

分形维数特征量对病变组织的超声定征

曾发龙 王思贤 李飞鹏 王莉 何楚

(武汉大学图象与信息技术研究所, 武汉 430072)

摘要 按照 Mandelbrot 的分形理论, 医学图象及许多自然图象的灰度表面的形成均符合分形布朗运动规律, 而且可以用分形的维数来表征图象灰度表面的精细与粗糙程度。文中正是基于这种思想, 采用图象的分形维数作为一个特征参量, 对人体的肌肉组织进行超声定征。对 60 多个样本三类病变图象提取分形维数, 并采用基于 Bayes 法则的分类器分类, 实验表明: 用分形维数对组织进行定征, 正确率达 88.33%。这为医学的临床辅助诊断提供了一种新的参考量, 对提高病变诊断的正确率有重大的意义。

关键词 分形布朗运动 分形维数 Bayes 法则 组织定征

0 引言

超声检查是用于人体内部结构与组织检查的最为常见的手段^[1], 以其使用方便、实时动态检测、直观、对软组织有较高分辨能力、无副作用、成本低廉等特点在心脏疾病和病变组织的临床诊断上得到了十分广泛的应用^[2]。超声图象是超声检查的关键所在, 它的质量的好坏, 直接影响着医生对病情的诊断。但由于目前超声图象中所使用的频率、强度范围发生了不容忽视的非线性效应(如: 波形畸变、谐波滋生等), 导致图象噪声大, 加上超声图象的灰阶少等弱点, 给临床的疑难病症的确诊, 尤其是早期预测带来了很大的困难。因此怎样从目前的图象中, 采用图象处理技术, 探索出一种能更好表征组织的特征参量是一项十分重要而有意义的研究。

这种为了提高超声诊断的准确性, 不断探索超声传播中与生物组织相互作用后携带的组织特征的信息, 并试图用这些特征的差异来表征和区分正常组织与病变组织, 就是通常所说的组织定征。目前, 从一系列的研究工作中分析发现, 组织定征的特征参量的提取主要有两个方面, 一是提取超声图象形成过程中的非线性参量为特征量^[3]; 另一方面是从图象的角度考虑, 由于超声图象是由许多斑点和块组成, 呈现出纹理的特性, 因此可提取一些纹理特征作为组织识别特征参量。其中最为常用的主要有: 一阶空间灰度共生阵列; 二阶空间灰度共生阵列、熵

值、傅立叶的幅值等^[4]。本文就是从第二个方面出发, 把超声图象看成是随机的分形布朗运动的结果, 图象的纹理反映为粗糙与精细度不同的灰度表面, 通过测量灰度表面粗糙与精细度的参量——分形维数来区分正常的组织与病变的组织, 来实现组织定征的目的。

1 分形维数及分形布朗运动

1.1 分形维数

我们知道测量一条直线时, 需要选择用一个单位来进行度量, 才能测出该直线的长度, 当所选的单位发生改变, 那么测得直线的量值也就发生了改变。如图 1 所示。其中: $\epsilon_1 = 3, \epsilon_2 = 1$ 。

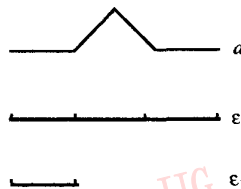


图 1 曲线 a 与度量单位 ϵ_1, ϵ_2

若选择 ϵ_1 为单位来测量 a , 则 a 中包含 ϵ_1 的个数 $N(\epsilon_1)$ 为 1, 若选择 ϵ_2 为单位来测量 a , 则 a 中包含 ϵ_2 的个数 $N(\epsilon_2)$ 为 4。Mandelbrot 通过大量的实验研究证明, 测量单位 ϵ 与曲线的长度(或所包含单位的个数) $N(\epsilon)$ 存在着如下关系:

$$N(\epsilon) \propto \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^D \quad D = -\frac{\log N(\epsilon)}{\log(\epsilon)} \quad (1)$$

并把 D 叫做曲线的分形维数,即分数维。它不同于拓扑空间的整数维,能够反映该曲线的曲折程度。把上述分析的值代入(1)式有:

$$D_1 = 1 \quad D_2 = 1.26$$

由此可见: D 越大,曲线的曲折度越大,同样将其推广到二维的图象空间,则反映的是该表面的精细与粗糙结构状况。

1.2 分形布朗运动

Mandelbrot 通过研究发现,描述自然界分形现象的最好模型是分形布朗运动,认为随机的运动是造成自然界产生不同粗糙表面的结果,而且随机的运动是自然界普遍存在的现象。因此超声图象也可认为是随机运动形成灰度不同的分形布朗运动的结果,已被应用于自然图象的分析与生成。对于任何一条分形布朗运动曲线 $I(x)$ 均有:

$$I(x_2) \rightarrow I(x_1)$$

$$E(|I(x_2) - I(x_1)|) \propto |x_2 - x_1|^H$$

其中 $0 < H < 1$, E 为均值。

取

$$\Delta I_{\Delta r} = |I(x_2) - I(x_1)| \quad \Delta x = |x_2 - x_1|$$

则有:

$$E(\Delta I_{\Delta r}) \propto \Delta x^H$$

Voss^[5]证明分形布朗运动曲线的分形维数为:

$$D = 2 - H$$

推广到二维图象,若分形布朗运动的表面灰度为 $I(x, y)$, 则有:

$$\begin{aligned} \Delta I_{\Delta r} &= |I(x_2, y_2) - I(x_1, y_1)| \\ \Delta r &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ E(\Delta I_{\Delta r}) &\propto \Delta r^H \quad (2) \\ D &= 3 - H \quad (3) \end{aligned}$$

2 基于 Bayes 法则的分类器原理

该分类器选用作为判别的函数是:

$$g_i(x) = \log p(x/w_i) + \log p(w_i)$$

其中 x 为样本, w_i 为将要分的类别。若存在

$$g_i(x) > g_j(x), \forall i \neq j$$

则判断 $x \in w_i$ 。

在实际的判断中,常常认为 x 是符合正态分布的, $p(w_i)$ 是常数则有:

$$g_i(x) = -\frac{1}{2}(x - \mu_i)' \Sigma^{-1}(x - \mu_i) - \frac{1}{2} \log(|\Sigma|)$$

其中:

$$\mu_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad \Sigma = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k - \mu)^2$$

3 实验原理

把图象的灰度当作三维图象的 Z 轴, X 轴为像素 $I(x, y)$ 的行数, Y 轴为像素 $I(x, y)$ 的列数。如图 2 所示。

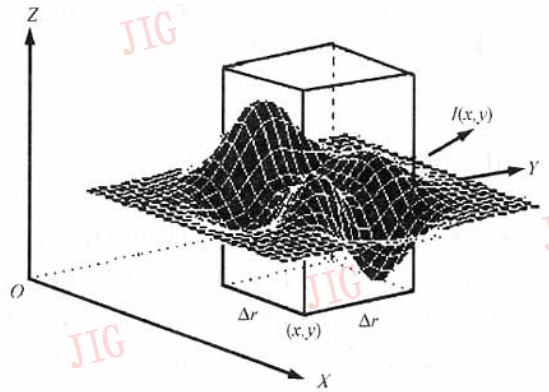


图 2 Z 轴为灰度值, X 轴为行值, Y 轴为列值

对任一幅 $M \times M$ 大小的图象,以图象中任意一点 (x, y) 为基点,在各个方向上寻找出与基点距离相差为 ϵ 的点群,并计算出这些点与基点之间的灰度差值的绝对值和:

$$\Delta I_\epsilon = \sum_{\epsilon} |I(x_i, y_j) - I(x, y)|$$

$$\epsilon = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_j - y)^2}, i, j \in N$$

图象中和 (x, y) 相距 ϵ 的点总数为: $Num(\epsilon)$, 则:

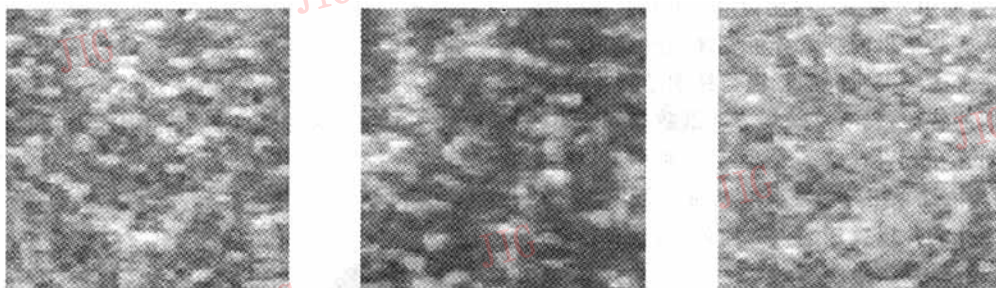
$$E(\Delta I_\epsilon) = \frac{\Delta I_\epsilon}{Num(\epsilon)}$$

根据上面的(2)、(3)式可计算出图象的分形维数 D 。但在实际中,通常是计算出不同的 $\Delta\epsilon_1, \Delta\epsilon_2, \Delta\epsilon_3 \dots$ 下的 $H_1, H_2, H_3 \dots$ 值,而后用直线拟合的方法求 H ,再应用上面的(3)式求出 D ,这样的 D 更精确。

4 实验结果

实验采用 60 幅 100×100 大小包含正常肌肉、神经源性肌肉萎缩和肌源性肌肉萎缩的超声图象(见图

3)为对象,采用上述方法分别对它们提取分形维数特征参量,并用分类器将其分类,实验结果见表 1。



(a) 神经源性肌肉萎缩

(b) 正常肌肉

(c) 肌源性肌肉萎缩

图 3

表 1 样本的维数及分类结果

识别率:CR=88.33%

神经性肌肉萎缩(0)			正常肌肉(1)			肌源性肌肉萎缩(2)		
样本	项目		样本	项目		样本	项目	
	维数	类别		维数	类别		维数	类别
1	2.1994	0	21	2.2316	1	41	2.3081	2
2	2.1726	0	22	2.2260	1	42	2.2897	2
3	2.1897	0	23	2.2380	1	43	2.3111	2
4	2.1600	0	24	2.2580	1	44	2.3666	2
5	2.1959	0	25	2.2640	1	45	2.3235	2
6	2.1988	0	26	2.2310	1	46	2.3350	2
7	2.1750	0	27	2.2359	1	47	2.3361	2
8	2.2160	0	28	2.2261	1	48	2.3439	2
9	2.1831	0	29	2.3267	2	49	2.2928	2
10	2.2045	0	30	2.2580	1	50	2.2817	2
11	2.2069	0	31	2.2384	1	51	2.3112	2
12	2.1959	0	32	2.2301	1	52	2.3240	2
13	2.1927	0	33	2.2432	1	53	2.3450	2
14	2.1785	0	34	2.2498	1	54	2.2840	2
15	2.2112	0	35	2.2220	1	55	2.2690	1
16	2.2019	0	36	2.2036	0	56	2.3611	2
17	2.2463	1	37	2.2174	0	57	2.2842	2
18	2.2345	1	38	2.2490	1	58	2.2650	1
19	2.1860	0	39	2.2469	1	59	2.2850	2
20	2.1908	0	40	2.2316	1	60	2.3142	2

其中 0 为神经源性肌肉萎缩; 1 为正常肌肉; 2 为肌源性肌肉萎缩。

5 结果分析

通过显微镜可以知道神经源性肌肉萎缩、正常肌肉与肌源性肌肉萎缩的结构不同,三种肌肉的分布特点为:

(1) 神经源性肌肉萎缩。萎缩的肌纤维是按神经支配分布,呈或大或小的集簇性,即一个肌束中的肌纤维正常,而另一个肌束中的肌纤维全部萎缩,或一个肌束中的部分肌纤维正常,而另一部分肌束中

的肌纤维呈小簇状的萎缩。这样形成的灰度平面中的块状结构就很明显,比较平滑;

(2) 肌源性肌肉萎缩。一个肌束中的肌纤维萎缩程度不同,萎缩的肌纤维与正常的肌纤维无规则地、镶嵌状地交叉存在,不呈簇状,排列紊乱,方向不一。形成的灰度表面十分粗糙;

(3) 正常肌肉。结构分布居于神经源性肌肉萎缩和肌源性肌肉萎缩之间,比神经源性肌肉萎缩的结构更粗糙,但比肌源性肌肉萎缩的结构更精细。

三类疾病结构相差无几,一般人的肉眼根本无

法分辨,医学专家若只凭超声图象,辨别率也只有左右,只好借助用显微镜观察肌肉组织的切片来诊断。

但从实验结果的维数分析发现,分形维数能很好地描述上述三类肌肉的粗糙与精细结构特性,找出了它们的特征差异,反映了分形维数与病变组织结构之间存在着直观的关系,而且识别率可以达到 88.33%。因此采用分形维数来识别病变组织,不仅能避免制作切片以减轻病人的痛苦,而且有较高的识别率,提高了疾病的诊断率。

参 考 文 献

- 1 于 为,郁道银,邹群峰等. 医学超声图象的处理与拼接. 生物医学工程学报,1997,16 (3)。
- 2 姜宗义,虞海涵. 医学电子仪器手册. 江苏科技出版社,1992.

王思贤 武汉大学电信学院副教授,多年从事图象处理、模式识别和人工智能等工作。

王 莉 武汉大学电信学院计算机图象处理专业研究生,主要研究方向为图象处理,识别。

- 3 刘小审,龚秀芬,芮 斌,曹怜之. 非线性声参量对病变生物组织的超声定征. 生物医学工程学报,1997,16 (2)。
- 4 Wu Chung-Ming, Chen Yung-Chang *et al.* Texture features for classification of ultrasonic liver images, IEEE Transactions on Medical Image,1992, 11 (2):141~152.
- 5 Voss R F. Random fractal forgeries. In: Fundamental Algorithms for Computer Graphics, Earnshaw R A (ed), New York: Springer Verlag,1985, 805~836.



曾发龙 武汉大学电信学院计算机图象处理专业研究生。主要研究方向为图象处理,识别。



李飞鹏 武汉大学电信学院计算机图象处理专业研究生,主要研究方向为图象处理,识别。

何 楚 武汉大学电信学院计算机图象处理专业研究生,主要研究方向为图象处理,识别。

Classification of the Sick Organise Based on the Feature of Fractal Dimension

Zeng Falong, Wang Sixian, Li Feipeng, Wang Li and He Chu

(The Research Institution of Image and Information Technology, Wuhan University, Wuhan 430072)

Abstract Mandelbrot's fractal theory regards that many natural and medical images as the end result of Fractional Brownian Motion(FBM) . The fractal dimension is suit to measure the fineness or roughness of the surface. Based on this idea, the fractal dimension is applied in classifying ultrasonic images of muscle organ in this article. After the fractal dimensions of 60 samples are calculated by this way ,then classified by Bayes classifier,the correct classification rate accounts to 88.33%. The very high rate provethat the fractal dimension can be a new feature for clinical diagnose and very significant to improve the correct diagnostic rate.

Keywords Fractional Brownian motion, Fractal dimension, Bayes classifier, Organise classification