

# 基于最大互信息量的图像自动优化分割

卢振泰 吕庆文 陈武凡

(南方医科大学医学图像处理重点实验室, 广州 510515)

**摘要** 由于传统的阈值分割算法只考虑到图像的灰度信息,而忽略了灰度的空间分布以及分割后图像与原图像之间的关系,因而分割效果不好。为了提高分割效果,从分割图像与原图像的内在联系出发,提出了一种新的基于K均值算法与互信息量(mutual information, MI)技术相结合的分割算法。新算法首先利用K均值算法确定全局阈值作为初值;然后以互信息量为目标函数,在小范围内计算分割图像与原图像的互信息量,互信息量达到最大时的阈值即为最优值。这是将图像配准方法用于分割的一种创新性尝试。通过对大量医学图像以及汽车牌照图像进行的实验结果表明,该新算法所得到的目标图像的边界特征保持完好,不仅虚假目标信息大大降低,而且图像边界细腻、连续,且定位性能好。

**关键词** 图像分割 阈值 互信息量 K均值算法

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)04-0658-04

## Unsupervised Segmentation of Medical Image Based on Maximizing Mutual Information

LU Zhen-tai, LU Qing-wen, CHEN Wu-fan

(Key Laboratory for Medical Imaging of Southern Medical University, Guangzhou 510515)

**Abstract** Most threshold-based segmentation algorithms rely on the information of the gray level of the original image, without taking account of the spatial information. In this paper a new segmentation method is proposed, in which K-means algorithm is combined with mutual information (MI) technique. The initial threshold can be chosen by using K-means algorithm, and in the iteration process, an optimal threshold will be determined by maximizing the MI between the original and the segmented image. We evaluate the effectiveness of the proposed approach by applying it to the segmentation of medical images and license plate images. The experimental results indicate that the new method has visually better segmentation effect.

**Keywords** image segmentation, thresholding, mutual information, K-means algorithm

## 1 引言

图像分割是当前模式识别与图像理解领域中的研究热点。准确地对医学图像(如CT、MR图像)中的不同组织进行分割,对临床辅助诊断及量化分析有重要意义。图像分割也是视觉测量及各种特征识别应用中图像预处理的重要内容,如人体寄生虫的

自动识别技术和汽车牌照的自动识别技术。作为图像分割的关键技术,虽然阈值的选取已经有了诸多不同的方法,但是它们在上应用上都有很强的针对性和局限性。传统的阈值方法,如大津法(Otsu)<sup>[1]</sup>、K均值(又称C均值)算法<sup>[2]</sup>、自适应算法<sup>[3]</sup>等,由于只考虑到图像的灰度值,而忽略了灰度的空间分布以及分割后图像与原图像之间的内在联系,因而当照明不均匀、有突发噪声,或者背景灰度变化比较大

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB716103);广东省自然科学基金项目(06024119)

收稿日期:2006-09-29;改回日期:2006-11-29

第一作者简介:卢振泰(1981~),男。南方医科大学医学图像处理博士研究生。主要研究方向为医学图像处理、模式识别。E-mail: luzhentai@163.com

时分割后会丢失大量的信息,致使得到的区域不能代表原物体的形状。

本文在文献[4]工作的基础上,从分割图像与原图像的内在联系出发,提出了基于 K 均值算法与最大互信息量<sup>[5]</sup>相结合的分割方法。该算法首先利用 K 均值算法找出全局阈值作为初值,然后以互信息量为目标函数来计算分割图像与原图像的互信息量,互信息量达到最大值时的阈值即为最优值。本算法对照明不均匀、有突发噪声和低对比度图像有较好的分割效果,且得到的目标图像边界特征保持完好,不仅虚假目标信息大大降低、纹状问题基本消除,而且图像边界细腻、连续,且定位性能好。

## 2 改进算法

### 2.1 K 均值算法

K 均值算法又称 C 均值算法,是一种非常基础的同时也是非常流行的聚类算法。该方法的目标就是要找到 C 个均值向量  $u_1, u_2, \dots, u_c$ , 并以欧氏距离的平方最小为阈值的选取准则来选取阈值。

若  $N_i$  是第  $i$  类  $T_i$  中的样本数目,  $u_i$  是这些样本的均值, 则把  $T_i$  中的各样本  $x_k$  与均值间的误差平方和来对所有类相加后为

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{y \in T_i} \|x_k - u_i\|^2$$

通过计算欧氏 (Euclidean) 距离的平方  $\|x_k - \bar{u}_i\|^2$ , 即可找到最接近  $x_k$  的类中心  $\bar{u}_i$ 。K 均值算法流程如图 1 所示:

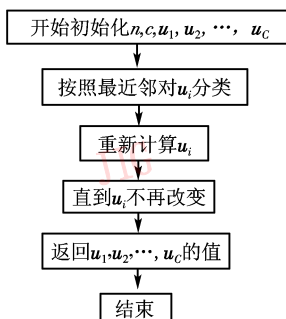


图 1 K 均值算法流程图

Fig. 1 The flowchart of K-means algorithm

K 均值算法在很多情况下都能取得很好的阈值,并在很多领域得到了应用和发展,但该方法依然存在一些不足,例如若目标与背景之间灰度差不明显,则可能出现大块黑色区域,甚至丢失整幅图像的信息。由于该算法没有结合图像的空间相关信息,

因此当图像中有断迹现象或者背景有一定噪声时,则处理效果不好。

### 2.2 互信息量

互信息量的概念源于信息论,也是信息论中的一个测度,用来度量两个随机变量之间的相似性。1995 年开始被广泛用于图像配准和多模医学图像配准<sup>[5]</sup>。在多模态医学图像配准问题中,虽然两幅图像来源于不同的成像设备,但是由于它们是基于人体共同的解剖信息,所以当两幅图像的空间位置完全一致时,它们的对应像素的灰度互信息达到最大值,即一幅图像表达的关于另外一幅图像的信息最多,则这个信息就是互信息量。对于给定图像 A 和图像 B, 它们的熵和联合熵的定义分别为

$$H(A) = - \sum_a P_A(a) \log P_A(a)$$

$$H(B) = - \sum_b P_B(b) \log P_B(b)$$

$$H(A, B) = - \sum_{a,b} P_{A,B}(a, b) \log P_{A,B}(a, b)$$

其中,  $P_A, P_B, P_{A,B}$  分别为图像 A, B 的概率分布和联合概率分布,它们可以通过归一化各自的灰度直方图和联合灰度直方图而得到。a, b 分别表示图像 A, B 中的像素灰度值。互信息量定义为

$$MI(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B)$$

作为一种相似性测度,互信息量取得了巨大的成功,特别在医学图像领域。互信息配准方法目前被认为是配准精度和鲁棒性最好的回溯性配准方法之一<sup>[5]</sup>。MI(A, B) 与 H(A), H(B), H(A, B) 的关系如图 2 所示:

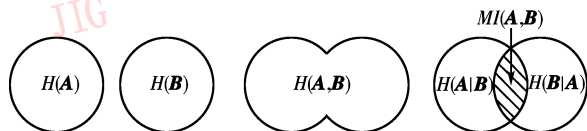


图 2 MI(A, B) 与 H(A), H(B), H(A, B) 的关系

Fig. 2 The relationship of MI(A, B) and H(A), H(B), H(A, B)

分割可以视为图像的一种退化,分割后的图像可以看成是一种“特殊”模态的图像,当它与原图像的空间位置相一致(即求出的区域和原物体的形状相吻合)时,互信息量达到最大值,即可认为所获得的最优分割结果包含有原图像的信息量最多。但是如果直接利用互信息量作为优化目标函数,令 T 从 1 ~ L 变化,那么在计算不同 T 值下的互信息量时,则容易引入一些无关信息,而且计算量太大,比较耗时。为了

更好地利用图像的灰度信息,并且加快分割速度,本文将互信息量的计算范围限制在一定区间内。本文取  $\delta = 10$ ,若利用 K 均值算法得到初始阈值  $T$ ,则可以在区间  $[T - \delta, T + \delta]$  内寻找最优阈值。

### 2.3 算法描述

改进算法是以 K 均值算法确定的阈值为初值,以最大互信息量为优化目标,在  $[T - \delta, T + \delta]$  内搜索最佳阈值  $T_{\text{optimal}}$ ,分割后图像用  $\hat{I}$  表示,则有

$$T_{\text{optimal}} = \operatorname{argmax}_T (MI(I, \hat{I}))$$

其算法流程如图 3 所示。主要步骤描述如下:

- (1) 给定原图像  $I$ ;
- (2) 用 K 均值算法计算出整幅图像的全局阈值  $T$ ;
- (3) 利用阈值  $T$  进行分割得到分割图像;
- (4) 计算分割图像与原图像的互信息量;
- (5) 调整  $T$ ,若不满足结束条件,则转步骤 (3);否则结束,即得到分割后的图像。

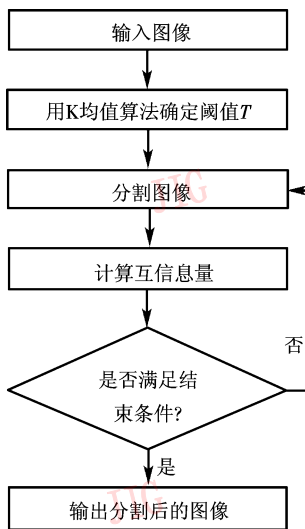


图 3 改进算法流程示意图

Fig. 3 The flowchart of modified method

## 3 实验结果与分析

为验证本文算法的分割效果,应用新算法对大量医学图像(磁共振图像,人体寄生虫显微图像)以及汽车牌照图像进行了分割实验。通过将分割结果与大津法,DMI 算法<sup>[4]</sup>和自适应算法的分割结果(如图 4~图 7 所示)进行比较可以发现:

- (1) 自适应算法和 DMI 算法的处理结果中不

仅丢失了原始图像的部分目标信息,而且边界特征没有得到很好的保持,目标边界存在大量缺口,即所谓的纹状问题。比如钩虫(见图 4(a)),由于具有较薄且透明的卵壳,因此分割的时候就很容易丢失掉卵壳信息,而恰恰这部分信息对于虫卵识别来说,却是至关重要的,这就导致了识别率不高;鞭虫(见图 5(a))卵壳较厚,两端各具一个透明的盖塞(opercular blug),由于分割时盖塞处会出现缺口,因此提取特征时会丢失掉这部分信息,同样也会导致识别率不高;对于亮度不均匀或者目标与背景之间灰度差值不明显的磁共振图像(见图 6(a)),由于目标部分区域灰度值比较暗,与背景相接近,这样分割时就会把这部分区域误认为是背景,从而会出现大块黑色区域,甚至会丢失整幅图像的信息;大部分车牌图像(见图 7(a))由于都存在光照不均匀或光线较暗,受噪声污染等问题,因而分割也会出现前面提到的情况,这样根本无法准确提取出车牌号码。

(2) 局部阈值自适应算法虽然基本保留了原始图像的全部信息,但是由于虚假信息过多,容易出现块状效应(见图 6(d)),且处理结果受分块大小影响很大,因此当分块大小不同时,将可能会出现两种完全不同的分割结果。该算法还容易受原始图像噪声和污染的影响,这不仅加重了后续处理的负担,而且增加了处理算法的时空复杂度,也大大影响了图像处理的速度。

(3) 本文算法的分割结果是最优的。无论是在光照不均匀、光线较暗、噪声污染的情况下,还是在目标与背景之间灰度差不明显等情况下,利用本文算法得到的目标图像边界特征总能够得到很好的保持,不仅虚假目标信息大大降低,纹状问题基本消除,而且图像边界细腻、连续,且定位性能好,结果较为理想。

本文还利用改进算法对更多的医学图像和其他图像进行了分割和对比实验,图像总数近 500 幅,均获得较好的分割效果。

## 4 结论

由于本文算法充分考虑了图像的灰度信息和空间信息,以及分割后图像与原图像的内在联系,所以分割后的图像具有目标信息准确、特征保留完整、目标边缘连续细腻等优点,不仅使分割图像的质量明显得到改善,为进一步的图像处理和图像分析打下



图 4 钩虫图像实验结果

Fig. 4 Experimental results



图 5 鞭虫图像实验结果

Fig. 5 Experimental results

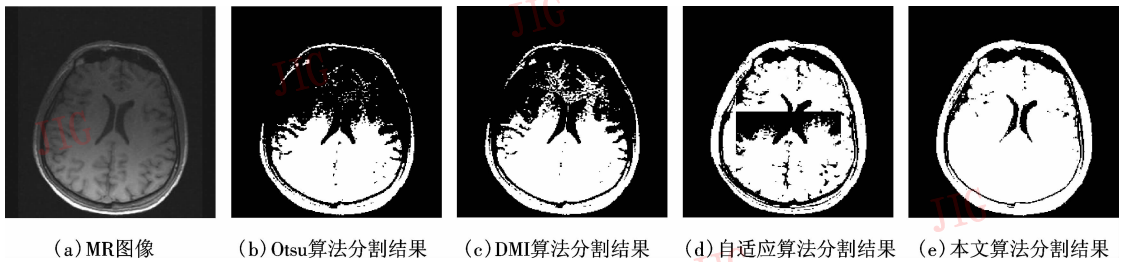


图 6 颅部 MR 图像实验结果

Fig. 6 Experimental results



图 7 车牌图像实验结果

Fig. 7 Experimental results

了良好的基础,而且将会在不同技术领域得到实际应用和发展。本文虽只考虑了两个类的情况,但该算法很容易推广至多类。

### 参考文献 (References)

- Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 ~ 66.
- Ahmed Mohamed N. A modified fuzzy c-means algorithm for bias field estimation and segmentation of MRI data [J], IEEE Transactions on Medical Imaging, 2002, 21(3): 193 ~ 199.

- Gonzales R C, Woods R E. Digital Image Processing (2nd ed)[M]. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 2002.
- Lu Qing-wen, Chen Wu-fan. Unsupervised segmentation of medical image based on difference of mutual information [J]. Science in China Series F-Information Sciences [J]. 2006, 49(4): 484 ~ 493. [吕庆文, 陈武凡. 基于互信息熵差测度的医学图像自动优化分割 [J]. 中国科学 E 辑, 2006, 36(6): 657 ~ 667.]
- Pluim J, Maintz J, Viergever M. Mutual information based registration of medical images: a survey [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2003, 22(8): 986 ~ 1004.