

文章编号 1004-924X(2002)01-0094-04

基于模糊集理论的医学 CR 图像增强

刘恒殊, 黄廉卿

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要: 数字化 X 光影像可以划分为目标区和背景区两部分, 进行医疗诊断的信息主要集中在目标区, 因此在图像进行处理时应合理地地区分两部分并采用不同的方法进行处理。本文引入模糊集的概念来描述目标区和背景区, 并测定了隶属度函数, 建立了基于模糊集理论的图像处理模型, 给出了具体实现方法。处理后的图像增强了目标区图像的视觉效果, 使医学信息得到了更好的表达, 进而提高诊断的准确性。

关键词: 图像增强; 模糊集; 隶属度函数; CR 图像

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A

1 引言

X 线摄影是临床放射学检查中应用最早和最普遍的成像方式, 随着数字技术的发展, 出现了一种使用成像板记忆 X 光影像, 再经激光扫描转换成数字信号进入计算机处理的数字化 X 光摄影技术, 称为计算机 X 光影像(Computer Radiography, CR)。

CR 系统的基本组成如图 1 所示^[1], 其主要由常规 X 光机、成像板、激光扫描读取设备、计算机图像处理系统组成。系统首先通过普通的 X 光机将患者的待查部位成像在 IP 板上, 成像板是外观很象增感屏的一种薄板, 由保护层、成像层、支持层和背衬层组成。其中关键的成像层是一层含有二价铈离子的氟卤化钡晶体。该晶体层内的化合物经 X 线照射后可将接受的能量以潜影(模拟图像)的方式存储于晶体内, 用激光束扫描带有潜影的成像板时, 可激发存储于晶体内的能量, 使之转换为荧光并收集, 通过光电倍增器放大, 再经过 A/D 转换为数字量, 经图像采集接口传输到计算机, 最终形成数字图像, 由计算机处理后提供给医生进行诊断。

CR 有以下特点: 实现了常规 X 射线摄影信息的数字化, 可实现远距离传输和异地会诊大大

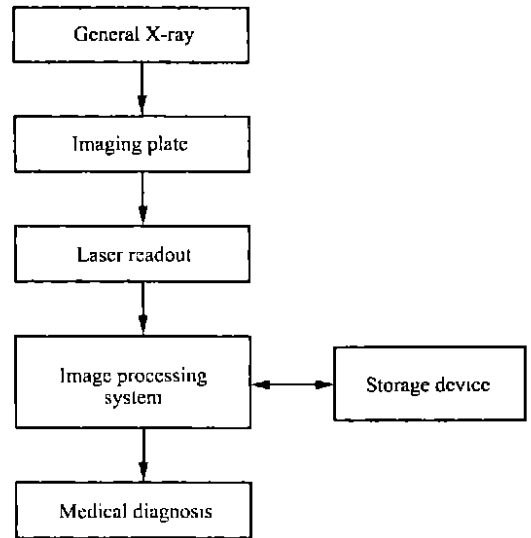


图 1 CR 系统基本组成

Fig. 1 Block diagram of CR structure composition.

降低了患者的 X 光照射剂量, 仅为原来的 1/5。通过 CR 系统, 可对图像进行各种后处理, 充分显示信息。

由于 CR 是集光机电技术于一体的系统, 其结构复杂, 各个环节的干扰很多, 所以得到的原始图像往往达不到预期效果, 需经进一步处理, 才能为实际医学诊断提供准确可靠的依据。目前针对 CR 图像的处理方法进行的研究很多, 本文采用了基于模糊集的处理方法。

2 图像结构的分析和模糊集的建立

一幅 X 光图像从结构上可分为目标区和背景区两部分。在背景区,由于 X 光线未经过人体直接照射在 IP 板上故强度较高,对应图像像素的灰度值低而且变化缓慢。在目标区, X 光线穿过人体引起衰减,图像灰度值高,因为人体各个部分对 X 光线的透射率不一样图像的亮暗变化较大。仪器受各方面因素的影响,背景区和目标区的分界模糊,一般来说,灰度值高的像素属于信息区,灰度值低的像素属于背景区,两者之间并没有一个固定的灰度值作为分界。由于各方面因素的影响,目标区和背景区的分界模糊。为了更好地处理图像,应用相应的数学模型描述目标区和背景区,并分别用不同的方法进行处理,为此我们引入模糊集来描述。

模糊集合的概念^[2-3]: 设在论域 U 上, 给定映射

$$\mu_{\tilde{A}}: U \rightarrow [0, 1], x \rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x)$$

则称 $\mu_{\tilde{A}}$ 确定了 U 上的一个模糊子集 \tilde{A} , 称 $\mu_{\tilde{A}}$ 为 \tilde{A} 的隶属函数, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 为 x 对 \tilde{A} 的隶属度。 $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 越接近 1, x 就越属于 \tilde{A} ; 反之, 越接近 0, x 就越不属于 \tilde{A} 。模糊集合运算基本与普通集合相同, 但不满足补余律, 即: $A \cap A^c \neq \varnothing$ 。说明模糊集的外延不分明, 没有明确的边界。

将信息区定义为一个模糊集合, 其中每一个像素都有其隶属度, 隶属度值越大, 说明其越属于信息区; 反之则越不属于信息区。这样定义的信息区集合具有模糊性, 更符合实际情况, 便于进一步处理。同样背景区也可用一模糊集来表示。

3 模糊集隶属度函数的确定

模糊集是由隶属度函数来描述的, 模糊集处理的关键是要准确地确定隶属度函数。确定隶属度函数的方法有专家评分法、因素加权综合法、二元对比排序法、模糊统计法几种。本文采用模糊统计的方法来测定隶属度函数,

模糊统计试验有四个要素^[4-6]:

- (1) 论域 U ; (2) U 中的一个固定元素 u_0 ;
- (3) U 中的一个可运动普通集 A^* , A^* 联系与模糊子集 \tilde{A} (相应的模糊概念为 α), \tilde{A} 的每一次固

定化, 都是对 α 所作出的一个确定划分, 它表示 α 的一个近似的外延; (4) 条件 S , 它联系着对概念 α 所进行的划分过程的全部客观或心理因素, 制约着 A^* 的运动。

模糊性的产生是由于 S 对划分过程没有限制死, A^* 可以变异, 它可以包含 u_0 , 也可以不包含 u_0 , 致使 u_0 对 A^* 的隶属关系是不确定的。设论域 U , 选定元素, 考虑一个运动着的边界可变的集合 A^* , 作 n 次试验, 计算 u_0 对 A^* 的隶属频率:

$$u_0 \text{ 对 } \tilde{A} \text{ 的隶属频率} = \frac{u_0 \in A^* \text{ 的次数}}{n}, \tag{1}$$

随着 n 的增大, 隶属频率会稳定在某一数值附近, 称之为隶属度频率稳定性, 频率稳定所在的数即定为隶属度。

表 1 隶属频率的测试

Table 1 Measurement of subordinate frequency membership

Relative gray value	Total number of measuring pixel	Pixel belonging to information region	frequency
0.0~ 0.05	20	0	0.0
0.05~ 0.1	25	0	0.0
0.1~ 0.13	50	1	0.02
0.13~ 0.16	50	5	0.10
0.16~ 0.2	50	8	0.16
0.20~ 0.23	100	25	0.25
0.23~ 0.26	100	42	0.42
0.26~ 0.29	100	51	0.51
0.29~ 0.32	100	64	0.64
0.32~ 0.35	100	73	0.73
0.35~ 0.38	100	82	0.82
0.38~ 0.41	100	87	0.87
0.41~ 0.44	100	91	0.91
0.44~ 0.47	100	93	0.93
0.47~ 0.5	100	95	0.95
0.5~ 0.55	50	48	0.96
0.55~ 0.6	50	47	0.94
0.6~ 0.65	50	49	0.98
0.65~ 0.7	50	50	1.00
0.7~ 0.75	50	50	1.00
0.75~ 0.8	30	30	1.00
0.8~ 0.90	30	30	1.00
0.9~ 1.0	20	20	1.00

由于被测试者的情况不同, 即使是同一测试者的不同部位的图像特性也不尽相同。所以在测试中选取了多名患者的不同照射部位的 X 光图像作为总体进行统计, 这样统计出的结果有一定的代表性。考虑到不同图像的灰度值分布区间不一样, 首先应将图像的灰度值进行归一化, 将绝对灰度值变为相对灰度值, 变换后的灰度值分布在

[0, 1] 区间上。从不同图像随机抽取若干像素点, 判断其是否属于目标区, 再根据其相对灰度值分为几个区间, 应用 (1) 式计算隶属频率, 得到表 1。

对表 1 的数据进行曲线拟合处理^[7-8], 可得到图 2 曲线, 将其作为模糊集合的隶属度函数, 记为 $u(x)$ 。

4 基于模糊集的图像处理方法

图像所含的信息主要位于目标区, 因此希望人眼将注意力集中在目标区, 这样才能充分获取所需的信息。因此需调整灰度级的分布, 拉伸目标区像素所占灰度级范围, 同时压缩背景区像素所占灰度级范围。也就是说, 减小背景区的灰度级间隔(定义为某一灰度级与其相邻的两个灰度级距离之和的一半), 增加目标区的灰度级间隔。这样会使目标区的灰度值变化范围较大, 有利于表现图像的细节; 而背景区的变化平坦, 来充分突出目标区以吸引人眼的注意。

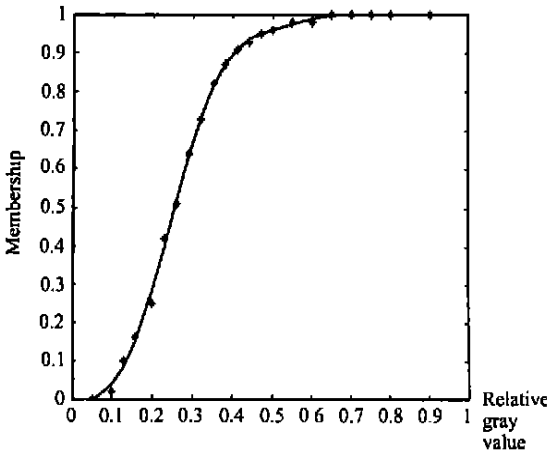


图 2 隶属度函数曲线 $u(x)$

Fig. 2 Curve of membership function.

灰度变换的实质是对图像现有灰度级的重新分配, 即灰度间隔的调整, 图像处理的目标就是使灰度间隔的分布达到最好状态。

定义灰度级权函数:

$$p(i) = \frac{u\left(\frac{i}{N}\right)}{\max\left[u\left(\frac{i}{N}\right)\right]} \quad i = 1, 2 \dots N, \quad (2)$$

其中 N 为图像的最大灰度级数。

则 $p(i)$ 为灰度级 i 的权数, 根据 p 值, 对相

应的灰度间隔进行调整, p 值越大, 说明该灰度级的像素点越属于目标区, 相应其分配到的灰度间隔也越大, 依此构造出灰度变换表, 对图像进行变换。

5 处理结果及分析

本文对腰部的 CR 图像用上述方法进行处。处理前的图像有以下缺点不利于观察: (1) 背



(a) 原始图像
(a) Original image.



(b) 处理后图像
(b) Processed image.

图 3 处理结果

Fig. 3 Processing result.

景区有分层和明暗变化的现象。(2) 背景和目标的分界模糊不清。(3) 目标区的层次不清楚。

由图 3 处理结果可见, 处理后的图像目标区的边缘清晰而且信息保持完好, 没有丢失信息的情况发生, 这说明基于模糊集的数学模型是准确

和可靠的。处理后的图像更有利于人眼识别, 提高了医生诊断的准确率。

参考文献:

- [1] 祁吉, 高野正雄. 计算机 X 线摄影[M]. 北京: 人民卫生出版社. 1997.
- [2] 汪培庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海: 上海科技出版社. 1983.
- [3] 张振良. 应用模糊数学[M]. 重庆: 重庆大学出版社. 1991.
- [4] 方述诚, 王定伟. 模糊数学与模糊优化[M]. 北京: 科学出版社. 1997.
- [5] 何新贵. 模糊知识处理的理论和技术[M]. 北京: 国防工业出版社. 1994.
- [6] 李洪兴. 模糊数学[M]. 北京: 国防工业出版社. 1994.
- [7] 赵巨波, 孙华燕. 一种图像边缘特征提取算法[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(4): 325- 327.
- [8] 李正东, 王晓菊. 利用小波变换进行目标识别的方法的研究[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(3): 216- 219.

Processing method of CR image based on fuzzy set theory

LIU Heng_shu, HUANG Lian_qing

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China*)

Abstract: The digital CR image can be divided into object region and background region, and useful information about diagnosis is in the former one. In image processing, the two regions should be treated with different ways. In this paper, a fuzzy set is used to describe the two regions, and the membership degree function is established by fuzzy statistics. The image processing model based on the fuzzy set theory is constructed and the processing method is given in detail. Experimental results show that the proposed methods are both effective and feasible. In the processed images, medical information is impressed clearly, thus improving the diagnosis accuracy.

Key words: image enhancement; fuzzy sets; membership degree functions; CR images

作者简介: 刘恒殊(1975-), 男, 吉林省吉林市人, 1996年毕业于上海交通大学应用数学专业, 获学士学位, 现为中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生, 研究领域为计算机图像处理。