识码: A

Preprocessing Technology of Retina Optical Coherence Tomography Image

Yuan Jiali¹ Liu Ruihua² Gao Xuan³ Yang Jun¹ Yuan Libo¹

1 Photonics Research Center, School of Science, Harbin Engineering University, Harbin 150001
2 Department of Ophthalmology, The First Affiliated Hospital of Harbin Medicine University, Harbin 150001
3 The Second Affiliated Hospital of Harbin Medicine University, Harbin 150086

Abstract: Optical coherence tomography (OCT) is a recently developed imaging technology. With OCT technology one could obtain clear tomography pictures of retina and macula lutea. For the purpose of clinical diagnosis and retina image recognition, a preprocessing technique of retina OCT image has been developed and demonstrated. The edge and contour were extracted automatically through image segmentation and enhancement. It opened the door for the further recognition and analysis of OCT image. Experiments were done on cystoid macular edema, macular hole and normal retina OCT image. The effectiveness of the proposed methods is demonstrated by practical experiments.

Key words: image processing; contour extraction; image segmentation; image enhancement; optical coherence tomography

1 引言

光学相干层析技术(OCT)是一种新型的对活体组织进行非侵入的光学诊断成像技术,利用高灵敏度的探测技术,实现在光散射介质(如生物组织)中获得清晰的层析图像^[1]。光相干层析图像分辨率可达 1~15 μm ,比传统的超声波高 1~2 个数量级。成像可以就地实时进行。因此问世以来已获得广泛

的临床应用,为眼底病及青光眼的临床诊断、鉴别诊断、疗效观察及一些疾病的发病机制方面提供了客观依据^[2]。与传统探测方法相比,光相干层析可以评估组织和细胞的功能和内部的组织形态,其高分辨力、高探测深度提高了活体组织检查的质量^[3]。

视网膜是形成各种视功能的基础^[4],而黄斑是人类视觉最敏锐的部位,因此黄斑的疾病往往导致

* 哈尔滨工程大学基础研究项目(HEUF04111)资助课题。

作者简介: 苑佳丽(1981-),女,哈尔滨人,硕士研究生。主要从事光电图像处理的方面研究。

E-mail: hage8323@163.com

作者导师: 苑立波(1962-),男,哈尔滨人,博士,教授,博士生导师,主要从事纤维光学及其应用方面的研究。

E-mail: lbyuan@vip.sina.com

收稿日期: 2006-03-21; 收到修改稿日期: 2006-06-30

明显的视力下降甚至盲目^[5]。视网膜光相干层析图像自动识别技术对完善光相干层析系统,增强其实用性有着重要的意义。图像预处理的结果好坏直接影响着视网膜光相干层析图像的特征提取与识别。视网膜光相干层析图像信息量较大,图像背景复杂。单纯的图像处理方法不能得到连通的特征区域。本文提出了一种基于彩色分割与形态学运算联合应用的预处理方案,使图像轮廓更加清晰,特征区域更加突出。

2 彩色分割

目前,针对图像分割的算法很多,主要有两种解决方案:一种是基于边缘提取的分割技术,另一种是基于图像颜色信息的聚类算法^[6]。但是由于视网膜光相干层析图像颜色梯度较大,且特征区域不连续,所以直接应用基于边缘提取的分割算法会出现许多伪边缘,影响分割效果,且目前多数基于边缘提取的分割算法只是针对灰度图像。另一方面,如果单是依据图像本身色彩信息而采用自下而上的聚类算法也很难得到较正确的分割结果。所以在处理视网膜光相干层析图像时,采用多种分割方法相结合,以便更好的提取特征区域。

光相干层析图像的伪彩色是为了区分不同反射率而设计的,不同的颜色代表不同的视网膜组织,许多原用于灰度图像的分割方法并不适合于直接分割彩色图像^[7]。以像素色彩特征作为图像特征的分割实质上就是图像在色彩空间的聚类问题^[8]。

表达颜色的彩色空间有许多种,本文采用的是红绿蓝(RGB)空间。根据 RGB 直方图来选择聚类中心。

在进行视网膜光相干层析图像彩色分割时,先通过观察 RGB 的灰度直方图,来确定聚类中心,然后利用欧式距离进行判断聚类^[9](欧式距离的定义见附录 1)。

3 基于数学形态学图像分割

数学形态学的基本思想是用具有一定形态的结构去量度和提取图像中对应的形状以达到对图像分析和识别的目的。它可以简化图像数据,保持它们的基本形状特性,并去除不相干的结构。形态学中的膨胀运算能够增强特征区域消减背景中的暗细节。本文中结构元素分别取 3×3 和 5×5 的黑点块,膨胀将使物体的边界延周边增加一个像素。那

么边缘检测实际上相当于用 3×3 和 5×5 块的 9 个和 25 个点结构元素对原图进行膨胀,再用原图像减去腐蚀的图像^[9~11](膨胀和腐蚀算法见附录 2)。

腐蚀和膨胀运算互为反操作,但都是不可逆的。使用同一个结构元素对图像先进行腐蚀运算然后再进行膨胀的运算称为开启,先进行膨胀然后再进行腐蚀的运算称为闭合。闭运算具有过滤功能,可填平图像内部小沟、孔洞和裂缝,使断线相连^[12]。开运算具有平滑功能,能清除图像的某些微小连接、边缘毛刺和孤立斑点^[10](开运算和闭运算算法见附录 2)。

在进行图像分割的过程中,会产生一些噪声,为了消除噪声,常采用滤波的方法。考虑到视网膜光相干层析图像目标对象比较大,而且目标对象和背景具有不同的统计特性,所以采用自适应的局部平滑滤波。维纳滤波器将图像信号和噪声都看成随机信号,在对随机信号进行分析统计的基础上设计出符合最优准则的滤波器^[7]。维纳滤波器以最小均方误差作为最优准则,设计滤波器。由于多次进行图像分割,为更有效地滤出噪声,故在形态学运算前后各进行一次维纳滤波。本文结构元素先后取 10×10 和 8×8 。

4 边缘检测

在进行边缘检测之前,首先对图像进行二值化。

二值化就是通过设定阈值将灰度图像分成两部分:大于阈值和小于阈值的像素,从而把目标从背景中分离出来,即

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases}$$

其中 $f(x, y)$ 代表在像素点 (x, y) 处的灰度值,点 $g(x, y)$ 为二值化后的灰度值。

本文利用 Otsu 法确定阈值。该方法以图像的一维直方图为依据,以目标和背景类间方差最大为阈值选取准则^[13]。

边界特征是图像的重要信息,检测阶跃边缘的基本思想是在图像中找出具有局部最大梯度幅值的像素点。Canny 于 1986 年提出了一个优良的边缘检测算子。

根据 Canny 的定义^[7](Canny 边缘检测器的标准见附录 3),根据在每一个点的梯度方向上,判断此点强度是否为其邻域的最大值,来确定该点是否为边缘点。当一个像素点满足以下三个条件时,则被认为是图像的边缘点:

1) 该点的边缘强度大于该点梯度方向的两个

相邻像素点的边缘强度；

2) 与该点梯度方向上相邻两点的方向差小于 45° ；

3) 以该点为中心的 3×3 邻域中的边缘强度极大值小于某个阈值。

最后,为消除二值图像中可能存在的的一些孤立的伪边缘,设定阈值像素为 30,连续像素点数目小于 30 的区域将被除去。

5 实验结果及分析

实验计算机配置为 P4 2.8G, RAM 512M, 硬盘 80G。操作系统为 Windows XP Professional。图片格式为 Windows 下 BMP 格式, 图像尺寸 $689 \text{ pixel} \times 329 \text{ pixel}$, $275 \text{ pixel} \times 131 \text{ pixel}$ 两种。编程环境为 MATLAB 7.0。

Zeiss 公司生产的光相干层析输出的图像为大小为 $689 \text{ pixel} \times 329 \text{ pixel}$ 的 BMP 格式的图像,为增加运算速度,首先将图像大小变为 $275 \text{ pixel} \times 131 \text{ pixel}$ 。系统处理流程如图 1 所示。

首先对黄斑囊样水肿的光相干层析图像进行处理(如图 2)。其中图 2(a)为原始图像。根据 RGB

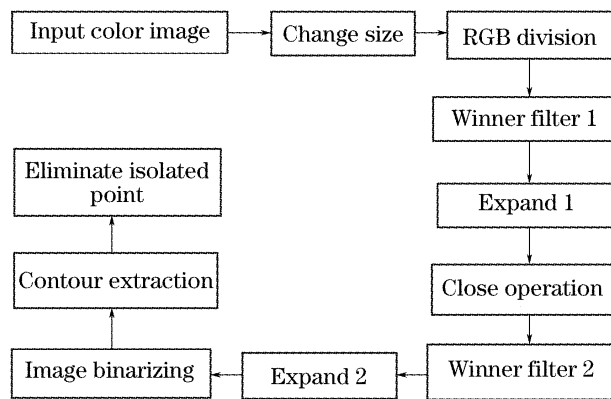


图 1 系统处理流程图

Fig. 1 Flowchart of processing

灰度直方图[如图 2(a)]确定两个聚类中心: $(100, 100, 100)$, $(120, 120, 120)$, 图 2(b)为进行 RGB 分割后的图像。然后进行维纳滤波, 图 2(c)为第一次膨胀后的结果, 可以看到膨胀后的图像特征区域不连通, 于是继续进行闭运算, 为进一步消除噪声进行第二次维纳滤波[如图 2(d)], 滤波后图像仍为灰度图像, 接下来进行图像二值化处理, 图 2(e)为第二次膨胀的结果, 边缘点经膨胀运算后相邻边缘点连成区域^[14]。再用 Canny 算子进行边缘检测。最后, 去除孤立的小区域[如图 3(f)]。

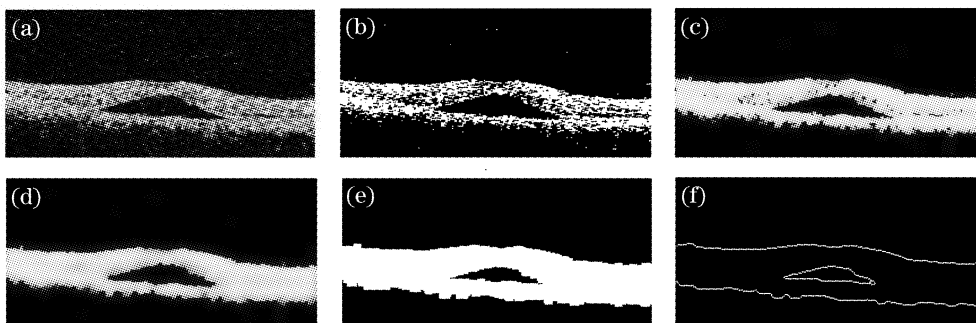


图 2 黄斑囊样水肿光相干层析图像处理结果

Fig. 2 Processing results of cystoid macular edema OCT image

用同样的参量和方法, 黄斑裂孔的光相干层析图像处理结果如图 4 所示, RGB 灰度直方图如图 3(b)所示。

正常的视网膜光相干层析图像处理结果如图 5

所示, RGB 灰度直方图如图 3(c)所示。

从以上实验结果可以看出: 经过预处理后的黄斑囊样水肿、黄斑裂孔以及正常视网膜的光相干层析图像基本提取到了清晰的轮廓, 且边缘点仅为

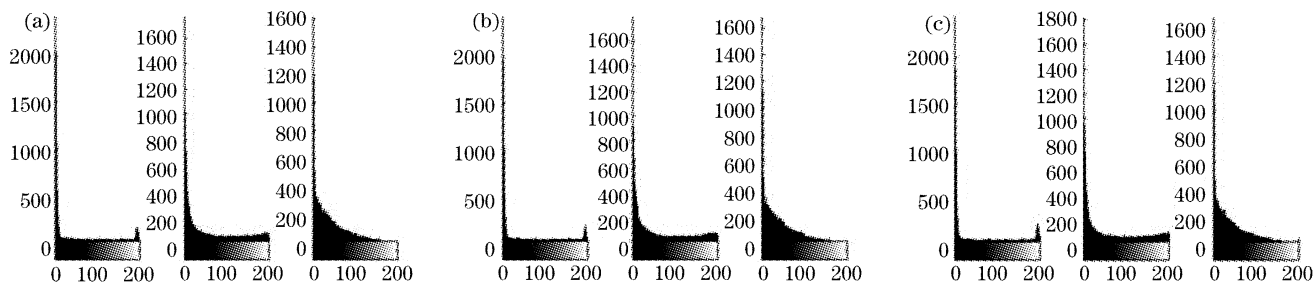


图 3 光相干层析图像 RGB 灰度直方图。(a) 黄斑囊样水肿, (b) 黄斑裂孔, (c) 正常视网膜

Fig. 3 RGB histogram of OCT image. (a) Cystoid macular edema, (b) macular hole, (c) normal retina

个像素,精度较高。从图 3 可以看到,三种视网膜光相干层析图像的 RGB 直方图灰度值分布相差不多,所以在对视网膜光相干层析图像进行预处理时,将 RGB 分割的聚类中心固定在(100, 100, 100), (120, 120, 120)。在没有先验知识的情况下,使图像

自动分割成为可能。需要说明的是:膨胀以及闭运算操作会使预处理后的边缘与实际的图像边缘产生偏离,所以,把握好预处理过程中的结构元素的大小十分关键,既要使图像连通又要使基本形态特征保持不变。

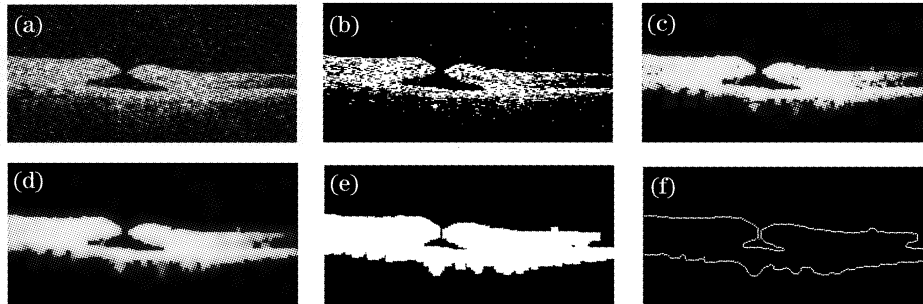


图 4 黄斑裂孔光相干层析图像处理结果

Fig. 4 Processing results of macular hole OCT image

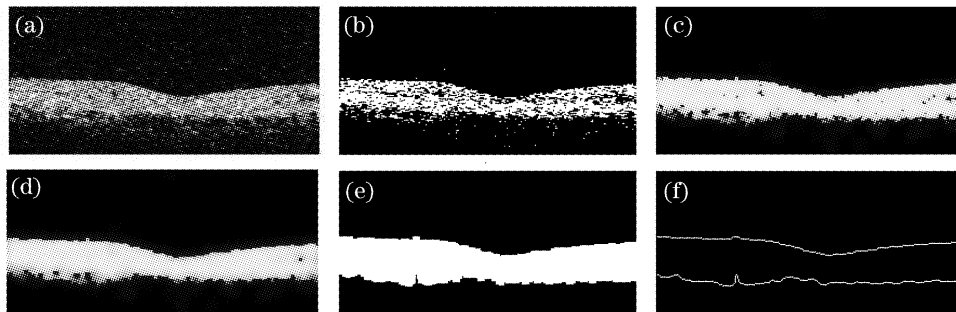


图 5 正常视网膜光相干层析图像处理结果

Fig. 5 Processing results of normal retina OCT image

6 结论

本文介绍了一种视网膜光相干层析图像的预处理方法。实验表明,经过上述处理后,视网膜光相干层析图像轮廓清晰,特征区域明显,为后续的图片识别奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 Fu Guanghua, Zhang Chunping, Li Jia *et al.*. Optical coherence tomography and its applications [J]. *Advances of Laser and Electronics*, 1997, **34**(11): 1~6 (in Chinese)
富光华,张春平,李加等. 光学相干层析技术及其应用[J]. *激光与电子学进展*, 1997, **34**(11): 1~6
- 2 Liu Xing, Huang Jingjing. Applications of optical coherence tomography in Chinese clinical ophthalmology [J]. *Ophthalmology*, 2004, **13**(4): 196~199 (in Chinese)
刘杏,黄晶晶. 光学相干断层扫描仪在我国眼科临床的应用[J]. *眼科*, 2004, **13**(4): 196~199
- 3 A. F. Fercher, W. Drexler, C. K. Hitzenberger *et al.*. Optical coherence tomography—principles and applications [J]. *Rep. Prog. Phys.*, 2003, **66**: 239~303
- 4 Hui Yannian. *Ophthalmology* [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2004. 51~52 (in Chinese)
惠延年. *眼科学* [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004. 51~52
- 5 Ling Yunlan, Liu Xing, Zheng Xiaoping. Quantitative

measurement of macular thickness in normal subjects by optical coherence tomography [J]. *Eye Science*, 2000, **16**(2): 87~90 (in Chinese)

凌运兰,刘杏,郑小平. 应用光学相干断层成像术测量正常人黄斑视网膜厚度的初步研究[J]. *眼科学报*, 2000, **16**(2): 87~90

- 6 Yang Binwei, Lu Xiqun, Chen Chun. M-ultiscale color segmentation algorithm for textile images [J]. *J. Zhejiang University (Engineering Science)*, 2005, **39**(4): 530~532 (in Chinese)

杨彬蔚,陆系群,陈纯. 一种纺织印染图案的多尺度彩色分割算法[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2005, **39**(4): 530~532

- 7 Hu Xiaofeng, Zhao Hui. *Practical Cases of Image Processing and Recognition with Visual C++ / MATLAB* [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2004. 52~118 (in Chinese)

胡晓峰,赵辉. *Visual C++ / MATLAB 图像处理与识别实用案例精选* [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004. 52~118

- 8 Wang Guiting, Zhai Hongchen, Zhang Teiqun *et al.*. A method of reducing dimensions of color vector representation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(8): 920~925 (in Chinese)

王桂婷,翟宏琛,张铁群等. 一种色彩向量的降维表示方法[J]. *光学学报*, 2003, **23**(8): 920~925

- 9 J. P. Marques de Sa. *Pattern Recognition Concepts, Methods and Applications* [M]. Wu Yifei transl., Beijing: Tsinghua University Press, 2002. 67 (in Chinese)

马奎斯德萨. *模式识别原理、方法与应用* [M]. 吴逸飞译. 北京: 清华大学出版社, 2002. 67

- 10 Li Bicheng, Peng Tianqiang, Peng Bo. *Intelligent Image*

Processing Technique [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. 233~235 (in Chinese)

李弼程, 彭天强, 彭波. 智能图像处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004. 233~235

- 11 Hu Xiaofeng, Ye Qingtai, Dai Xing. An algorithm for accurately detecting the real cell edge[J]. *Optical Technique*, 2003, **29**(5): 595~598 (in Chinese)

胡小锋, 叶庆泰, 戴星. 一种精确检测细胞真实边缘的算法[J]. *光学技术*, 2003, **29**(5): 595~598

- 12 Wu Dan, Liu Xiuguo, Shang Jianga. The application and prospect of mathematical morphology in image processing and analysis[J]. *J. Engineering Graphics*, 2003, **2**: 120~125 (in Chinese)

吴丹, 刘修国, 尚建嘎. 数学形态学在图像处理与分析中的应用及展望[J]. *工程图学学报*, 2003, **2**: 120~125

- 13 Hao Yingming, Zhu Feng. Fast algorithm for two-dimensional otsu adaptive threshold algorithm[J]. *J. Image and Graphics*, 2005, **10**(4): 484~488 (in Chinese)

郝颖明, 朱枫. 二维 Otsu 自适应阈值的快速算法[J]. *中国图象图形学报*, 2005, **10**(4): 484~488

- 14 Hu Xiaofeng, Zhou Yong, Ye Qingtai. Text segmentation in complex color images [J]. *Optics Technology*, 2006, **32**(1): 141~143 (in Chinese)

胡小锋, 周勇, 叶庆泰. 复杂背景彩色图像中的文字分割[J]. *光学技术*, 2006, **32**(1): 141~143

附 录

附录 1 欧式距离的表达式为:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (1)$$

其中 m 为每个样本的指标或参量, x_{ik} 为第 i 个样本的第 k 个指标观测值, x_{jk} 为第 j 个样本的第 k 个指标观测值, d_{ij} 为第 i 个样本与第 j 个样本的欧式距离。 d_{ij} 越小, 则第 i 个样本与第 j 个样本的性质越接近, 性质越接近的样本就可在某种度

量水平上划为一类。

附录 2 形态学膨胀和腐蚀运算定义如下:

$$D(X, B) = X \oplus \check{B} = \bigcup_{y \in B} X_{-y}, \quad (2)$$

$$E(X, B) = X[-]\check{B} = \bigcup_{y \in B} X_{-y}, \quad (3)$$

(2) 式表示集合 X 用结构元素 B 来膨胀, \check{B} 为 B 的映像,

(3) 式表示集合 X 用结构元素 B 来腐蚀。

开启和闭合的定义如下:

$$X \circ B = X[-]\check{B} \oplus B, \quad (4)$$

$$X \cdot B = X \oplus \check{B}[-]B, \quad (5)$$

附录 3 Canny 边缘检测器

Canny 边缘检测器应满足以下准则:

1) 信噪比准则, 即不漏检真实边缘, 也不把非边缘点作为边缘点检出, 使输出的信噪比最大;

2) 定位精度准则, 即检测出的边缘点尽可能在实际边缘的中心;

3) 单边缘响应准则, 即单个边缘产生的多个响应的概率要低, 虚假边缘响应应得到最大抑制。

Canny 边缘检测器是最精确的检测器, 并已广泛应用。按照优良检测、精确定位和对边缘单一响应三个标准, Canny 边缘检测器的通用性是最优的。Canny 边缘检测器的处理步骤如下:

1) 平滑图像和适配 Gaussian 过滤器, 以减少图像的细节;

2) 检测每个象素的梯度级和梯度方向;

3) 如果梯度级像素在梯度方向上大于这些 2 相邻, 则标识为边缘像素; 否则, 标识为背景像素;

4) 由滞后阈值消除模糊的边界。