

# 基于局部直方图相关的造影图象边缘检测方法

刘新春 陈仕东 邹谋炎 柴振明

(中国科学院电子学研究所, 北京 100080)

**摘要** 造影图象的边缘检测是造影图象的组织或器官分割、测量和分析的基础。由于造影图象的信噪比低、低电平纹理多,而且大量边缘是渐变的小幅度微弱边缘,因而其检测一直是造影图象研究与临床应用的重点之一。针对这一问题,提出了一种检测数字造影图象边缘的新方法。由于图象边缘区域与非边缘区域的局部直方图明显不同,因而可以利用这种差别来检测图象的边缘,同时还基于局部直方图构造了一种匹配滤波器算法——最大统计相关算法,该方法不敏感于图象的噪声和低电平纹理,而且能够有效地从噪声和纹理中分离提取造影图象的微弱边缘。

**关键词** 边缘检测 直方图 图象分割 最大统计相关算法

中图法分类号: TN941.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)09-0750-05

## Edge-Detection Based on the Statistical Correlation of Local Histograms in Angiographic Images

LIU Xin-chun, CHEN Shi-dong, ZOU Mou-yan, CHAI Zhen-ming

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** As the base of tissues' segmentation, measurement and analysis in angiographic images, edge-detection is one of the emphases in research for the angiographic image's characteristics of low signal-to-noise ratio, plentiful low-level textures, and gently ramped edges. Edge-detection is the base of tissues' segmentation, measurement and analysis in angiographic images. In general, digital angiographic image's signal-to-noise ratio is low, and there are plenty of low-level textures. Moreover, almost all of the edges are ramp and weak ones. The edge-detection is still one of the emphases for research and clinical applications. This paper presents a new method for detection of the edges in digital angiographic images. We found that histograms of local regions across edges of images are statistically different from that of those where no edge is crossed. This difference can be utilized for the detection of edges of angiographic images. We propose a maximum statistical relativity (MSR) algorithm that is a kind of matching filter. As a result, the edge-detection algorithm is not sensitive to noise and low-level textures of images.

**Keywords** Edge detection, Histogram, Segmentation, Maximum statistical relativity (MSR) algorithm

## 0 引言

近20年来,血管造影术作为一种辅助诊断方法在临床医学上得到了广泛的应用。目前造影图象处理中的一个基本任务就是进行图象分割,以使心脏和血管的生理特征能够更清楚地显示出来,因此在造影图象处理中边缘检测算法最为关键。

在图象处理中,边缘检测是一个基本图象处理

技术,人们已经提出了许多边缘检测算法<sup>[1~3]</sup>。其中一些算法通常均使用空间滤波器,其所得到的结果反映了图象的梯度,这些方法在某些情况下是成功的。近年来,又有人提出了基于马尔可夫随机场理论<sup>[4]</sup>和偏微分方程<sup>[5~6]</sup>的边缘检测算法,虽然这些方法具有理论潜力,但是它们的计算量太大,而且,基于马尔可夫随机场理论的方法敏感于图象的低电平纹理,因此应用到造影图象中效果并不理想。

在数字血管造影术中,X射线通过影象增强器

转变成可见光, 然后被相机接收, 如果相机的输出不是数字形式的, 还要进行模/数(A/D)变换, 一般来说, 数字造影图象的信噪比都较低. 由于人们身体各部位对 X 射线的吸收不同, 而且其带有低电平纹理图象的亮度从一个区域到另一个区域缓慢改变, 从而使得那些基于梯度的算法在造影图象的分割中往往效果并不理想.

由于图象边缘区域与非边缘区域的局部直方图分布明显不同, 因而可以利用这种差别来检测造影图象的边缘, 为了减少噪声对边缘检测的影响, 本文提出了一种匹配滤波器算法——最大统计相关算法. 由于该方法不敏感于图象的噪声和低电平纹理, 而且由于其具有自适应性, 因此没有必要设置门限, 就能使其具有更大的适应范围.

## 1 对局部直方图的观察

下面用图 1 到图 4 来说明观察结果, 图 1(0) 是一幅二值图象, 通过计算其中 3 个小窗 a、b、c 的局部直方图(其结果分别如图 1(a)、(b)、(c)所示), 可以看到, 被边缘穿过的小窗的局部直方图包含了两条线, 即其像素集中分布在两个灰阶上; 而没有通过边缘的小窗的局部直方图中只包含了一条线, 即其像素集中分布在一个灰阶上. 对于灰度图象, 虽然观察结果不象二值图象那样理想化, 但却基本相似(如图 2 到图 4 所示, 图中  $n_L$  为小窗图象中  $L$  级灰度像素数,  $N$  为小窗内总像素数).

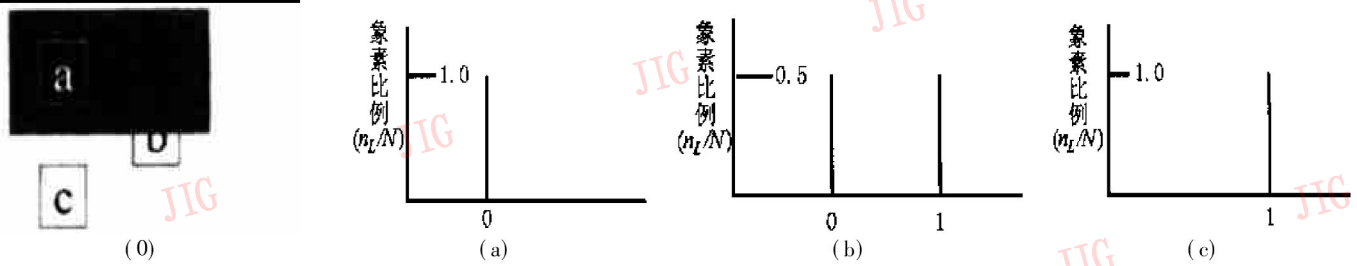


图 1 二值图象及其 3 个小窗(在图中用 a、b、c 表示)内的局部直方图

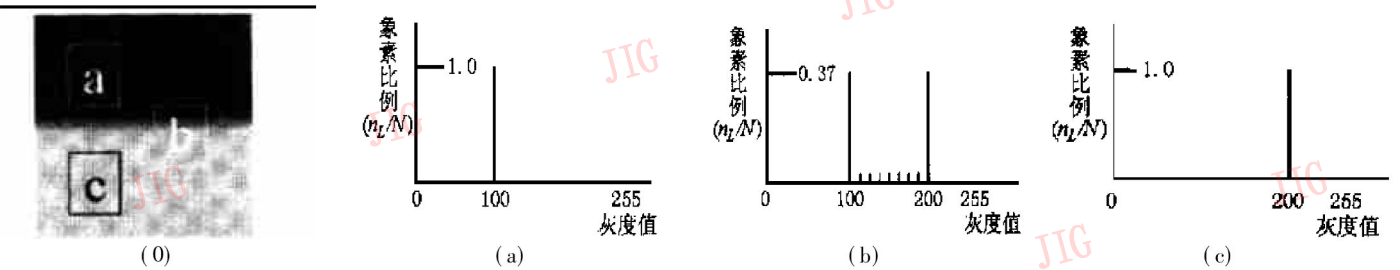


图 2 具有渐变边缘的灰度图象及其 3 个小窗(在图中用 a、b、c 表示)内的局部直方图

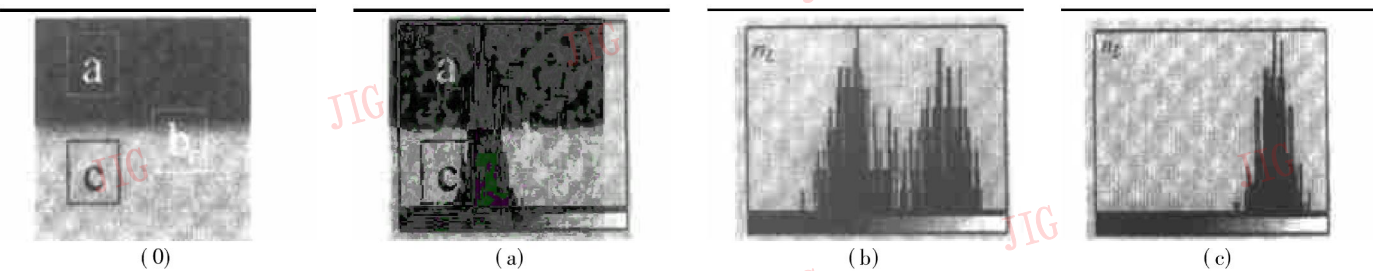


图 3 具有渐变边缘和加性高斯噪声(信噪比= 20dB)的灰度图象及其 3 个小窗(在图中用 a、b、c 表示)内的局部直方图

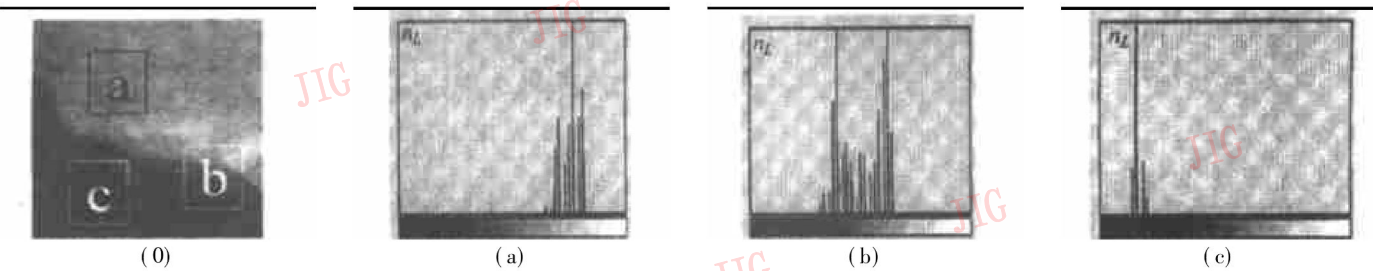


图 4 实际造影图象及其 3 个小窗(在图中用 a、b、c 表示)内的局部直方图

从图2到图4可以看出,被边缘穿过的小窗内图象的灰度直方图呈现双峰结构,而平坦区域中的小窗内图象的灰度直方图呈现单峰结构.这种直方图结构提供了一种明确的边缘检测信息,例如,在图4(0)中,当我们把窗口 $c$ 从下往上移动时,计算出来的直方图将从单峰结构逐渐演变为双峰结构,然后又从双峰结构变为单峰结构.因此,如果双峰结构的两个峰近似相同,我们就可以认为此时双峰所在小窗的中心为一个边缘点.

直方图是图象的一种统计特性,它能够不敏感于噪声和低电平纹理,但从图3和图4中可以看出,当图象中包含噪声和低电平纹理时,直方图的峰不再是那么光滑,因而对边缘检测将有一定影响,但我们可以利用匹配滤波器来减少噪声和低电平纹理对边缘检测的影响.对于256级灰度图象,将在下面定义一个统计分布特征函数.在定义统计分布特征函数前,首先,计算小窗 $D$ 内的平均灰度 $T$

$$T = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in D} I(i,j) \quad (1)$$

其中, $N$ 为小窗 $D$ 中的像素数, $I(i,j)$ 为像素 $(i,j)$ 的灰度值;然后把小窗 $D$ 中的像素分成两部分:即将灰度值低于平均灰度 $T$ 的像素组成 $D_1$ ,而将其它像素组成 $D_2$ ,即 $D = D_1 \cup D_2$ ,用 $N_1$ 和 $N_2$ 分别表示 $D_1$ 与 $D_2$ 中的像素数,很明显, $N = N_1 + N_2$ ,接着再分别计算这两部分的平均灰度值

$$p_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{(i,j) \in D_1} I(i,j) \quad (2)$$

$$p_2 = \frac{1}{N_2} \sum_{(i,j) \in D_2} I(i,j) \quad (3)$$

用 $\{n_L\}$ 表示 $D$ 的直方图, $L = 0, 1, \dots, 255$ 为灰度级, $n_L$ 表示灰度级为 $L$ 的像素数.在此基础上,定义小窗 $D$ 的统计分布特征函数为

$$w(L) = \begin{cases} w_0 \left| 1 - \frac{|L - p_1|}{T - p_1} \right|, & \text{if } |L - p_1| < T - p_1 \\ w_0 \left| 1 - \frac{|L - p_2|}{p_2 - T} \right|, & \text{if } |L - p_2| < p_2 - T \\ 0, & L \text{ 取其它值} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $w_0$ 为归一化常数

$$w_0 = \frac{N}{n_{\max}} \quad (5)$$

其中, $n_{\max}$ 为 $n_L$ 中的最大值.

典型的统计分布特征函数如图5所示.

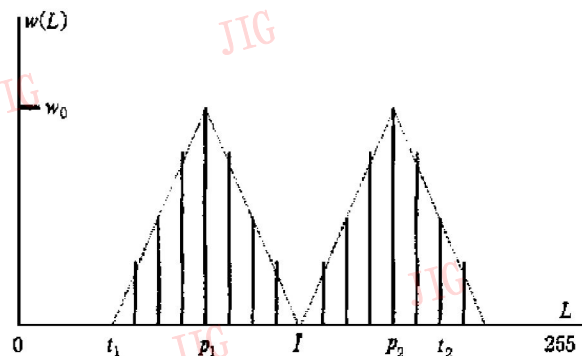


图5 一个典型的统计分布特征函数

## 2 基于局部直方图统计相关的边缘检测算法

在介绍最大统计相关算法之前,首先引入一个边缘点的判据,在边缘点,它应该具有较大的值,而在非边缘点它的值比较小,为此,定义像素 $(i,j)$ 的特征值为以像素 $(i,j)$ 为中心的小窗的直方图与该小窗的统计分布特征函数的相关,用 $F(i,j)$ 来表示:

$$F(i,j) = \frac{1}{N} \sum_{L=0}^{255} n_L w(L) \quad (6)$$

表1给出了图1到图3中几个典型点的特征值.

表1 图1到图3中几个点的特征值

小窗位置	1(a)	1(b)	1(c)	2(a)	2(b)	2(c)	3(a)	3(b)	3(c)
特征值	0	2	0	0	2.08	0	1.93	6.03	1.84

其最大统计相关算法步骤如下:

第1步,选择搜索方向和起始点;

第2步,沿搜索方向计算每个像素 $(i,j)$ 的特征值 $F(i,j)$ :

(1) 计算以 $(i,j)$ 为中心的小窗 $D(i,j)$ 的直方图;

(2) 计算小窗 $D(i,j)$ 的统计分布特征函数;

(3) 计算特征值 $F(i,j)$ .

第3步,比较这些特征值,选择特征值最大的点作为边缘点.

为了得到准确的搜索起始点,往往需要一些人人为的干预,比如,进行一些人机交互式的输入,或者利用某些先验知识对搜索范围作一些限制等.

由于最大统计相关算法的结果与搜索方向有关,即当搜索方向与边缘垂直时,结果最好;相反,当

搜索方向与边缘平行时,可能会失败,因此,必须尽可能地保持搜索方向与待检测的边缘垂直.这可通过多重方向搜索而得到最大特征值,来获得边缘点.实验中,边缘点是连续逐点计算出来的,并使新的待检测边缘点的搜索方向与刚求出来的前两个边缘点所在的直线垂直,从而保持搜索方向与待检测的边缘近似垂直.

实际上,如果已经定位了一个边缘点,则与它相邻的边缘点就可以较快地求出来,因为造影图象的边缘是连续的,我们只需要比较刚求出来边缘点的几个邻域点即可确定下一个边缘点.

最大统计相关算法具有自适应性,虽然不同边缘点的特征值不同,但在它的搜索范围内总是最大的,显然不再需要去设置门限和(或者)选择参数.

### 3 对基于局部直方图的边缘检测算法的一点解释

由于血管造影图象通常包含渐变边缘<sup>[3]</sup>,并且伴有与图象亮度有关的加性高斯白噪声<sup>[4]</sup>,因而这种图象的边缘检测和图象分割是图象处理的一个难点,事实上也没有成熟的理论和方法来处理与图象亮度有关的噪声.本文提出的方法具有如下的特点:

(1) 由于是利用局部直方图,而不是利用局部梯度来检测边缘,因此,对具有较小变化的渐变边缘能被有效地检测出来;(2) 由于孤立噪声和低电平纹理对局部直方图没有太大的影响,因而这种算法对噪声和低电平纹理不敏感;(3) 以边缘点为中心的小窗口的局部直方图具有双峰结构,即使噪声(高斯分布,拉普拉斯分布等)较大时,从统计的观点来看,双峰的位置也不会发生变化,这意味着这种方法是抗噪声的.当然,小窗口的尺寸要恰当,在我们的实验中,通常取  $9 \times 9$  或者  $11 \times 11$ .

### 4 实验结果

基于这种算法的计算机程序已经开发出来,并且已经在一些医院投入使用.下面给出一些使用这种算法的实例:图6为一合成图象,其中混有加性高斯白噪声,利用这种算法检测出来的边缘如图中白线所示;图7,图8和图9是一些临床拍摄的左心室(不同周期)和髂动脉造影图象,用最大统计相关算法的检测结果(如图中白线所示).

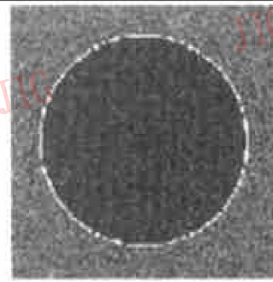


图6 混有加性高斯白噪声的合成图象

(圆内的亮度为 100,背景的亮度为 200,噪声的方差为 40)

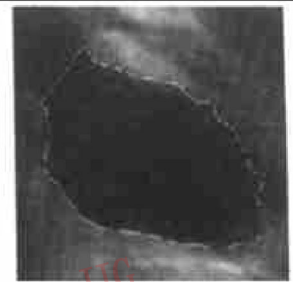


图7 舒张期的左心室造影图象

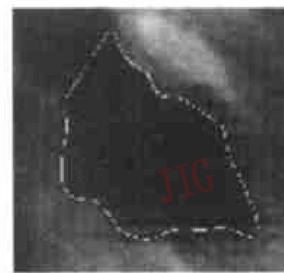


图8 收缩期的左心室造影图象



图9 髂动脉的一部分造影图象

### 5 结论

本文提出了一种基于局部直方图的算法——最大统计相关法,并用其来检测造影图象的边缘,它利用了图象的平坦区域和非平坦区域局部直方图分布不同的这个特性,基于小窗内的局部直方图,我们构造了一个统计分布特征函数,然后计算局部直方图与它的统计分布特征函数的相关值,通过比较这些相关值,就可以判定一个点是否是边缘点.

如前所述,基于局部直方图的边缘检测算法,对图象噪声和低电平纹理不敏感,同时由于其自适应性,没有必要设置判决门限或者(和)选择参数,因此该方法具有较大优越性,有较高应用价值.

### 参考文献

- 1 Canny J. A computational approach to edge detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 1986, 8(11): 679~ 698.
- 2 Petrou M, Kittler J. Optimal edge detectors for ramp edges. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 1991, 13(5): 483~ 491.
- 3 Zwet P, Nettesheim M, Gerbrands J *et al.* Derivation of optimal filters for the detection of coronary arteries. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 1998, 17(2): 108~ 120.
- 4 Figueriredo M, Leitao J. Bayesian estimation of ventricular contours in angiographic images. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 1992, 11(9): 416~ 429.
- 5 Xu C, Prince J L. Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow.

IEEE Trans. Image Processing, 1998, 7(3): 359~ 369.

- 6 Kang D. A fast and stable snake algorithm for medical images. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(5): 507~ 512.



**刘新春** 1968 年生, 1997 年获中国科学院电子所硕士学位, 现为中国科学院电子所博士研究生. 研究兴趣为图象与视频处理.



**陈仕东** 1967 年生, 1995 年获清华大学硕士学位, 1999 年获中国科学院电子所博士学位. 主要研究领域为 HDTV、可编程 ASIC 设计与应用.



**邹谋炎** 1963 年毕业于成都电讯学院, 1987 年在德国埃尔兰根-纽伦堡大学获得工学博士学位. 现为中国科学院电子所研究员, 博士生导师. 研究兴趣为信号与图象处理.



**柴振明** 中国科学院电子所研究员, 博士生导师, IEEE Fellow, 中国电子学会会员, 中国通信学会会士. 研究领域为通信、计算机信号及图象处理等.

## 《中国图象图形学报》

### 被列为中文核心期刊

经《中文核心期刊要目总览》(2000 年版) 编委会, 依据文献计量学的原理和方法, 通过对相关文献的检索、计算和分析, 并请学科专家鉴定, 《中国图象图形学报》被确定为自动化技术、计算机技术类核心期刊, 已被编入《中文核心期刊要目总览》2000 年版(即第三版). 这次重新研制筛选中文核心期刊的工作, 被列入“国家教委人文社会科学研究‘九五’规划项目”, 研制者参考了大量国内外相关文献, 并对核心期刊的理论和方法进行了深入研究和探讨, 因此筛选方法科学合理, 并采用了中国科学院文献情报中心、中国社会科学院文献信息中心、上海图书馆、中国人民大学书报资料中心及西南信息中心等单位编制的文献数据库作为统计工具, 经过严格筛选, 从我国近万种正在出版的中文期刊中确定了 1568 种期刊为核心期刊. 因此具有很高的准确性和代表性, 并为广大作者、读者提供了可靠的参考信息.