

基于数学形态学的肝脏 B 超图象的纹理识别

吴泽晖

汪柄权

(海南大学信息学院, 海口 570228) (安徽大学电子系, 合肥 230039)

摘要 基于数学形态学的理论, 分析了肝脏 B 超图象的纹理特征, 提出了一种纹理特征抽取算法, 它具有旋转不变性, 通过分类实验与已有的基于数学形态学的特征进行了比较, 实验结果表明提出的方法分类精度高, 计算量小。

关键词 数学形态学 纹理特征 肝脏 B 超图象

0 引言

纹理是视觉表面的最基本的特征之一, 它为图象解释和分割提供重要信息。纹理分析是计算机视觉和模式识别的重要内容, 广泛应用于生物医学图象处理、遥感和工业图象等领域。

在人体组织的 B 超图象中蕴藏着丰富的纹理信息。肝脏 B 超图象的纹理是由于各种不同的肝脏组织纤维不同, 对超声脉冲的吸收、衰减、反射有差异, 超声脉冲又相互作用而形成的^[1]。因此, 不同肝脏 B 超图象的纹理有明显不同, 这就是所看到的光点粗细, 分布的差别, 医生正是根据这种纹理来判断肝脏有无疾病, 从这一点可看出肝脏 B 超图象的纹理反映肝脏组织的结构。因此, 对肝脏纹理的定量分析, 可以作为辅助医生诊断的参考。

纹理分析的关键问题是寻找一种有效的纹理特征, 目前, 其主要方法包括两种: 统计分析方法和结构分析方法。前者是将纹理视为随机场, 采用统计方法获取其统计特征如二阶统计特征^[2]。后者是将纹理视为某种基元按一定规则的排列。一般说来统计方法适用于所有纹理图象, 是更实用的方法, 而其中数学形态学在图象处理和纹理分析中已广泛应用^[3], 它已成为一种新的纹理分析手段。数学形态学的理论基础是集合论, 是在积分几何、几何概率的基础上发展起来的, 该方法把待分析图象看作点集, 通过腐蚀、膨胀等运算及定义在基本运算上的形态学变换, 对图象进行处理, 从而达到图象分析的目的, 现已广泛应用于图象增强、边缘检测和细化等领域。

可以认为数学形态学理论在图象处理和计算机视觉领域是一种非常有效的方法。

1 数学形态学的运算

数学形态学的运算有膨胀(Dilation)和腐蚀(Erosion)以及由它们演变而来的开运算(Opening)和闭运算(Closing)。

定义 1 设 f 为一灰度图象, h 为一个灰度结构元, 则有:

$$(f \oplus h)(r, c) = \max_{(i, j)} \{f(r - i, c - j) + h(i, j)\} \quad (1)$$

其中 \oplus 代表膨胀运算。

定义 2

$$(f \ominus h)(r, c) = \min_{(i, j)} \{f(r + i, c + j) - h(i, j)\} \quad (2)$$

其中 \ominus 代表腐蚀运算。

灰度闭运算定义为一个灰度腐蚀运算紧接一个灰度膨胀运算。灰度开运算定义为一个灰度膨胀运算紧接一个腐蚀运算。通常使用的灰度结构元有: 柱、圆、锥、抛物面以及半球。

2 数学形态学的特征提取

Peleg^[4]等人用灰度腐蚀和膨胀确定纹理灰度亮度表面的分数面, 其实质是利用形态运算抽取纹理图象 $f(x, y)$ 的分形参数。

定义灰度亮度表面 f 的阴影的 n 的值为:

$$V(n) = \sum_{(r,c)} \{ (f \oplus nh)(r,c) - (f \ominus nh)(r,c) \} \quad (3)$$

这里 nh 为 h 关于自己的 n 次膨胀, h 定义在五象素组成的十字形邻域上, 中心点取值为 1, 其余点取值为 0, 如图 1 所示。然后计算:

$$A(n) = [V(n) - V(n-1)]/2 \quad (4)$$

得到一条以 n 为变量的曲线 $A(n)$, 对每个值求出三点 $(\ln(n-1), \ln A(n-1)), (\ln(n), \ln A(n)), (\ln(n+1), \ln A(n+1))$ 的最佳拟合直线的斜率 $\delta(n), n=2, 3, \dots, k$, 这些斜率就是 Peleg 特征。

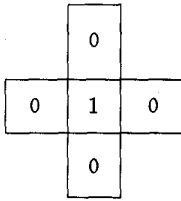


图 1

由于数学形态学变换实质是一个有目的地控制信息丢失、增强图象特征的过程, 这个过程与具体的数学形态学变换和结构元紧密相关, 而 Peleg 提出的结构元, 其旋转不变性较差, 因此, 本文在 Peleg 基础上进行改进, 采用的结构元是圆对称性的结构元, 因而提取的形态特征就具有圆对称性, 即旋转不变性。并且, 本文将膨胀和腐蚀的作用分开考虑, 从而得到两组纹理特征。

在数学形态学中, 单位圆对称结构元如图 2 所示。但是其结构元包含点较多, 势必将增加运算量, 我们提出如下的圆对称结构元, 如图 3 所示。

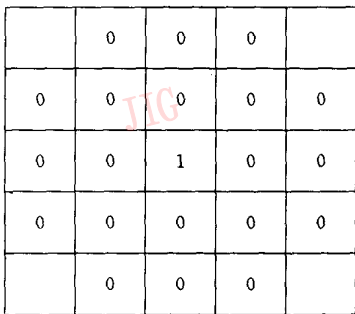


图 2

由于其包含的点较少, 运算量较少, 在圆内其圆心取值为 1, 其余的点值为 0, 表示与图象运算时, 仅与对应各点之象素点有关, 对应于四个非格点之线性内插值得到, 即:

设 $t(i)$ 是 4 个内插点中的任意一个, $\{(j), j=$

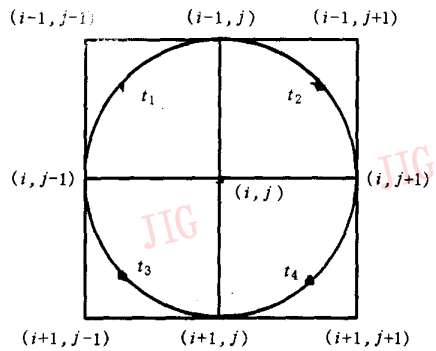


图 3

1, 2, 3, 4} 围绕 $t(i)$ 的 4 个象素, $t(i)$ 与 $s(i)$ 的距离定义如下:

$$d(i, j) = \|t(i) - s(j)\| \quad (5)$$

设 $f(\cdot)$ 代表象素“ \cdot ”的灰度值, 则内插点的灰度的计算公式为:

$$f[t(i)] = [1/\sum_{j=1}^4 d(i, j)] \times \{ \sum_{j=1}^4 d(i, j) \times f[s(j)] \} \quad (6)$$

有公式(6)可计算出每一个内插点的灰度表达式:

$$f[t(1)] = a \times s(i, j-1) + b \times s(i-1, j-1) + a \times s(i-1, j) + c \times s(i, j) \quad (7)$$

$$f[t(2)] = a \times s(i-1, j) + b \times s(i-1, j+1) + a \times s(i, j+1) + c \times s(i, j) \quad (8)$$

$$f[t(3)] = a \times s(i, j-1) + b \times s(i+1, j-1) + a \times s(i+1, j) + c \times s(i, j) \quad (9)$$

$$f[t(4)] = a \times s(i, j+1) + b \times s(i+1, j+1) + a \times s(i+1, j) + c \times s(i, j) \quad (10)$$

其中 $a+b+a+c=1$ 。得到 $a=0.217, b=0.4, c=0.166$ 。

3 肝脏组织分类

我们选择不同类型的肝脏图象, 每种类型选择十几幅图象作为训练样本, 计算出肝脏纹理特征参量作为数据文件保存, 形成各种不同种类肝脏图象特征参数所对应的专家知识库, 从知识库可求出每类肝脏图象纹理参数的统计值(最小, 最大, 均值, 标准偏差)。本文在统计模式识别的最小距离分类方法的基础上, 提出了最小特征加权街区距离分类的方法, 分类效果好, 识别率高。

假定对 n 种类型的肝脏分类, 记:

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n) \quad (11)$$

其中 w_i 表示某一类型的肝脏。

第 i 类 (w_i) 的均值矢量, 表示 w_i 在特征空间的聚类中心, 记为:

$$M = (m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{ip}) \quad (12)$$

这里 p 为所选用的特征参数的数目, m_{ij} 为 w_i 类图象的第 j 个特征矢量的均值, 由 $m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{ip}$ 这 p 个均值组成的向量在 m 维特征空间中一点, 称其为第 i 类肝脏纹理图象训练样本的聚类中心。

设被检测样本的特征矢量记为:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p) \quad (13)$$

若采用最小街区距离分类方法进行分类, 对每一类图象将产生一些错误的识别, 因此, 我们提出了最小特征加权街区距离的分类方法:

设权:

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_j, \dots, z_p) \quad (14)$$

对第 i 类图象训练样本的专家知识库中的特征参数进行分类, 求出各分量的最大值 $\delta_{\max,ij}$, 最小值 $\delta_{\min,ij}$ 和标准偏差 std_i , 从而求出加权系数 Z_j :

系数:

$$\Psi_j = (\delta_{\max,ij} - \delta_{\min,ij}) / std_j \quad (15)$$

系数和:

$$sum = \sum_{j=1}^p \Psi_j \quad (16)$$

加权系数:

$$Z_j = \Psi_j / sum \quad (17)$$

Z_j 为归一化加权系数, 即 $\sum_{j=1}^p Z_j = 1$, 则最小特征加权街区距离为:

$$D(g, i) = \sum_{k=1}^p z_k |x_k - m_{ik}| \quad (18)$$

其中 $D(g, i)$ 表示被检测图象 g 与第 i 类图象样本之间的距离。

若被检测的图象属于 w_i 类, 则 $D(g, i) < D(g, j) (i \neq j, 1 \leq j \leq n)$ 。

4 分类实验结果

图 4 为一正常肝脏 B 超图象, 图 5 为一肝硬化 B 超图象, 图 6 为一肝囊肿 B 超图象。我们选择这 3 种类型的肝脏, 每种类型选择 20 幅图象作为训练样本, 计算出肝脏纹理特征参数, 通过实验发现肝脏图象通过膨胀变换后对正常肝脏、肝硬化和肝囊肿, 得到的特征有明显的区别, 而腐蚀作用不如膨胀作用有效,

因此, 本文只考虑膨胀作用。现将 30 幅 64×64 象素的图象测试样本, 其中正常肝脏、肝硬化和肝囊肿各 10 幅, 其数学形态学的分形参数值列于表 1。

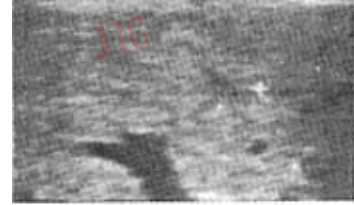


图 4 正常肝脏 B 超图象

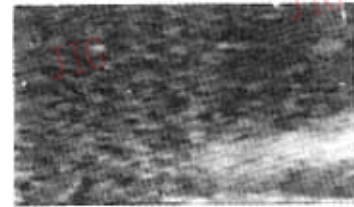


图 5 肝硬化 B 超图象

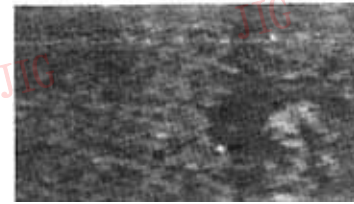


图 6 肝囊肿 B 超图象

表 1

正常肝脏	肝硬化	肝囊肿
6.543	6.789	7.012
6.517	6.927	7.142
6.599	6.726	6.972
6.586	6.773	6.982
6.640	6.824	7.001
6.561	6.868	6.923
6.522	6.774	7.214
6.573	6.860	7.212
6.608	6.879	7.223
6.507	6.756	7.153

从表 1 可看出, 正常肝脏的分形参数值较肝硬化和肝囊肿值小, 这是因为正常肝脏其实质部分回声均匀, 图象纹理细腻, 灰度变化范围小, 丢失信息的速度慢, 而肝囊肿图象中肝实质部分回声较粗, 灰度变化范围大, 丢失信息的速度最快。

同时,本文将上述 30 幅图象旋转 45°后计算其数学形态学的分形参数值,见表 2。将表 2 与表 1 比较,我们发现旋转 45°后的纹理样本的分形参数值与原图象的纹理样本的分形参数值非常接近,这说明我们提取的特征与方向无关,即具有很好的旋转不变性。

表 2

正常肝脏	肝硬化	肝囊肿
6.541	6.784	7.021
6.521	6.925	7.113
6.595	6.730	7.012
6.587	6.777	6.988
6.641	6.826	6.997
6.558	6.866	6.973
6.520	6.780	7.204
6.571	6.862	7.224
6.611	6.881	7.202
6.504	6.758	7.154



吴泽晖 1996 年毕业于安徽大学,获电路与系统专业硕士学位,目前在海南大学信息科学技术学院任讲师。主要研究领域为图象处理,计算机视觉和模式识别等,发表论文数篇。



汪炳权 1959 年毕业于安徽大学电子工程与信息科学系教授,中国图象图形学学会理事,中国电子学会高级会员。主要研究方向为图象识别和计算机视觉应用。发表论文数十篇,曾获安徽省科技进步三等奖 2 项。

本文对 60 幅肝脏图象进行自动分类,运用最小特征加权街区距离分类器,通过与 Peleg 提出的方法比较,本文提出的改进方法通过分类实验,其识别率为 96%,而 Peleg 提出的方法应用于肝脏 B 超图象上,其识别率为 86%。因此,我们提出的纹理形态特征能较好地反映肝脏图象的纹理特征,而且具有很好的旋转不变性。

参 考 文 献

- 1 冯麟增. 简明 B 型超声诊断学. 北京:北京科学技术出版社.
- 2 Haralick R M, Dinstein I. Texture features for image classification. IEEE Trans Systems Man Cybernet, 1973, SMC-3: 610~620.
- 3 Haralick R M, Sternberg S R, Zhang Xinhua. Image analysis using mathematical morphology. IEEE Trans, July 1987, PA-MI-9(4):532~550.
- 4 Peleg S, Naor J, Hartly R, Avnir D. Multiple resolution texture analysis and classification. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, May 1984, PAMI-6(4):243~256.

Texture Recognition of B-Scan Ultrasonic Images of Liver Based on Mathematical Morphology

Wu Zehui

(Information Institute, Hainan University, Haikou 570228)

Wang Bingquan

(Department of Electronic Engineering and Information Science, Anhui University, Hefei 230039)

Abstract Based on mathematical morphology, this paper analyses texture feature of B-scan ultrasonic images of liver and presents an algorithm for rotation invariant texture feature extraction. Compared with other morphology-based algorithms, experimental results show that our texture feature has high classification accuracy.

Keywords Mathematical morphology, Texture feature, B-scan ultrasonic images of liver