

基于特征距离的阈值法及其在 眼科图象分割中的应用

张新明 沈兰荪 沈 波

(北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022)

摘 要 医学图象的识别与分析能够为临床提供定量化的诊断依据,而图象分割是其中最关键的一步.为提高医学图象分割效果,提出了一种基于特征距离的阈值分割算法,并将其与颜色特征分类相结合,对眼科裂隙灯生物显微镜图象上的角膜充血区进行分割,分割结果可用于角膜充血区的定量分析.另外,该算法中的样本典型值是通过一种三维直方图分块算法来确定的.实验结果表明,该算法可以有效地分割出角膜充血区,其分割效果优于欧氏距离阈值法,且分析数据的精度能够达到临床诊断的要求.

关键词 特征距离 阈值法 图象分割 医学图象处理

中图法分类号: TP391 R770.404.45-39 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)02-0159-05

Feature Distance Based Thresholding for Ophthalmologic Image Segmentation

ZHANG Xin-ming, SHEN Lan-sun, SHEN Bo

(Laboratory of Signal & Information Processing, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

Abstracts Medical image recognition and analysis can provide quantitative evidence for medical diagnosis, while medical image segmentation is the first and significant step in this procedure. A novel feature distance based thresholding associated with color feature classification for ophthalmologic image segmentation is presented, and the segmented results can be used for the analysis of blood vessel region distribution on these images. Feature distance based thresholding can be widely used for segmenting the objects with any kinds of feature space structure, especially those with uncompact support, blurred boundary and uneven quantity, while Euclidean distance based method is only suitable for the sphere-shaped feature space. Ophthalmologic image segmentation does not satisfy the conditions of Euclidean distance based method. In addition, a blocking algorithm based on 3D histogram to determine typical samples is proposed in this paper. Lots of experiments show that the algorithm in this paper can be effectively used in ophthalmologic image segmentation and good segmentation results have got. And the analysis results from segmented images meet the requirements of medical diagnosis.

Keywords Feature distance, Thresholding, Image segmentation, Medical image processing

0 引 言

图象分割就是依据图象特征对复杂景物中的目标或区域进行分解的过程,而且图象分割是计算机视觉中最基本的研究内容,也是成功进行图象分析、理解与描述的关键步骤.如今从医学诊断中的癌细胞识别到遥感图片中的军事和民用目标识别等诸多

领域都广泛应用图象分割技术.图象分割的方法很多^[1~3],有直方图阈值法、重复像素分类法、边缘检测法、模糊集理论分割法、区域相似性分割法、多分辨率分析法、物理特征分割法以及模型分割法等,但

这些方法通常并不单独使用,而是相互交叉和融和.为提高医学图象的分割效果,本文提出了一种基于特征距离的阈值分割算法,并将其与颜色特性分类相结合,对眼科裂隙灯生物显微镜图象上的角

膜充血区进行分割^[4,5],分割结果可用于充血区的定量分析.整个算法可分为如下几个方面(1)利用多个色空间内的颜色特征对图象进行预分割(2)在图象预分割的基础上,分别测量待分类像素点与一组样本典型值间的特征距离,其中的最小距离小于某一阈值时,即可认为是充血区像素点(3)采用像素统计的方法对角膜充血区进行定量分析.

1 特征距离

传统的模式识别中有一类简单的识别准则,即用欧氏距离来度量待分类模式与各类具有代表性的典型模式间的差异,但这种方法要求样本数据在特征空间呈球形或椭球形分布,然而样本数据在特征空间的结构是多样的,且真实数据中很少有紧致、界限清晰、比例均匀的类群.

为解决此问题,可模拟信息论中有向散度的概念来构造特征距离,这种特征距离对特征空间的结构没有严格的限制,且有较强的普适能力.文献[6]即提出了与特征距离类似的特征散度概念和一种灰度图象模糊聚类算法.其有向散度和特征距离的定义如下:

有向散度 设两个概率系统的概率分布矢量为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, 则有向散度的离散化定义为

$$D = \sum_{i=1}^N p_i \ln \frac{p_i}{q_i} \quad (1)$$

有向散度可以用于度量两个概率系统间的信息量差异.这里,分量 p_i, q_i ($i = 1, 2, \dots, N$) 取正值.

特征距离 特征距离与有向散度有类似的形式,可用来度量两个样本矢量在其特征空间内的差异.设样本矢量 $f = (f_1, f_2, \dots, f_s)$, $g = (g_1, g_2, \dots, g_s) \in R^s$ (R^s 为特征空间) 则特征距离矢量定义为

$$S = (d_1, d_2, \dots, d_s)^T \quad (2)$$

而式(2)中各分量定义为

$$d_i = f_i \ln \frac{f_i + 1}{g_i + 1} + g_i \ln \frac{g_i + 1}{f_i + 1}, i = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

由于式(3)有对称的特点,且样本数据特征矢量中的各分量 f_i, g_i ($i = 1, 2, \dots, s$) 取非负值,另外,特征距离矢量的各分量满足非负性和同一性(零值取在 f_i 等于 g_i 时),因此可以用特征距离矢量的内积范数来度量图象像素与类别典型值间的差异.

2 角膜充血区分割与定量分析

2.1 角膜充血区的图象特征

由于正常角膜是透明的,因此通过角膜可以清晰地观察到睫膜和瞳孔,但在病变情况下,角膜会变浑浊,有时还有血管从结膜长入角膜形成充血区.虽然在图象特征上充血区是红色的,而其它颜色都是背景,但充血区颜色会有诸多变化,且与其它背景颜色的界限并不清晰,比例也不均匀,因此角膜充血区分割不符合欧氏距离的适用要求.

2.2 依据颜色特征的图象预分割

在正式分割前,可先利用多个色空间内的颜色特征,对裂隙灯生物显微镜图象进行预分割,以便去掉与充血区颜色特征差异较大的背景点.其利用的色度空间通常选择 RGB、YUV、HSI 和 Ohta^[7]等色度空间.本文选用最常用的 RGB 色空间和 HSI 色空间.

这种预分割的过程是首先选择多幅具有典型角膜充血区的图象(本文选择 20 幅),然后由眼科专家用手工方法把角膜充血区从这些图象中分割出来.通过比较背景区和角膜充血区像素点的 R 、 G 、 B 分量值以及饱和度分量后发现,若像素点满足下列条件中的任何一条,就不会是充血区像素点.(a) R 分量很小(小于某一阈值)(b) G 、 B 分量很大(大于某一阈值)(c) R 分量与 G 分量(或 B 分量)的比值小于某阈值(d)颜色很浅的像素(饱和度 S 小于某一阈值,因为饱和度反映了像素颜色的深浅程度,饱和度和越大,颜色越深).

所以对充血区的预分割,若用下列阈值设定,则可达到较好的效果:

$$(R, G, B) =$$

$$\begin{cases} (0, 0, 0) & R \leq r \text{ 或 } G \geq g \text{ 或 } B \geq b, \\ & \text{或 } R/G \leq t \text{ 或 } R/B \leq u \text{ 或 } S \leq s \\ (R, G, B) & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

本文用试探法获得的阈值为 $r = 120$, $g = 170$, $b = 160$, $s = 20$, $t = 1.15$, $u = 1.05$.

对图象进行预分割的目的只是为了减少后面算法的运算量,并非必须的步骤.

2.3 用基于特征距离的阈值法进行角膜充血区分割

一般两个颜色区域可以用两个颜色的距离来表示其近似程度(色差),而颜色距离的测量可以在多种色系下进行,如 RGB 和 HSI,且这些色系是可以相

互转换的。虽然 HSI 空间更符合人眼的色彩感觉,但相应的颜色距离计算比较复杂,因此本文选择 RGB 色系。由于 RGB 色系空间在视觉上是均匀的,因此本文采用加权距离来近似表示色差

(1) 用欧氏距离表示色差如下

$$l^2 = w_1(R_1 - R_2)^2 + w_2(G_1 - G_2)^2 + w_3(B_1 - B_2)^2 \quad (5)$$

这里 w_1, w_2, w_3 是加权系数,根据经验可将其分别选为 $w_1 = 4.5, w_2 = 8, w_3 = 1$; 两个颜色分别是 (R_1, G_1, B_1) 和 (R_2, G_2, B_2) 。

(2) 用特征距离表示色差如下

$$l^2 = |S|^2 = w_1 \left(R_1 \ln \frac{R_1 + 1}{R_2 + 1} + R_2 \ln \frac{R_2 + 1}{R_1 + 1} \right)^2 + w_2 \left(G_1 \ln \frac{G_1 + 1}{G_2 + 1} + G_2 \ln \frac{G_2 + 1}{G_1 + 1} \right)^2 + w_3 \left(B_1 \ln \frac{B_1 + 1}{B_2 + 1} + B_2 \ln \frac{B_2 + 1}{B_1 + 1} \right)^2 \quad (6)$$

这里,用基于特征距离的阈值法对预分割后的图象进行二次分割,即分别求待分类象素点与一组样本典型值间的特征距离,其中的最小距离小于某一阈值时,即可认为是充血区象素点

$$\min(d_i | i = 1, 2, \dots, M) < v \quad (7)$$

其中, M 代表样本典型值个数, d_i 是待分类象素点与某一样本典型值间的特征距离, $\min(\cdot)$ 是求最小值, v 代表阈值。

样本典型值的选择

首先选择 n 幅具有典型角膜充血区的图象(n 越大,则由后面算法得到的样本典型值越具有代表性,但 n 太大,将会增加运算复杂度,因此需要折中),由眼科专家用手工方法把角膜充血区从这些图象中分割出来,再对分割后的充血区做三维直方图统计。设 n 幅图象的直方图分布分别为 $T_i(x, y, z)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 这里 x, y, z 分别代表 R、G、B 三基色分量,对这 n 个直方图分布函数求平均得

$$\bar{T}(x, y, z) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i(x, y, z) \quad (8)$$

然后,对 $\bar{T}(x, y, z)$ 进行归一化处理,即得到象素点在 RGB 色系空间内的发生概率函数

$$F(x, y, z) = \frac{\bar{T}(x, y, z)}{\sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} \sum_{k=0}^{255} \bar{T}(i, j, k)} \quad (9)$$

由于在三维直方图内, $\bar{T}(x, y, z) \neq 0$ 的点较分散,因此可采用形态学运算来增强其空间连通性,并消除杂散点。本文首先采用具有聚合功能的闭运算

来对三维色系空间的点集 U 进行处理,并记作

$$U \cdot K = (U \oplus K) \ominus K \quad (10)$$

这里, K 代表结构单元(本文选择半径为 5 的球状结构单元), $U \oplus K$ 代表用 K 对 U 集合进行膨胀运算; $U \ominus K$ 代表用 K 对 U 集合进行腐蚀运算。经过闭运算后,色系空间内的点则组成集合 P ,而对于集合 P ,在 x 方向上有极值 $x_{\min}, x_{\max}$,在 y 方向上有极值 $y_{\min}, y_{\max}$,在 z 方向上有极值 $z_{\min}, z_{\max}$;然后由这 6 个极值即可以确定一个长方体,把这个长方体等分成 $a \times b \times c$ 个子块,且这些子块需满足 $a:b:c \approx (x_{\max} - x_{\min}):(y_{\max} - y_{\min}):(z_{\max} - z_{\min})$ 如图 1 所示。

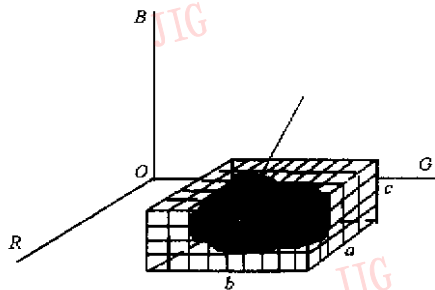


图 1 用基于三维直方图的分块算法来确定样本典型值
设所有子块的中心点构成集合 Q 。

对于 $\forall q \in Q$, 若 $q \in P$, 且 q 所在子块内的发生概率函数和大于 μ , 则 q 为样本典型值, 这里 μ 为一阈值常数。一般子块的数目越大, 样本典型值的数目也越大, 但由于样本典型值数目太大, 会增加算法复杂度, 而太小, 又影响图象分割效果, 因此需要折中。

当 M 数值较大时, 式(7)的运算量将很大, 因此可采用下面的算法:

设 (x_0, y_0, z_0) 是点 $\left(\text{int}\left(\frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}\right), \text{int}\left(\frac{y_{\min} + y_{\max}}{2}\right), \text{int}\left(\frac{z_{\min} + z_{\max}}{2}\right) \right)$ 所在子块中的样本典型值, 这里 $\text{int}(\cdot)$ 表示取整运算。平移 RGB 坐标系, 使其原点移至 (x_0, y_0, z_0) , 构成新坐标系 $R'G'B'$ 。设 U 代表 RGB 色系空间的点集, 则对于 $\forall (x, y, z) \in U$, $R'G'B'$ 把 RGB 色系空间分成如下 8 个象限域:

$$\begin{aligned} & \{(x, y, z) | x \geq x_0, y \geq y_0, z \geq z_0\} \\ & \{(x, y, z) | x \geq x_0, y \geq y_0, z < z_0\} \\ & \{(x, y, z) | x \geq x_0, y < y_0, z \geq z_0\} \\ & \{(x, y, z) | x \geq x_0, y < y_0, z < z_0\} \\ & \{(x, y, z) | x < x_0, y \geq y_0, z \geq z_0\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\{ (x,y,z) | x < x_0, y \geq y_0, z < z_0 \} \\ &\{ (x,y,z) | x < x_0, y < y_0, z \geq z_0 \} \\ &\{ (x,y,z) | x < x_0, y < y_0, z < z_0 \} \end{aligned}$$

这 8 个域也把 M 个样本典型值分成 8 组.

图象分割时,待分类像素点首先与 (x_0,y_0,z_0) 比较,以确定它所在的域,然后只需分别计算该点与所在域中的样本典型值的距离,并代入公式(7),这样运算量将大大减少.

阈值 v 的选择

欧氏距离法的阈值可先用式(5)来计算某一子块对角顶点间的距离,然后取其一半作为阈值 v ,而特征距离法的阈值则可用式(6)计算所有子块对角顶点间的距离,再选取这些距离中的最大值的一半作为阈值 v ,即

$$v = \frac{1}{2} \max(d_i | i = 1, 2, \dots, M) \quad (11)$$

这里, M 代表样本典型值个数; d_i 是子块对角顶点间的特征距离; $\max(\cdot)$ 是求最大值.

角膜充血区的定量分析

首先用直角坐标系(角膜区中心为原点)把角膜区分成如图 2 所示的 I、II、III、IV 4 个象限区;再用等距环形域(以角膜区中心为圆心)把角膜区分成 A、B、C 3 个区.在交叉而成的 12 个子区内,用各子区内的充血区像素数占其子区总像素数的百分比来反映角膜充血区的分布情况.

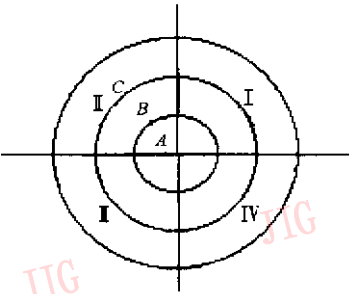
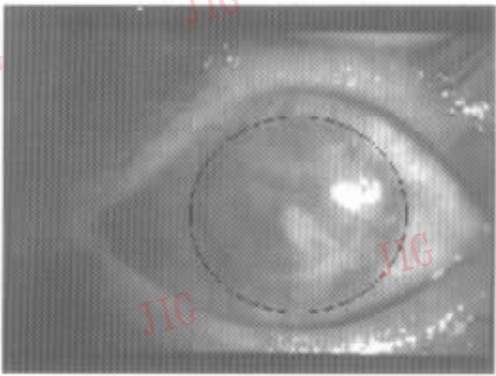


图 2 角膜分区示意图

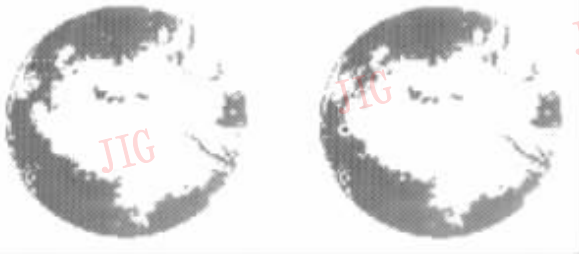
3 实验与结论

本文选取了 5 幅具有典型角膜充血区的图象来进行三维直方图统计,由上述算法获得的 $x_{\min}$ 为 129, $x_{\max}$ 为 209, $y_{\min}$ 为 97, $y_{\max}$ 为 161, $z_{\min}$ 为 65, $z_{\max}$ 为 149,同时选择 $a = 5, b = 4, c = 5$,这样共有 100 个三维直方图子块,而阈值常数 μ 取 0.001. 根据实验结果,共有 68 个样本典型值,将其分成 8 组.在欧氏

距离和特征距离下,阈值 v 分别为 53.7 和 4.5,并分别用基于特征距离和欧氏距离的阈值法对多幅眼科图象进行分割.图 3 是一幅 180×172 pixel 的眼科角膜区图象采用两种方法分割的结果,并与手工分割的结果进行对比,其错分情况如表 1 所示.



(a) 原始裂隙灯生物显微镜图象



b) 欧氏距离阈值法的分割结果 (c) 特征距离阈值法的分割结果

图 3 眼角膜区图象分割结果

表 1 特征距离阈值法和欧氏距离阈值法的分割结果

角膜分区名称	充血区像素数 (手工分割法)	错分像素数 (欧氏距离法)	错分像素数 (特征距离法)
I	1 418	21	12
II	3 054	35	11
III	3 680	40	15
IV	1 685	31	9
A	101	15	5
B	1 571	35	13
C	8 165	77	29

通过大量实验得到如下结论:本文采用特征距离来度量图象像素与类别典型值间的差异,这种方法更适用于对非紧致、界限不清晰的图象目标的分割,而且特征距离法比欧氏距离法有更好的分割结

果 , 使其更接近于眼科专家的手工分割结果.

参 考 文 献

1 Pal N R , Pal S K. A review on image segmentation techniques. Pattern Recognition , 1993 , 26(9) :12771294.

2 Castleman K R. Digital signal processing. Prentice-hall International , Inc. 北京 : 清华大学出版社 , 1997 :447562.

3 陈廷标 , 夏良正编著. 数字图象处理. 北京 : 人民邮电出版社 , 1989 :358487.

4 Sahoo P K *et al.* A survey of thresholding techniques. Comput. Vision , Graphics , Image Process , 1988 , 41(2) :233260.

5 Sarabi A , Aggarwal J K. Segmentation of chromatic images. Pattern Recognition . 1981 , 13(6) :417427.

6 薛景浩 , 章毓晋 , 林行刚等. 基于特征散度的图象 FCM 聚类分割. 模式识别与人工智能 , 1998 , 11(4) :462467.

7 Ohta Y , Kanada T , Sakai T. Color information for region segmentation. Comput. Graphics Image Processing . 1980 , 13(2) :224241.

张新明 1968 年生 , 工程师 , 1991 年毕业于天津大学精密仪器系 , 现为北京工业大学博士研究生. 主要研究兴趣是医学图象处理和智能仪器.

沈兰荪 北京工业大学教授 , 博士生导师. 主要研究方向为智能化信息处理.

沈 波 1971 年生 , 1993 年毕业于北京工业大学 , 目前在北京工业大学从事科研教学工作. 主要研究兴趣为智能化信息处理.