

基于最大类间方差与形态学的淋巴结图像分割

张艳玲¹ 何鑫驰¹ 李立²

(广州大学计算机学院 广州 510006)¹ (中山大学肿瘤防治中心 广州 510080)²

摘要 淋巴结是人体内产生免疫应答的重要器官。淋巴结的病理变化是检测恶性肿瘤(肺癌、直肠癌、乳腺癌、肝癌、宫颈癌等)和判断肿瘤转移的一个重要依据。一种基于最大类间方差法与数学形态学的分割方法用于淋巴结的分割。最大类间方差法用于对原图进行二值化增强处理,而数学形态学方法用于修正二值图像的边界,通过腐蚀操作与膨胀操作解决二值化后出现的目标区域与多余组织相连的问题,以更好地提取有用的淋巴结组织。实验结果表明,上述算法对与周围组织有粘连但目标与背景的灰度级相差较大的淋巴结图像的分割效果较好。

关键词 最大类间方差,数学形态学,淋巴结图像分割,增强处理

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Lymph Node Image Segmentation Algorithm Based on Maximal Variance Between-class and Morphology

ZHANG Yan-ling¹ HE Xin-chi¹ LI Li²

(School of Computer, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)¹

(Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510080, China)²

Abstract Lymph nodes are an important organ of the human body immune response. The pathological changes of lymph node are an important basis of malignant tumor detection and judgment of metastasis of cancer (lung cancer, colorectal cancer, breast cancer, liver cancer, cervical cancer, etc.) A segmentation algorithm based on maximal variance between-class and morphology was introduced to segment lymph node. Maximal variance between-class method was used to operate binary enhancement processing for the original image. Mathematical morphology was introduced to do boundary correction for binary image. Erosion and expansion operation was used to solve the problem of the target area connected with excess tissue after binarization. In the end, useful lymph node tissue was better extracted. Experimental results show that the proposed method can get better segmentation effect for lymph node images with surrounding tissue adhesions and larger gray level difference between target and background.

Keywords Maximal variance between-class, Mathematical morphology, Lymph node image segmentation, Enhancement processing

1 引言

淋巴结的病理改变往往表明其属区范围内发生病变。因此按照淋巴结分布规律检查淋巴结对相关疾病的诊断,特别是对某些感染性疾病的诊断具有重要意义^[1]。对于恶性肿瘤的临床诊断与治疗来说,淋巴结的转移倾向和转移与否是确定手术方案、评判疗效(尤指放疗)及估价预后的重要指标。因此,淋巴结的病理变化对恶性肿瘤(肺癌、直肠癌、乳腺癌、肝癌、宫颈癌等)的检测和肿瘤转移的判断是一个重要依据。所以淋巴结图像的质量对于医生进行病理分析非常重要。但因为人体组织各器官、组织对比度很低,病变区域与人体器官和组织的结构相似,使得到的图像在不同程度上存在边缘模糊、局部或整体对比度不足、噪声等问题,特别是当淋巴结出现坏死、向包膜外侵犯、淋巴结转移以及转移的跳跃现象时,淋巴结图像边缘会更模糊和不确定,在灰度上更含糊,使得图像中组织的边缘、拐角及区域间的关系都难以精确描述。因

此需要采用一些必要的方法进行淋巴结图像的分割处理,从而获得清晰的边缘轮廓信息,提高医生的诊断准确率。

目前有很多图像分割算法,如经典边缘提取算子:Roberts、Sobel、Prewitt、LOG、Canny等,这些算子计算简单,速度较快,但对噪声的干扰都比较敏感^[2,3]。在2006年,张俊华、汪源源等人提出了基于边缘流的改进梯度矢量流(GVF)算法分割淋巴结超声图像^[4],该算法综合利用了灰度和纹理特征,并根据淋巴结特征进行了一定的区域限制,明显改善了低对比度超声图像的分割效果。2009年10月,刘露、刘宛予等采用交互式分割从CT图像中提取出肿大淋巴结^[5]。David N. Olivieri于2000年提出了基于颜色属性和模糊C均值的淋巴结图像分割方法^[6]。2007年,Stanford University的Adam Kapelner, Peter P. Lee, Susan Holmes提出了一种交互式统计图像分割方法来分割淋巴结^[7]。张丽熙、刘秉瀚等提出基于纹理谱特征与灰度相混合的图像分割方法,它能有效地分离出淋巴小结、淋巴细胞等^[8]。

到稿日期:2012-10-24 返修日期:2013-06-06 本文受广东省自然科学基金项目(S2011040004121)资助。

张艳玲(1970—),女,博士,副教授,主要研究方向为图像处理、模式识别, E-mail: zyl@gzhu.edu.cn.

本文以盆腔淋巴结 CT 图像为例进行研究。CT 图像可以更好地显示由软组织构成的器官,如肺、肝、胆、胰以及盆腔器官等,并在良好的解剖图像背景上显示出病变的影像。针对盆腔淋巴结 CT 图像中淋巴结边缘、形状和大小的模糊性和不确定性特点,本文介绍了一种基于最大类间方差法与数学形态学的分割方法。最大类间方差法用于对原图进行二值化增强处理。而数学形态学方法用于对二值图像进行边界的修正,通过腐蚀操作与膨胀操作解决二值化后出现的目标区域与多余组织相连的问题,更好地提取有用的淋巴结组织。实验结果表明,本文方法对与周围组织有粘连但目标与背景的灰度级相差较大的淋巴结图像分割效果较好。

2 最大类间方差法

最大类间方差法^[9,10]是由日本学者大津于 1979 年提出的,是一种自适应阈值确定方法,又叫大津法,简称 OTSU。它是按图像的灰度特性,将图像分成背景和目标两部分。背景和目标的类间方差越大,说明构成图像的两部分的差别越大,部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致两部分差别变小。因此,使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。

2.1 最大类间方差法原理及实现步骤

设 t 为目标和背景的分割阈值,灰度级小于等于 t 的为前景(目标),大于 t 的为背景。前景像素点个数所占的图像的比例为 w_0 及平均灰度为 u_0 ;背景像素点个数所占的图像的比例为 w_1 ,平均灰度为 u_1 。则图像的总平均灰度为:

$$u = w_0 * u_0 + w_1 * u_1 \quad (1)$$

前景和背景图像的方差为:

$$g = w_0 * (u_0 - u)^2 + w_1 * (u_1 - u)^2 \quad (2)$$

当计算出来的方差值 g 取最大值时,可以认为前景跟背景的差异达到最大,此时的分割阈值 t 为最佳阈值。最大类间方差法实现步骤如下:

(1)获取图像的频率灰度直方图;扫描图像中的每个像素点,统计各个灰度级的像素点的个数,最后统计每个灰度级的像素点个数并除以原图中总像素点的个数,即可获得图像的频率灰度直方图。

(2)设定分割阈值 t ,分别获取目标和背景的像素点个数所占图像的比例 w_0 、 w_1 及平均灰度值 u_0 、 u_1 。

(3)根据式(2)计算出此阈值的类间方差值 g 。

(4)若计算出的是第一个方差值,记录 g 为最大方差值 g_{\max} ;否则判断 g 是否大于最大方差值 g_{\max} ,若是则记录 g 为最大方差值 g_{\max} ,否则转向步骤(5)。

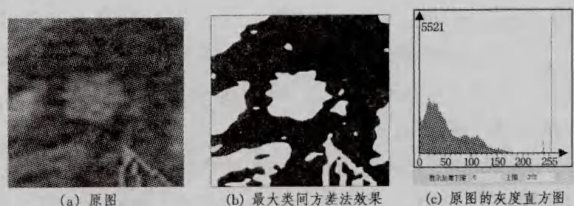
(5)从 0 到 255 遍历阈值 t ,重复步骤(2)一步骤(4),找出最大类间方差对应的阈值 t_{\max} 。

2.2 最大类间方差法实现效果

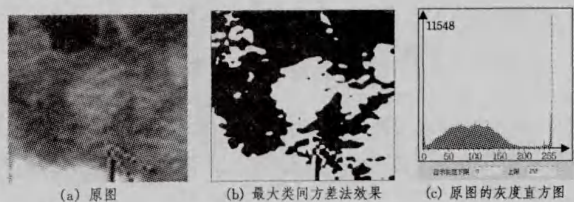
采用最大类间方差法对淋巴结图片进行二值化处理。实现效果如图 1 所示。

利用经典的 OTSU 算法针对本文的淋巴结图片进行二值化处理。原图中灰度级与背景相近的像素也会跟背景一样二值化为相同的灰度级(即黑色)。但是,当提取目标的周围有多余组织时,分割算法会把多余的组织与提取目标合并在一起。当提取目标和背景的灰度级相差较大,并且提取目标

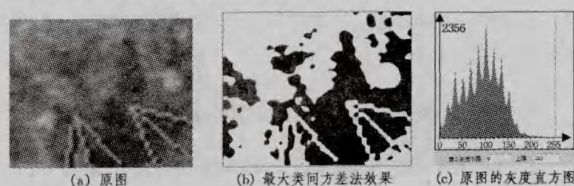
的周围没有与它灰度级相近的多余组织时,OTSU 提取效果良好。



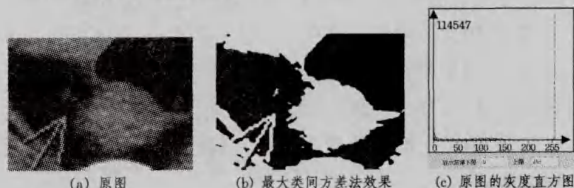
分割阈值 t 是:66。
目标和背景的像素点个数所占图像的比例: $w_0=0.70, w_1=0.30$;
平均灰度值: $u_0=28.93, u_1=104.03$ 。
最大类间方差对应的阈值 t_{\max} 是:66。



分割阈值 t 是:105。
目标和背景的像素点个数所占图像的比例: $w_0=0.58, w_1=0.42$;
平均灰度值: $u_0=59.66, u_1=151.17$ 。
最大类间方差对应的阈值 t_{\max} 是:105。



分割阈值 t 是:85。
目标和背景的像素点个数所占图像的比例: $w_0=0.42, w_1=0.58$;
平均灰度值: $u_0=50.26, u_1=121.04$ 。
最大类间方差对应的阈值 t_{\max} 是:85。



分割阈值 t 是:61。
目标和背景的像素点个数所占图像的比例: $w_0=0.63, w_1=0.37$;
平均灰度值: $u_0=8.37, u_1=114.47$ 。
最大类间方差对应的阈值 t_{\max} 是:61。



分割阈值 t 是:83。
目标和背景的像素点个数所占图像的比例: $w_0=0.71, w_1=0.29$;
平均灰度值: $u_0=43.23, u_1=123.81$ 。
最大类间方差对应的阈值 t_{\max} 是:83。

图 1 最大类间方差法对淋巴结图片进行二值化处理

3 数学形态学

数学形态学(Mathematical morphology)^[11]是一门建立

在格论和拓扑学基础之上的图像分析学科,是数学形态学图像处理的基本理论。其基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。其基本的运算包括:二值腐蚀和膨胀、二值开闭运算、击中击不中变换、骨架化、极限腐蚀、流域分割、Top-hat变换、颗粒分析等。

腐蚀和膨胀是数学形态学中最基本的运算。腐蚀和膨胀的实现是基于填充结构元素的概念。腐蚀能够去除图形表面像素,将图形逐步缩小,从而可以达到消去点状图形和连通像素的效果。而膨胀就是将图形的边缘扩大,可以使图形的边缘更加平滑。另外,结构元素的大小形态和迭代次数要根据待处理图像的大小形状特征去相应地选择。

A 被集合 B 腐蚀,表示为 $A \ominus B$,其定义为:

$$A \ominus B = \{x; B + x \subset A\} \quad (3)$$

式中,A 称为输入图像,B 称为结构元素。 $A \ominus B$ 由将 B 平移 x 但仍包含在 A 内的所有的点 x 组成。腐蚀表示对图像内部作滤波处理。

A 被集合 B 膨胀,表示为 $A \oplus B$,其定义为:

$$A \oplus B = [A^c \ominus (-B)]^c \quad (4)$$

式中, A^c 表示 A 的补集。 $-B$ 为 B 相对于原点旋转 180° 得到。膨胀利用结构元素对图像补集进行填充,而它表示对图像外部作滤波处理。

4 基于最大类间方差法与数学形态学的分割

利用最大类间方差法与数学形态学的分割步骤如下:

- (1)利用 OTSU 对原图进行二值化。OTSU 分割后,大概获取到淋巴结的基本轮廓。
- (2)使用腐蚀方法处理边界,使用默认的结构元素,对 OTSU 分割后的图像进行边界腐蚀处理,迭代次数为 5。
- (3)使用区域生长算法获取二值化的淋巴结组织。
- (4)使用膨胀方法处理边界,使用默认的结构元素,进行边界膨胀处理,迭代次数为 5。
- (5)二值图与原实验图进行与运算,得到最终分割结果,如图 2 所示。

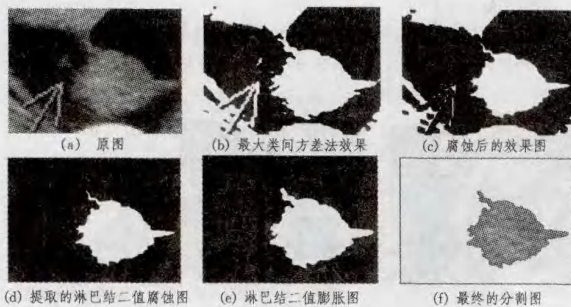


图 2 基于最大类间方差法与数学形态学的分割效果图

由图 2 可见,利用最大类间方差法得到的二值图经腐蚀处理后,淋巴结连接的多余组织部分已经断开,从而实现区域块与块之间模糊边界的分离。与此同时,淋巴结的面积也缩小了。再应用区域生长算法,直接获取二值化后的淋巴结组织。然后使用膨胀方法处理边界,膨胀操作能够将提取出来的区域面积扩充变大,可以解决区域过渡分割的问题。另外,

同样可以修复腐蚀过渡的区域。膨胀处理后,提取的二值淋巴结与原二值图中的淋巴结相比,它们的轮廓基本相近。最后二值图与原图进行与运算,得到最终的分割图。结果表明,其分割效果良好,能够把淋巴结组织的整体轮廓都提取出来。

本文分割算法的效果测试如图 3 所示。

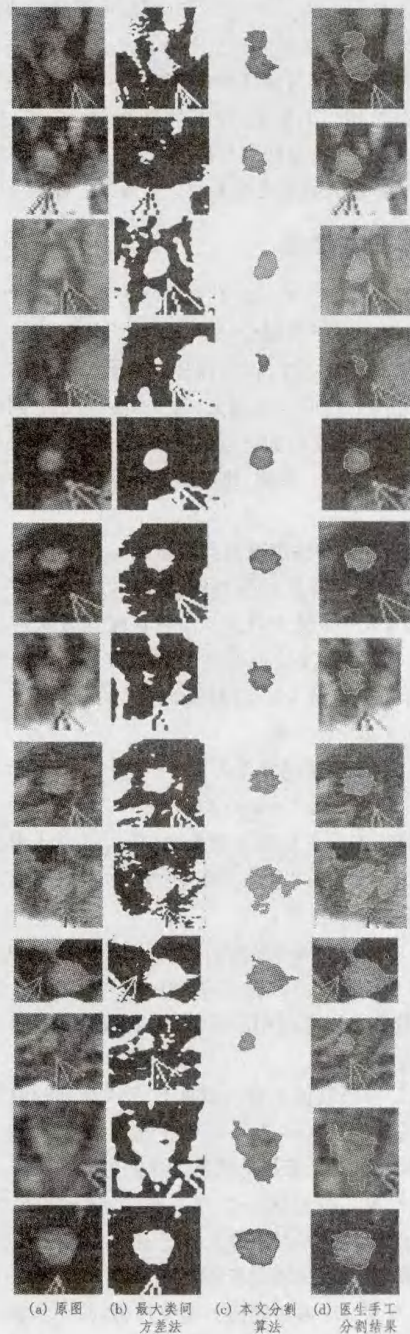


图 3 本文分割算法的效果测试

为定量证明本文算法的效果,以医生手工分割结果为标准,对全部 15 幅淋巴结图像分别用最大类间方差法和本文分割算法进行分割,然后计算误分率^[12] ME : $ME = \text{误分像素数} / \text{目标像素数}$ (其中误分像素数为目标像素误分为背景像素数与背景像素误分为目标像素数的总和)。计算出的误分率结果如图 4 所示,其中横坐标表示 15 幅淋巴结图像序号,纵坐标表示误分率。

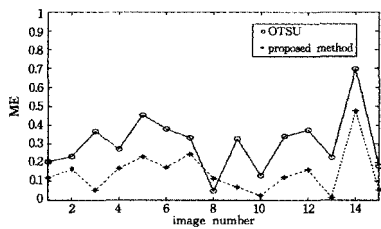


图4 OTSU和本文提出算法的误分率

由图3和图4可见,对于边缘非常模糊的淋巴结图像,本文提出的分割算法明显优于传统OTSU的分割结果:一方面更接近手工分割的轮廓形状,另一方面边缘细节更清晰。

结束语 本文介绍了一种基于最大类间方差法与数学形态学的分割方法。最大类间方差法用于对原图进行二值化处理。而数学形态学方法用于对二值图像进行边界的修正,通过腐蚀操作与膨胀操作,解决二值化后出现的目标区域与多余组织相连的问题,可以更好地提取有用的淋巴结组织,实现淋巴结图像的有效分割。但本文分割算法有局限性,即当淋巴结边界连接的多余组织较多时,淋巴结边缘的细节信息在分割的过程中会有所丢失。

参考文献

[1] 周永昌,郭万学. 超声医学[M]. 北京:科学技术文献出版社, 2003:363
 [2] Gonzalez R C, Woods R E. Image Processing, Second Edition [M]. Ruan Qiu-qi, Ruan Yu-zhi. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003:463-474

[3] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE PAMI, 1986, 8(6):679-698
 [4] 刘露,等. CT图像中肿大淋巴结肺癌转移分类方法[J]. 电子与信息学报, 2009(10):2476-2482
 [5] 张俊华,汪源源. 颈部淋巴结超声图像分析与应用[D]. 上海:复旦大学, 2007
 [6] Olivieri D N, Vega F. Image Prototype Similarity Matching for Lymph Node Hemopathology[C]//Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition (ICPR'00). 2000: 1051-1055
 [7] Kapelner A, Lee P P, Holmes S. An Interactive Statistical Image Segmentation and Visualization System[C]//Medical Information Visualization-BioMedical Visualization (MediViz 2007). 2007: 81-86
 [8] 张丽熙,刘秉瀚. 一种淋巴结组织结构彩色病理图像自动分割算法[J]. 集美大学学报:自然科学版, 2007, 1:73-77
 [9] 齐丽娜,张博,王战凯. 最大类间方差法在图像处理中的应用[J]. 信号与信息处理, 2006, 36(7):25-26, 44
 [10] Tian H, Lam S K, Srikanthan T. Area-time efficient between-class variance module for adaptive segmentation process[J]. Vision, Image and Signal Processing, IEEE Proceedings, 2003, 150(4):263-269
 [11] 崔屹. 图像处理与分析数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社, 2000
 [12] Luo H T, Zhang Y J. An example of image segmentation evaluation and related discussion[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 1997, 12(1):18-22

(上接第260页)

6.3 不同算法的收敛性对比

本文算法、冲突跟踪算法以及并行处理算法的收敛结果如图4所示。

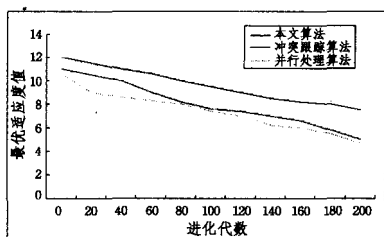


图4 不同算法的收敛效果

分析图4可得,本文算法的收敛性优于其它两种算法,本文算法能够快速收敛到一个稳定的值。说明在相同的环境下,本文算法能够对智能组卷系统中的读写器冲突以及读写器与标签间的冲突进行及时、准确的处理,以确保组卷系统的稳定性和高效性,具有较强的应用价值。

结束语 本文针对当前常用的反向散射耦合方式,通过信干比衡量智能组卷系统的性能,提出了基于功率控制以及改进的帧时隙算法的防冲突算法。组卷系统中的读写器按照系统信干比的情况,自主调控自身的发射功率,在确保读写器的读写距离时,降低信号覆盖区域的繁杂,完成防冲突,并且采用改进的帧时隙算法解决系统存在大量标签时读写器无法采集不同标签中的信干比问题。通过仿真实验可得,本文方

法下的智能组卷系统具备较高的防冲突性能,并且系统具有较高的组卷效率和精度,说明本文方法能够确保信号覆盖区域信号繁杂的最小化,增强智能组卷系统防冲突性能,是一种有效的智能组卷系统冲突消除方法。

参考文献

[1] 乐光学,彭小宁,曾志峰. 题库自动组卷系统的算法设计与实现[J]. 计算机应用, 2001, 21(z1)
 [2] 袁桂霞. 自动组卷的建模和仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11)
 [3] 陈晓东,王宏宇. 一种基于改进遗传算法的组卷算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(9)
 [4] 刘慧梅. 基于遗传算法的自动组卷算法的设计[J]. 价值工程, 2012(20)
 [5] 刘伟科,张晓庆,张纯金. 智能组卷系统中的组卷策略研究[J]. 电脑与信息技术, 2010(5)
 [6] Finkenzeller K. RFID Handbook: Fundamentals and Application in Contact-less SmartCard and Identification (Second Edition) [M]. England: John Wiley and Sons, 2003
 [7] Auto-ID Center. 860MHz-930MHz Class I Radio Frequency Identification Tag Radio Frequency and Logical Communication Interface Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.1[R]. Technical Report MIT-AUTOID-TR-007. 2002
 [8] 陈泽琳,张庆彪. 基于JAVA的考试系统中题库设计及组卷算法[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版, 2010, 24(3):48-55