

# 医学 B 超图象的模糊增强处理方法

任 彬 汪炳权 黄 勇

(安徽大学电子工程与信息科学系,合肥 230039)

摘 要 本文根据 B 超图象的灰度特性,选用象素的相对灰度等级作为模糊特征,在对图象作灰度线性变换和中值滤波的基础上,采用模糊算法实现 B 超图象的模糊增强处理。实验表明通过调节模糊参数可显著提高图象的增强效果。

关键词 B 超图象,模糊增强,医学

## 1 引 言

图象增强是力求改善图象外观的一种数字处理方法,该方法把图象转换成更适合人眼观察判断或机器视觉分析处理的另一种形式,其实质是有选择的加强图象中某些信息而抑制掉另一些信息,目的是增加图象的有用性。由于图象本身的复杂性,在处理过程的各个不同层次可能出现不确定性和不精确性,即模糊性,近年来不少学者致力于把模糊集理论引入图象处理和识别技术的研究,已取得显著的成效,表明基于模糊集理论的处理和识别技术在一些场合具有比传统方法更好的效果<sup>[2]</sup>。

B 型超声波根据生物体内各种组织的声阻不同,使入射声波在组织界面产生反射,由传感器将反射声波的强度转化为生物体组织的断层图象,为医生正确诊断病情提供了丰富有效的信息。由于 B 超图象的噪声较大,病灶部位边界轮廓不清,反差较低等原因给直接判读带来了一定困难。本文选用 B 超图象中象素的灰度相对等级作为模糊特征,在图象的模糊特征平面上,采用模糊算法对 B 超图象作了模糊增强处理,经与传统方法对比,获得了满意的结果。

## 2 图象模糊特征平面

设  $\Omega = \{X\}$  是一个任意的普通集合,对于  $\Omega$  中的每个元素  $X$  定义一个实函数  $\mu_D(X)$ ,满足

$$0 \leq \mu_D(X) \leq 1$$

并用  $\mu_D(X)$  描述  $X$  属于  $D$  的“程度”,称  $D$  是  $\Omega$  的一个“模糊子集”,由函数  $\mu_D(X)$  决定, $\mu_D(X)$  称为  $D$  的“隶属度(函数)”。

按模糊子集的概念,一幅灰度级为  $L$  的  $M \times N$  二维图象  $X$ ,可作为一个模糊点集阵看待,记为

$$X = \begin{bmatrix} p_{11}/X_{11} & p_{12}/X_{12} & \cdots & p_{1N}/X_{1N} \\ p_{21}/X_{21} & p_{22}/X_{22} & \cdots & p_{2N}/X_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{M1}/X_{M1} & p_{M2}/X_{M2} & \cdots & p_{MN}/X_{MN} \end{bmatrix}$$

或

$$X = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N P_{ij}/X_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中  $P_{ij}/X_{ij}$  表示图象中第  $(i, j)$  点象素具有某种特征的程度为  $P_{ij}$  ( $0 \leq P_{ij} \leq 1$ ),称  $P_{ij}$  为模糊特征。若以象素的相对灰度等级作为感兴趣的模糊特征,令  $X_{ij}$  表示图象中第  $(i, j)$  点象素的灰度值,  $X_{\max}$  表示最大灰度值,则模糊特征可由下式提取得到:

$$P_{ij} = F(X_{ij}) = \left[ 1 + \left( \frac{X_{\max} - X_{ij}}{F_p} \right)^2 \right]^{-1}$$

$$i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式中  $F_p$  是模糊参数。上式表明,当  $X_{ij} \rightarrow X_{\max}$  时,  $p_{ij} \rightarrow 1$ ; 当  $X_{ij}$  值减小时,  $P_{ij}$  随之减小。因此(2)式定义的模糊特征  $P_{ij}$  将具体表示图象中第  $(i, j)$  点象素具有最大灰度值的程度,全体  $P_{ij}, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$ , 组成的平面称图象模糊特征平面<sup>[2]</sup>。考虑到当  $X_{ij} = 0$  时,  $P_{ij}$  为一有限正数:

$$\partial = \left[ 1 + \left( \frac{X_{\max}}{F_p} \right)^2 \right]^{-1}$$

故的  $P_{ij}$  实际取值范围是  $[\alpha, 1]$  闭区间。

### 3 图象的模糊增强系统模型

图1中  $f(x, y)$  表示输入图象;GLT 表示灰度范围的线性变换;S 表示平滑处理;FE 为模糊增强处理;  $g(x, y)$  表示输出图象。

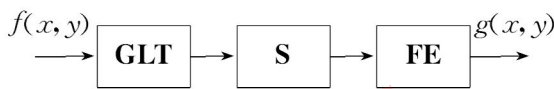


图1 B超图象模糊增强处理系统模型

Fig.1 System model of B-mode image fuzzy enhancement.

#### 3.1 灰度范围线性变换(GLT)

B 超图象的灰度范围较小,通常在 0—140 之间(对 8bit 数字图象,最大灰度范围为 0~255)。由于模糊特征平面经模糊算法处理后形成新的模糊特征平面  $P'_{ij}$ ,经(2)式逆变换( $X'_{ij} = F^{-1}(P'_{ij})$ )得到的输出图象没有改变灰度的分布范围,为增强视觉效果,我们采用灰度范围线性变换对 B 超图象作自动灰度扩展处理,方法如下:

设原图象  $f(x, y)$  的灰度范围是  $[a, b]$ ,变换后图象  $f'(x, y)$  的灰度范围希望扩大到  $[c, d]$ ,则线性变换定义为

$$f'(x, y) = [(d - c)/(b - a)] [f(x, y) - a] + c \quad (3)$$

则图象的自动灰度范围线性变换包括以下步序:

- ① 统计计算图象灰度分布直方图  $H(k), 0 \leq k \leq L-1, L$  为图象最大灰度级
- ② 令  $i = 0$  至  $L-1$ ,若  $H(i) \neq 0$  则  $a = i$
- ③ 令  $j = L-1$  至  $0$ ,若  $H(j) \neq 0$  则  $b = j$
- ④ 确定参数  $c = 0, d = L-1 = 255$ ,代入(3)式

在实际操作中,为排除噪声干扰,可让②、③步中的判断条件  $H(k)$  大于一定的象素频数,以粗略判断原图象中的灰度分布范围。

#### 3.2 平滑处理(S)

为了在保持图象细节的前提下对图象作平滑处理,我们采用中值滤波法。设窗口大小为  $A = N \times N$  ( $N$  为奇数),对窗口内的各象素灰度值进行比较排序,用其中值取代窗口中心象素的灰度值,即图象中第  $(i, j)$  点的灰度值将通过对该点邻域  $A$  内  $N^2$  个点的灰度值取中值得到:

$$X'_{ij} = \underset{A}{\text{Median}} X_{mn} \quad (m, n) \neq (i, j), (m, n) \in A \quad (4)$$

#### 3.3 模糊增强算法(FE)

设作用在模糊集  $D$  上的对比度增强算子 CEO 可以产生一个新的模糊集:  $\text{CEO}(D) = D'$ ,其隶属度函数为:

$$\mu_{D'}(X) = \mu_{\text{CEO}}(X) = \begin{cases} 2[\mu_D(X)]^2 & 0 \leq \mu_D(X) \leq 0.5 \\ 1 - 2[1 - \mu_D(X)]^2 & 0.5 \leq \mu_D(X) \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

该运算降低了模糊集  $D$  的模糊性,因为进一步增大了 0.5 以上的  $\mu_D(X)$  值、减小了 0.5 以下的  $\mu_D(X)$  值,不妨用隶属度变换  $T_1$  表示上述运算:

$$\mu_{D'}(X) = T_1(\mu_D(X)) = \begin{cases} T_1^{(1)}(\mu_D(X)) & 0 \leq \mu_D(X) \leq 0.5 \\ T_1^{(2)}(\mu_D(X)) & 0.5 \leq \mu_D(X) \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

将(6)式用于模糊特征平面,有

$$p'_{ij} = T_k(p_{ij}) = \begin{cases} T_k^{(1)}(p_{ij}) & 0 \leq p_{ij} \leq 0.5 \\ T_k^{(2)}(p_{ij}) & 0.5 \leq p_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $T_k$  可定义为  $T_1$  的多次递归调用。当  $k \rightarrow \infty$  时,  $T_k(p_{ij})$  将产生二值图象。不难看出,对  $T_k$  作有限次递归调用,图象可显著增强。由此,可得模糊增强算法<sup>[2]</sup>:

① 对平滑处理后的图象按(2)式进行模糊特征提取,得到图象模糊特征平面:  $p_{ij} = F(x_{ij})$

② 在模糊特征平面上,对模糊特征  $p_{ij}$  按(7)式进行对比度增强变换  $T_k$ ,得到已增强的模糊特征  $p'_{ij}: p'_{ij} = T_k(p_{ij})$

③ 对新的模糊特征平面按(2)式进行逆变换,得出相应的已增强的输出图象:  $X'_{ij} = F^{-1}(p'_{ij})$  算法中,考虑到  $p_{ij} \in [\partial, 1], p'_{ij}$ ,平面可能含有  $p'_{ij}$  小于  $\alpha$  的区域,对此将所有小于  $\alpha$  的  $p'_{ij}$  值均用  $\alpha$  取代,便有  $\alpha \leq p'_{ij} \leq 1$ ,它是逆变换的约束条件。

在模糊增强处理过程中,合理选择模糊参数  $F_p$

是保证增强效果的重要环节。模糊参数  $F_p$  的选择与图象空间域的分界点  $X_c$  的确定相关,所谓分界点要求满足以下条件:

$$\begin{aligned} &\text{当 } x_{ij} > X_c \text{ 时, } p_{ij} > 0.5 \\ &\text{当 } x_{ij} < X_c \text{ 时, } p_{ij} < 0.5 \end{aligned} \quad (8)$$

因此在确定分界点  $X_c$  后  $F_p$  值可由(2)式令  $p_{ij}=0.5$  直接求得。事实上,在公式(2)中,令  $p_{ij}=0.5$  有

$$F_p = x_{\max} - x_c \quad (9)$$

当  $F_p$  增大时,  $X_c$  减小;当  $F_p$  值减少时,  $X_c$  增大。由此看出,在任意确定分界点  $X_c$  后。可通过调节模糊参数  $F_p$  以改变图象的增强效果。在 B 超图象处理中,根据我们的经验,分界点  $X_c$  一般取小于图象平均灰度值的一半较好。

### 3.4 模糊增强效果的度量

为了检验和评价增强效果,我们采用图象增强前后对应的两个模糊集合的信息熵进行比较<sup>[1]</sup>。设  $n$  个元素的模糊集合  $P$ ,熵定义为:

$$H(P) = \frac{1}{n \ln 2} \sum_{i=1}^n [S_n(p_i)] \quad (10)$$

其中  $S_n(\cdot)$  为 shannon 函数:  $S_n(p_i) = -p_i \ln p_i - (1-p_i) \ln(1-p_i)$ 。

将(10)式推广到二维图象的模糊集合  $P$  中

$$H(P) = \frac{1}{MN \ln 2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [S_n(P_{ij})] \quad (11)$$

用模糊增强算子  $T_k$  作用在  $P = \{P_{ij}\}$  可产生  $P' = \{P'_{ij}\}$ ,该集合的熵  $H(P')$  的定义与(11)式相同。

由于熵  $H(P)$  是非负的,而算子  $T_k$  可递归调用,当  $k \rightarrow \infty$  时,  $P' = \{P'_{ij}\}$  变成一个普通集合:即

$$p'_{ij} = \begin{cases} 0 & 0 \leq p_{ij} \leq 0.5 \\ 1 & 0.5 \leq p_{ij} \leq 1 \end{cases}$$

$$(i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N)$$

此时增强后的图象为二值的,故  $H(P')=0$ ,说明图象的模糊增强效果是朝着熵减的方向进行的,即  $H(P') < H(P)$ 。

## 4 实验结果

图 2(a)为胆囊 B 超原始图象,灰度分布范围在 0 到 132 之间,平均灰度值为 40。图 2(b)、(c)是分别采用传统的对比度线性增强和直方图均衡处理的结果。图 2(d)为原始图象未经灰度范围线性变换,分界点  $X_c$  取 15,  $k$  取 2,模糊参数  $F_p$  取 117 时的模糊增强处理结果。图象虽得到较好的增强处理,但灰度范围并未改变,视觉效果不如传统处理方法。图 2(e)~图 2(h)为原始图象经过灰度范围线性变换后(平均灰度值为 80),取分界点  $X_c=70$ ,  $k$  取 2,  $F_p$  分别取 185、205、225 和 245 时模糊增强处理结果。其增强效果明显优于前一种方法(灰度范围未作线性变换),从后一种处理方法的实验结果看,  $X_c$  取值偏大时,图象中低灰度值的区域有一定程度的信息丢失,如图 2(e),这种情况可适当增大  $F_p$  值以改善增强效果,如图 2(h)。就图象清晰度而言,采用模糊增强方法比传统方法有更好一些的处理效果。

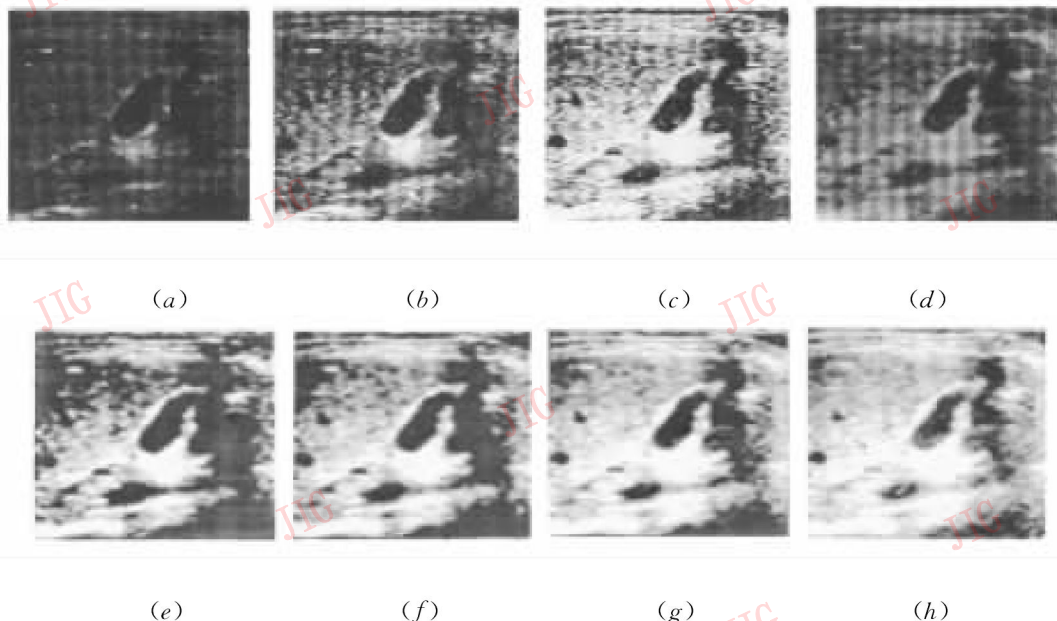


图 2 胆囊 B 超图象模糊增强处理结果

Fig. 2 Fuzzy enhancement result of B-mode image.

## 5 结论

图象增强处理技术对于提高图象质量有着重要意义。本文根据 B 超图象的灰度特点,采用灰度范围线性变换、中值滤波以及模糊增强算法实现胆囊 B 超图象的模糊增强处理。实验结果表明,合理选择分界点  $X_c$  和调节模糊参数  $F_p$  可显著提高图象的增强效果。

### 参考文献

- 1 陈建军,陈武凡.彩色图象的模糊增强研究.计算机应用与软件,

1995,12(6):54~59.

- 2 郭桂蓉,庄钊文.信息处理中的模糊技术.北京:国防科技大学出版社,1993. 186~192.
- 3 Pal S K, King R A. Image enhancement using smoothing with fuzzy sets. IEEE trans. syst., Man, cybern., 1981 SMC-11. (7).
- 4 Pal S K, king R A. Image enhancement using fuzzy set. Electron. lett., 1980 16, (May 9):376~378.



任彬 1987 年安徽大学无线电系毕业,获工学学士学位。1995 年在安徽大学电子工程与信息科学系获电路与系统专业硕士学位,主要从事计算机视觉,图象处理等教学与研究工作。发表论文 7 篇。

# Fuzzy Enhancement Method For Medical B-mode Image

Ren Bin Wang Bingquan Huang Yong

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

**Abstracts** According to the gray properties of B-mode image, relative gray grade of pixel was selected as fuzzy feature. On the basis of gray linear transformation and median filtering, fuzzy enhancement of B-mode image was realized by using fuzzy algorithm. Experimental results show that remarkable improvement of enhancement effect was obtained by adjusting fuzzy parameter.

**Keywords** B-mode image, Fuzzy enhancement, Medicine