

# 一种食管癌内镜图像识别算法

陈 刚<sup>1</sup> 胡振朋<sup>2</sup> 卢红星<sup>1</sup>

(郑州大学信息工程学院 郑州 450001)<sup>1</sup> (华南理工大学计算机科学与工程学院 广州 510006)<sup>2</sup>

**摘 要** 食管癌内镜检查是食管癌早期诊断的主要手段之一,计算机辅助识别可以大大提高诊断效率,但目前尚缺乏相关识别算法研究。因此,根据食管癌内镜图像的纹理特点,提出了一种食管癌内镜图像识别算法。算法首先对食管癌内镜图像进行目标区域的划分,提取出每个目标子区域的灰度共生矩阵。然后计算灰度共生矩阵的角二阶矩、对比度、逆差分矩和相关度 4 个特征值,并构造出描述内镜图像的特征向量。最终对特征向量进行多次迭代式聚类并根据专家规则对聚类结果进行筛选以标识出可疑病变区域。实验表明,该算法可以较为准确地筛选出可疑病变区域,算法是可行的和有效的。

**关键词** 图像识别,食管癌,内镜,聚类

中图法分类号 TP391.7 文献标识码 A

## Image Recognition Algorithm for Esophageal Endoscopy

CHEN Gang<sup>1</sup> HU Zhen-peng<sup>2</sup> LU Hong-xing<sup>1</sup>

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Videoendoscope is an important tool for the diagnosis of esophageal cancer in early stage. Computer aided diagnosis could improve the efficiency. However, there is lack of effective recognition algorithms. Therefore, the paper proposed an image recognition algorithm for esophageal endoscopy (IRAFEE) based on esophageal endoscopic image texture features. Firstly, the IRAFEE algorithm divides the endoscopic image into sub-areas, extracts gray level co-occurrence matrix for each sub-area. Secondly, the IRAFEE algorithm calculates four features of gray level co-occurrence matrix: angle second moment, contrast ratio, inverse difference moment and degree of association, constructs feature vectors. Finally, the IRAFEE algorithm clusters the feature vectors for several times, filters the result clusters based on expert rules and identifies the potential lesion areas. The experiments show that the proposed IRAFEE algorithm is feasible and effective.

**Keywords** Image recognition, Esophageal cancer, Videoendoscope, Cluster

## 1 引言

食管癌<sup>[1]</sup>是最为常见的恶性肿瘤之一,其发病率和死亡率均较高。提高食管癌患者生存率及生活质量的关键在于早期发现、早期诊断、早期治疗。随着内镜技术的不断进步和新的诊断内镜不断出现,早期食管癌及其癌前病变的检出率得到了明显提高<sup>[2-4]</sup>。内镜图像蕴含着丰富的食管特征信息,研究和探索适合于内镜图像本身的自动识别方法,对辅助医生进行内镜图像临床诊断具有重要而现实的意义。目前国内外有诸多学者对医学图像识别进行了研究。文献<sup>[5]</sup>针对医学肝脏 CT 图设计了一种基于 LVQ 神经网络的医学图像识别方法。文献<sup>[6]</sup>在图像检索和多专家融合的基础上提出了一个综合交互式的决策支持系统用于黑色素瘤皮肤镜图像的识别。文献<sup>[7]</sup>提出了一种模糊逻辑决策支持系统用于乳腺癌病理组织图像的识别。文献<sup>[8]</sup>描述了将灰度联合分析应用

于肝癌活检图像识别中的方法。文献<sup>[9]</sup>提出了一种子宫颈癌早期检测 2D 宫颈细胞图像识别方法。但是,目前尚缺乏专门针对食管癌内镜图像的识别算法研究。因此,本文分析了食管癌内镜图像特征,提出了一种食管癌内镜图像识别算法。算法以灰度共生矩阵作为食管癌图像特征,首先对内镜图像进行区域分割,并针对目标子区域提取特征向量,然后对特征向量进行多次迭代聚类,最终根据专家规则筛选以得到可疑病变区域并进行图像标注。在真实食管癌图像数据上的实验表明,该识别算法是可行的和有效的,可以为医学专家的诊断提供良好的辅助功能。

## 2 背景

### 2.1 食管癌内镜检查

食管癌指由食管鳞状上皮或腺上皮的异常增生所形成的恶性病变。早期食管癌是指在患者的体内,由于癌组织局限

本文受国家自然科学基金,多变量 IB 方法及算法的研究(61170223),河南人才培养联合基金,可扩展迁移学习中跨媒体复杂问题自动映射研究(U1204610)资助。

陈 刚(1974—),男,博士生,主要研究方向为数据分析、模式识别;胡振朋(1990—),男,硕士生,主要研究方向为图形图像处理、视频分析;卢红星(1965—),男,硕士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为模式识别、工控系统,E-mail:iehxl@zzu.edu.cn(通信作者)。

在食管黏膜层以内,并且无淋巴结转移及远处转移包括原位癌、黏膜内癌(M癌)、黏膜下癌(SM癌),亦称浅表癌<sup>[10]</sup>。内窥镜是一个配有灯光的管子,它可以经口腔进入胃内或经其他天然孔道进入体内,利用内镜可以看到X射线不能显示的病变。食管癌的诊断方式有多种如钡餐透视、肿瘤标记物检测等,但一般首先需要通过内镜对食管癌进行早期诊断和常规检查<sup>[11]</sup>。

## 2.2 灰度共生矩阵

灰度共生矩阵<sup>[12]</sup>中的各个元素是由一幅图像中两个位置上像素组成的像素对对应的灰度级的联合概率密度来定义的,共生矩阵各个元素定义如下。

$$C_{b_1, b_2} = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N (P_{x^1, y^1} = b_1) \wedge (P_{x^2, y^2} = b_2) \quad (1)$$

其中,  $C_{b_1, b_2}$  表示灰度共生矩阵,  $x^1, y^1$  和  $x^2, y^2$  表示图像相关联的两个像素的坐标,  $b_1$  和  $b_2$  表示两个灰度取值。

上式右端和等号后面的部分表示特定关系的两个像素一个取值为  $b_1$ 、另一个取值为  $b_2$  的联合概率密度。设两个像素点距离为  $d$ , 连线倾斜角为  $\theta$ , 则

$$x^2 = x^1 + d \cos(\theta) \quad \forall \{d \in [1, \max(d)]\} \wedge [\theta \in (0, 2\pi)] \quad (2)$$

$$y^2 = y^1 + d \sin(\theta) \quad \forall \{d \in [1, \max(d)]\} \wedge [\theta \in (0, 2\pi)] \quad (3)$$

根据灰度共生矩阵可计算出相应的特征值,由特征值表征图像的纹理信息。文献<sup>[13]</sup>提出了14种根据灰度共生矩阵定义的特征参数。根据食管癌内镜图像的特点,本文算法采用了以下4种特征参数:

(1) 角二阶矩:角二阶矩是灰度共生矩阵各元素的平方和,又称为能量,反映了图像灰度分布均匀程度和纹理粗细程度,纹理越粗糙值越大,纹理越细致值越小。

$$W_1 = \sum_{b_1} \sum_{b_2} (C_{b_1, b_2})^2 \quad (4)$$

(2) 对比度:对比度反映了图像的清晰度和纹理沟纹深浅的程度。纹理沟纹越深,其对比度越大,视觉效果越清晰;反之,对比度小,则沟纹浅,效果模糊。

$$W_2 = \sum_{b_1} \sum_{b_2} (b_1 - b_2) C_{b_1, b_2} \quad (5)$$

(3) 逆差分矩:逆差分矩反映了度量图像纹理局部变化的多少。纹理越规则值越大。

$$W_3 = \sum_{b_1} \sum_{b_2} \frac{C_{b_1, b_2}}{1 + |b_1 - b_2|} \quad (6)$$

(4) 相关度:相关度是用来衡量灰度共生矩阵的元素在行或列方向上的相似程度。当矩阵元素值均匀相等时,相关值较大,相反,如果矩阵像素值相差很大,则相关值较小。

$$W_4 = - \sum_{b_1} \sum_{b_2} \frac{(b_1 - \mu_{b_1})(b_2 - \mu_{b_2}) C_{b_1, b_2}}{\delta_{b_1} \delta_{b_2}} \quad (7)$$

其中,  $\mu_{b_1}, \mu_{b_2}, \delta_{b_1}, \delta_{b_2}$  分别为  $m_x$  和  $m_y$  的均值和方差,  $m_x$  是矩阵  $C$  中每列元素之和,  $m_y$  是矩阵  $C$  中每行元素之和。

## 2.3 聚类算法

K-means 算法是经典的聚类算法之一,具有较高的数据处理效率,且时间和空间复杂度较小。因此,本文算法中采用了 K-means 算法作为特征聚类算法。K-means 聚类算法属于划分式聚类算法,其基本原理是对集合进行等价类划分,即对一组具有相同数据结构的记录按照某种分类准则进行分类,以获取若干个同类记录集<sup>[14-16]</sup>。其核心思想可以用下式描述:

$$\text{Minimize } J(X, U, V) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n u_{ij} \|x_j - v_i\|^2 \quad (8)$$

其中,  $n$  是给定数据集中的数据个数,  $k$  是聚类个数,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \in R^S$  是给定的数据集,  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\} \in R^S$  是类中心点,  $U = (u_{ij})_{k \times n}$  是聚类矩阵。

K-means 算法流程如下:

- 1) 从  $n$  个数据对象中任意选择  $k$  个对象作为初始聚类中心;
- 2) 根据每个聚类对象的均值(中心对象),计算每个对象与这些中心对象的距离,并根据最小距离重新对相应对象进行划分;
- 3) 重新计算每个(有变化)聚类的均值(中心对象);
- 4) 循环 2) 到 3),直到每个聚类不再发生变化为止。

## 3 一种食管癌内镜图像识别算法

### 3.1 食管癌内镜图像识别算法

食管癌内镜图像识别算法如图1所示。



图1 图像识别算法

输入:

- 食管癌彩色图像  $G$ ,
- 灰度阈值  $f$ ,
- 遍历宽度  $w$ ,
- 遍历高度  $h$ ,
- 目标子区域的宽和高  $n, m$ ,
- 聚类个数  $r$ ,
- 迭代次数  $e$ ,

输出:

- 标注可疑区域的食管癌图像  $G'$

步骤1 目标子区域的统计特征值提取子算法

- 调用基于目标子区域的统计特征值提取算法提取特征向量;
- 输出特征向量  $S = (A_1, A_2, \dots, A_n)$

步骤2 聚类子算法

- 对  $S$  进行聚类;
- 输出可疑类  $D$

步骤3 可疑区域标注子算法

- 标注可疑区域;
- 输出标注可疑区域的彩色图像  $G'$

步骤1的时间复杂度为  $O(N_x \times N_y)$ , 步骤2的时间复杂度  $O(n \times c \times e + N_x \times N_y)$ , 步骤3的时间复杂度  $O(N_x \times N_y)$ , 其中  $N_x$  是食管癌图像的宽度,  $N_y$  是食管癌图像的高度,  $c$  是聚类个数,  $e$  是迭代次数。因此整个算法的时间复杂度为  $O(n \times c \times e + N_x \times N_y)$ 。

### 3.2 目标子区域的统计特征值提取子算法

食管癌内镜图像是典型的 RGB 彩色图像,与灰度图像相比,彩色图像能提供更多的纹理信息,若仅仅将彩色图像转化为单一灰度图像处理,将会丢失很多重要信息。因此本文首先对图像进行分割,并根据每一个分割块的大小和位置,分别在相应的 R、G、B 彩色空间中提取其灰度共生矩阵,最后计算出其统计特征值角二阶矩、对比度、相关度、逆差分矩。

目标子区域的统计特征值提取子算法如下:

输入:

- 食管癌彩色图像  $G$ ,
- 目标子区域的宽和高为  $n, m$

输出:

特征向量集合  $S=(A_1, A_2, \dots, A_n)$

步骤 1 提取灰度共生矩阵

灰度转换, 将彩色图像  $G$  转换成灰度图  $I$ ;

计算图像的宽和高  $N_x, N_y$ ;

提取彩色图像的  $R, G, B$  分量;

For  $i=1; i < N_x; i += n$

For  $j=1; j < N_y; j += m$

计算子块  $Sub$  在  $I$  上的取值范围;

$Set = Set \cup \{Sub\}$ ;

计算  $Sub$  在  $R, G, B$  分量空间的值  $V1, V2, V3$ ;

计算  $V1, V2, V3$  的灰度共生矩阵  $Gm1, Gm2, Gm3$ ;

$Rgm = Rgm \cup \{Gm1\}$ ;

$Ggm = Ggm \cup \{Gm2\}$ ;

$Bgm = Bgm \cup \{Gm3\}$ ;

End for

End for

输出灰度共生矩阵集合  $Rgm, Ggm, Bgm$

步骤 2 计算统计特征值

For every  $Sub \in Set$

提取  $Sub$  的灰度共生矩阵  $Gm1, Gm2, Gm3$ ;

调用特征值计算算法, 计算特征值能量、惯性矩、相关性、逆差矩, 将计算出的特征值组合成特征向量  $A_i=(a_1, a_2, \dots, a_{11}, a_{12})$ ;

End for

输出特征向量集合  $S=(A_1, A_2, \dots, A_n)$

一个特征值提取示例见图 2。图 2(a) 是原始彩色食管癌内镜图像, 图 2(b) 是转化后的灰度图像, 在灰度图像的基础上对其进行分割, 将灰度图像分割成众多的目标子区域, 分割效果如图 2(c) 所示, 每一个小块就是一个目标子区域。图 2(d)–(f) 是提取的  $R, G, B$  分量的灰度图像。

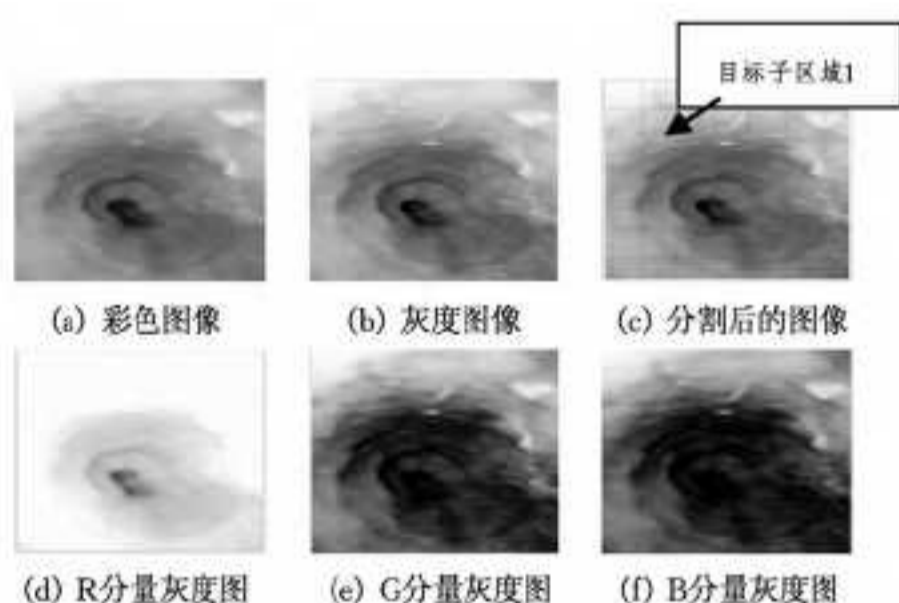


图 2 特征值提取示例

下面以目标子区域 1 为例给出提取该目标子区域的灰度共生矩阵和统计特征值的过程:

1) 提取其在  $R, G, B$  分量空间相应的取值如下, 目标子区域的大小为  $10 \times 10$ 。

$$R = \begin{bmatrix} 200 & 202 & 203 & 204 & 202 & 202 & 203 & 202 & 203 & 201 \\ 199 & 200 & 201 & 208 & 206 & 206 & 207 & 208 & 208 & 204 \\ 199 & 200 & 201 & 208 & 207 & 207 & 209 & 208 & 207 & 204 \\ 200 & 201 & 202 & 202 & 203 & 203 & 203 & 203 & 201 & 199 \\ 199 & 200 & 201 & 199 & 200 & 199 & 199 & 197 & 195 & 193 \\ 198 & 199 & 199 & 198 & 197 & 196 & 195 & 193 & 191 & 189 \\ 197 & 197 & 197 & 197 & 196 & 195 & 194 & 193 & 192 & 191 \\ 196 & 196 & 196 & 193 & 192 & 191 & 191 & 191 & 192 & 193 \\ 193 & 192 & 192 & 187 & 186 & 186 & 186 & 187 & 190 & 193 \\ 189 & 188 & 188 & 184 & 184 & 183 & 183 & 185 & 188 & 192 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 69 & 71 & 72 & 76 & 75 & 75 & 76 & 78 & 79 & 79 \\ 71 & 72 & 73 & 77 & 78 & 78 & 79 & 81 & 81 & 80 \\ 71 & 72 & 73 & 75 & 76 & 76 & 78 & 80 & 79 & 77 \\ 67 & 68 & 69 & 70 & 71 & 71 & 71 & 71 & 69 & 67 \\ 66 & 67 & 68 & 67 & 68 & 67 & 67 & 65 & 63 & 61 \\ 65 & 66 & 66 & 66 & 65 & 64 & 63 & 61 & 59 & 57 \\ 64 & 64 & 64 & 65 & 64 & 63 & 62 & 61 & 60 & 59 \\ 63 & 63 & 63 & 61 & 60 & 59 & 59 & 59 & 60 & 61 \\ 60 & 59 & 59 & 55 & 54 & 54 & 54 & 55 & 58 & 61 \\ 56 & 55 & 55 & 52 & 52 & 51 & 51 & 53 & 56 & 60 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 61 & 63 & 64 & 67 & 66 & 66 & 67 & 68 & 69 & 68 \\ 62 & 63 & 64 & 69 & 69 & 69 & 70 & 72 & 72 & 70 \\ 62 & 63 & 64 & 68 & 68 & 68 & 70 & 71 & 70 & 68 \\ 62 & 63 & 64 & 65 & 66 & 66 & 66 & 66 & 64 & 62 \\ 61 & 62 & 63 & 62 & 63 & 62 & 62 & 60 & 58 & 56 \\ 60 & 61 & 61 & 61 & 60 & 59 & 58 & 56 & 54 & 52 \\ 59 & 59 & 59 & 60 & 59 & 58 & 57 & 56 & 55 & 54 \\ 58 & 58 & 58 & 56 & 55 & 54 & 54 & 54 & 55 & 56 \\ 55 & 54 & 54 & 50 & 49 & 49 & 49 & 50 & 53 & 56 \\ 51 & 50 & 50 & 47 & 47 & 46 & 46 & 48 & 51 & 55 \end{bmatrix}$$

2) 根据目标子区域在  $R, G, B$  分量空间的取值范围, 计算其灰度共生矩阵:

$$R_{gl} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 13 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 12 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 2 \end{bmatrix}$$

$$G_{gl} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 5 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 10 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 11 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 7 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 9 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$B_{gl} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 5 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 9 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 13 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 7 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

3) 根据灰度共生矩阵计算灰度共生矩阵的 4 个统计特征值即角二阶矩、对比度、相关度、逆差分矩, 分别计算目标子区域在 R、G、B 分量空间上的 4 个统计特征值, 结果见表 1。

表 1 目标子区域的统计特征值

分量	角二阶矩	对比度	相关度	逆差分矩
R	0.8167	0.6222	0.9483	0.0723
G	0.8148	0.4000	0.9684	0.0625
B	0.8333	0.4222	0.9650	0.0748

### 3.3 聚类子算法

对目标子区域的统计特征值提取子算法得到的特征向量进行多次聚类, 并筛选出可疑类。

聚类子算法如下:

输入:

特征向量集合 S,

聚类个数 r,

迭代次数 e

输出:

可疑类 D

步骤 1 第一次聚类

采用 k-means 算法对特征向量集合 S 进行聚类;

输出聚类结果  $C=(c_1, c_2, \dots, c_r)$ ;

步骤 2 进行 3 次迭代聚类, 取最优结果

While  $i \leq 3$

$r=r/3$ ;

For every  $c \in C$

统计  $c$  的像素数 sum;

统计  $c$  在 R、G、B 分量空间的灰度和 t;

$k=t/\text{sum}$ ;

$K=K \cup k$ ;

End for

调用 k-means 算法对 K 进行聚类;

$i=i+1$ ;

End while

输出聚类结果  $C'=(c'_1, c'_2, \dots, c'_{r/3})$ ;

步骤 3 筛选可疑类

count=1;

For every  $c \in C$

统计  $c$  的像素数 sum;

$T=T \cup \text{sum}$ ;

count++;

End For

调用排序算法对 T 从大到小进行排序;

If C 中不存在空类

剔除 T 中前 count/3 和后 count/3 的类;

合并 C 剩下的类;

Else

合并 C 中的类;

End if

输出可疑类 D;

### 3.4 可疑区域标注子算法

临床经验表明靠近食管癌图像边缘部分和食管口的中心区域噪声较大, 因此标注可疑区域时首先舍弃了落在靠近食管癌原始图像边缘的部分和食管口中心区域的可疑类的相关标记块。

可疑区域标注子算法如下:

输入:

食管癌彩色图像 G,

灰度阈值 f,

宽度边缘 w,

高度边缘 h,

可疑类 D

输出:

标注可疑区域的食管癌图像 G'

步骤 1 去除边缘区域

如果某可疑像素点属于图像边缘, 则不加入最终可疑区域。

For  $i=w; i < N-w; ++i$

For  $j=h; j < M-h; ++j$

取出 1 个像素点 g;

If  $g \in D$

g 加入最终可疑区域;

End if

End for

End for

步骤 2 去除食管癌中心区域

若某可疑像素点属于食管癌中心区域, 则不加入最终可疑区域。

For  $i=1; i < N; ++i$

For  $j=1; j < M; ++j$

取出 1 个像素点 g, 并计算其灰度值 v;

If  $v < f$  and  $g \in D$

g 加入可疑区域;

End if

End for

End for

输出标记了可疑区域的彩色图像 G'

## 4 实验结果

算法平台为 MatLab7.0。算法参数设定如下: 聚类个数 30; 迭代次数 500; K-means 算法的距离度量方法采用绝对误差和; 边界区域定义为图像宽度和高度的 1/5 位置; 中心区域的去除的灰度阈值为 100。选自临床病例的两个实验结果如图 3(斑块型食管癌)和图 4(乳头型食管癌)所示。图中的蓝色点为标注出的可疑区域。算法为每个原始图片提供了 3 个可能的结果, 以辅助医学专家进行诊断。

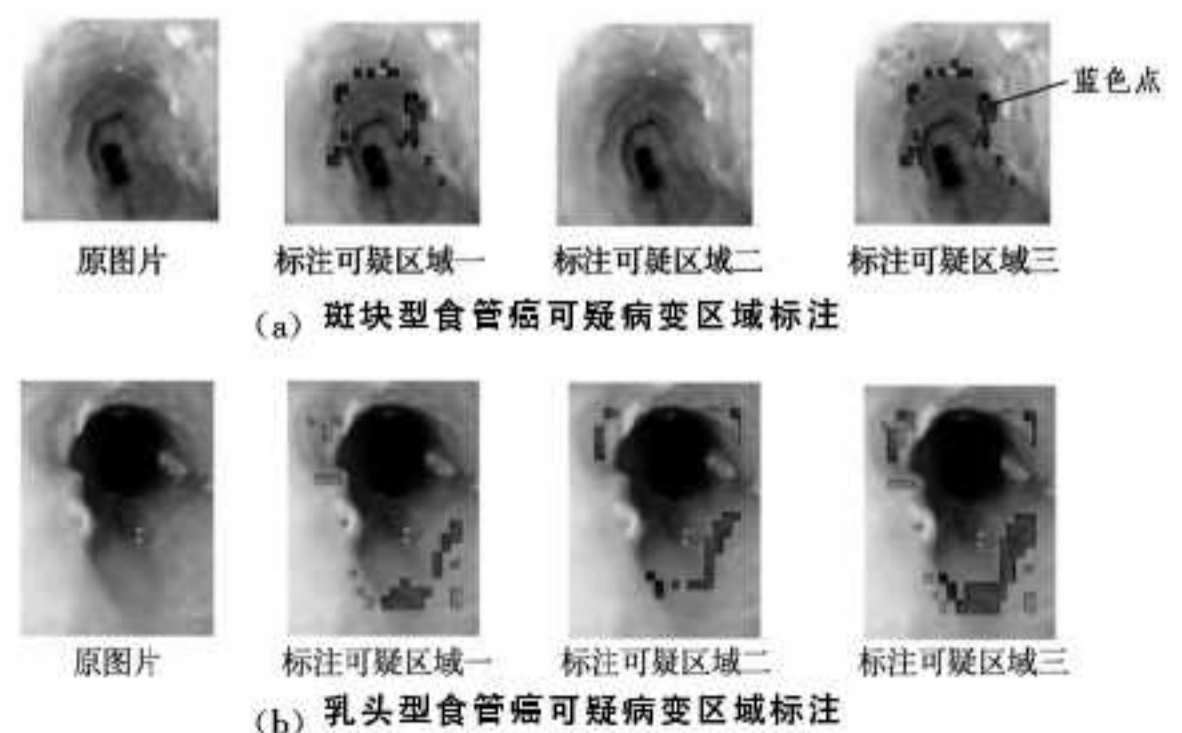


图 3 可疑病变区域标注

在图 3(a)中可以看到, 标注可疑区域一、二和三中都对斑块型食管癌实际病变区域进行了凸显标注; 在图 3(b)中也可以观察到同样的现象。这说明本文提出的食管癌内镜图像识别算法是有效的, 可以辅助医学专家进行癌症诊断。

(下转第 190 页)

## 参考文献

- [1] Scaramuzza D, Martinelli A, Siegwart R. A Flexible Technique for Accurate Omnidirectional Camera Calibration and Structure from Motion[M]. IEEE, 2006
- [2] Zhang Z Y. A Flexible Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334
- [3] 郭永刚, 葛庆平, 冯平, 等. 一种基于控制点自动提取的图像畸变矫正算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(2): 241-216
- [4] 王占斌, 赵辉, 陶卫, 等. 广角镜头桶形畸变的样条函数修正方法[J]. 光电工程, 2008, 35(4): 140-144
- [5] 马广斌, 章文毅, 陈甫. 图像几何畸变精校正研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(9): 45-48
- [6] Ahmed M T, Farag A A. Nonmetric calibration of camera lens distortion; differential methods and robust estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(8): 1215-1230
- [7] 崔洪洲, 孔渊, 周起勃, 等. 基于畸变畸变率的图像几何校正[J]. 应用光学, 2006, 27(3): 183-185
- [8] 韩广良, 宋建忠. 一种基于畸变等效曲面的图像畸变矫正[J]. 光学技术, 2005, 31(1): 122-124
- [9] 郭羽, 杨红, 杨照金, 等. CCD 摄像系统镜头的畸变测量[J]. 应用光学, 2008, 29(2): 179-282
- [10] Slama C. Manual of photogrammetry[M]. American Society of Photogrammetry, 1980
- [11] 徐树奎, 李国辉, 张军, 等. 基于多方向对称和匀质约束的 SUSAN 棋盘格角点检测算法[J]. 计算机科学, 2011, 38(9): 248-252
- [12] Richard I. In defence of the 8-point algorithm[C] // Proc. International Conference on Computer Vision, 1995
- [13] Manolis I, Lourakis A. A Brief Description of the L-evenberg-Marquardt Algorithm Implemented by Levmar[J]. Foundation for Research and Technology, 2005(2)

(上接第 177 页)

**结束语** 如何识别食管癌内镜图像中的病变区域, 不仅是生物医学的前沿课题, 也是图像处理和模式识别领域中一个重要的研究方向。本文根据食管癌内镜图像的纹理特点给出了食管癌内镜图像识别的一组统计特征, 并提出了一种食管癌内镜图像识别算法。该算法通过对食管癌内镜图像进行分割, 提取每一个分割块的特征向量, 并采用  $k$ -means 算法进行多次迭代聚类, 在此基础上根据规则筛选可疑类, 最后在食管癌彩色图像上标出可疑区域。在真实医学数据集上的实验表明, 该识别算法是可行的和有效的, 可以辅助医学专家进行早期食管癌诊断。

## 参考文献

- [1] 冯建东. 早期食管癌内镜诊断进展[J]. 中外医学研究, 2013, 11(10): 150-152
- [2] 王霄, 王安荣, 樊晋川. 食管癌高发区居民食管癌及癌前病变状况分析[J]. 东南大学学报: 医学版, 2013, 32(1): 56-59
- [3] 彭贵勇. 内镜技术在早期食管癌诊治中的应用[J]. 现代消化及介入诊疗, 2012, 18(1): 23-24
- [4] 陈子洋, 刘晓岗, 李易. 内镜黏膜剥离术治疗早期食管癌的临床研究[J]. 华西医学, 2013, 28(2): 184-185
- [5] 焦蓬蓬, 郭依正, 卫星. 基于 LVQ 神经网络的医学图像识别研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(18): 4535-4537
- [6] Rahman M M, Bhattacharya P. An integrated and interactive decision support system for automated melanoma recognition of dermoscopic images [J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2009, 34(2010): 479-486
- [7] Tabakov M, Zareba S, Pula B, et al. Using fuzzy Sugeno integral as an aggregation operator of ensemble of fuzzy decision trees in the recognition of HER2 breast cancer histopathology images [C] // Computer Medical Applications, Sousse, ICCMA, 2013: 1-6
- [8] Pan Shi-ming, Lin Chia-hung. Application of grey relational analysis to recognition of liver cancer in biopsy Images [C] // Computer, Consumer and Control, Taichung: IS3C, 2012: 918-921
- [9] Suryatenggara J, Ane BK, Pandjaitan M, et al. Pattern recognition on 2D cervical cytological digital images for early detection of cervix cancer [C] // Nature & Biologically Inspired Computing, Coimbatore: NaBIC, 2009: 257-262
- [10] 古庆家, 安惠民, 刘亚峰. 鼻内镜手术治疗青少年及儿童慢性鼻窦炎[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2004, 11(4): 231-241
- [11] Ji Bo, Song Rui-feng, Xu Feng, et al. Diagnosis Expert System for Oesophagus Cancer in Early Stage [C] // CSSS, 2012. Nanjing, China, Aug. 2012: 3068-3071
- [12] 苑丽红, 孙爽滋, 付丽. 灰度共生矩阵检索纹理图像的算法研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(11): 300-303
- [13] Haralick R M, Dinstein S K. Textural feature for image classification [J]. Systems Man and Cybernetics, 1973, SMC-3(6): 610-621
- [14] Lee S S, Lin J C. An accelerated K-means clustering algorithm using selection and erasure rules [J]. Journal of Zhejiang University (Computers & Electronics), 2012, 13(10): 761-768
- [15] Lin Liang-kui, Xu Hui, Sheng Wei-dong. Multi-target state-estimation technique for the particle probability hypothesis density filter [J]. Science China (Information Sciences), 2012, 5(10): 2318-2328
- [16] 陈光平, 王文鹏, 黄俊. 一种改进初始聚类中心选择的 K-means 算法[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(6): 1320-1323