

文章编号: 1001-0920(2001)03-351-04

基于模糊梯度法的边缘检测方法

白景峰¹, 赵学增², 强锡富¹, 杨延竹²

(1 哈尔滨工业大学 自动化测试与控制系, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2 哈尔滨工业大学 机械工程及自动化系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 根据图象边缘灰度的梯度变化, 构造图象灰度模糊矩阵和描述边缘点的隶属函数, 利用遗传算法实现隶属函数各参数的寻优过程, 并由输出隶属度判断提取图象边缘点, 实现了图象的边缘检测。实验表明, 该方法能有效地描述边缘的穿越过程, 并可改善检测结果。

关键词: 边缘检测; 模糊梯度; 隶属函数

中图分类号: TP 391.4 **文献标识码:** A

Edge Detection Based on Fuzzy Gradient Method

BAI Jing-feng¹, ZHAO Xue-zeng², QIANG Xi-fu¹, YANG Yan-zhu²

(1 Automated Test, Measurement and Control Department, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2 Mechanical Engineering and Automation Department, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: A fuzzy gradient method based on the character of gray gradient of the image edge is proposed. An image gray-scale fuzzy matrix is constructed and a suitable membership function is selected. Genetic algorithm is used to achieve the optimum parameters of the membership function. The edge points are determined and extracted according to the output of function. The edge detection is carried out. The experiment results show that this method has the ability to describe the edge-crossing process and to improve the result of edge detection.

Key words: edge detection; fuzzy gradient; membership function

1 引言

图象边缘是由灰度值变化比较剧烈的边素构成的, 数学上一般应用边素灰度值的导数来描述这种变化。传统的边缘检测方法有 Robert 算子和 Sobel 算子等^[1]。这类算子都是基于象素的某个邻域中灰度值的加权平均, 并且在某种意义下近似于象素附

近的数值导数, 即基于方向导数掩模求卷积的方法^[2]。

本文通过对灰度图象的模糊化和相应的隶属度函数的研究, 提出一种模糊梯度法, 实现了对灰度图象的边缘检测。实验结果表明, 该方法可有效地描述边缘的穿越过程, 并能改善检测结果。

收稿日期: 2000-05-30; 修回日期: 2000-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(39670607)

作者简介: 白景峰(1972—), 男, 黑龙江延寿人, 博士生, 从事计算机视觉及模式识别等研究; 赵学增(1961—), 男, 黑龙江宾县人, 教授, 博士生导师, 从事传感与测控技术等研究。

2 算法原理

2.1 模糊的概念

对于“年轻人”、“高个子”、“胖子”这样一些概念,它们具有一定的不确定性,因此称之为模糊现象.应用计算机模拟人脑对具有不确定信息的模糊现象进行分析和判断,必须采用模糊集来描述模糊现象.一个论域 X 上的模糊子集 A ,对于任意一个 x

X ,都有一个数 $\mu_A(x) \in [0, 1]$ 与之对应,这就是 x 属于模糊子集 A 的隶属程度,映射 μ_A 又称为 A 的隶属函数^[3].当台集 X 为有限集时,如果 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,则模糊集 A 可表示为

$$A = \{(\mu_A(x_i), x_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\} = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (1)$$

2.2 数字图象模糊化

在计算机中,图象是经过数字化后进行存储的.例如:灰度图象用每一象素的灰度值组成一个灰度矩阵来描述,而彩色图象的每一象素是由三个字节分别表示其 RGB 值,所以每一幅数字图象都是一个描述图象灰度信息的数值矩阵.图象处理过程实际上是对图象灰度矩阵的处理过程^[4].图象象素的灰度值都是一些确定值,图象的模糊化就是将图象灰度值转换到模糊集中,用一个模糊值来代表图象的明暗程度^[5].本文主要研究灰度图象的边缘检测.

如果用 $f(x, y)$ 描述一幅灰度级数为 L 、大小为 $M \times N$ 的灰度图象,则其矩阵表示形式为

$$I = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1, 1) & f(1, 1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1, 1) & f(M-1, 1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

设图象的模糊集为 A ,对图象模糊化后,模糊集 A 可表示为

$$A = \{\mu_A(x, y) \mid x = 1, 2, \dots, M-1; y = 1, 2, \dots, N-1\} \quad (3)$$

$$\mu_A(x, y) = \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{L-1-H(x, y)}{D} \right) \right] \quad (4)$$

其中, $\mu_A(x, y)$ 为象素 (x, y) 对于模糊集 A 的隶属度,这里选用正弦映射作为模糊化函数; D 为模糊因子,取 $D = L - 1$.经模糊化后图象的矩阵形式为

$$I_1 = \begin{bmatrix} \mu_A(0, 0) & \mu_A(0, 1) & \dots & \mu_A(0, N-1) \\ \mu_A(1, 0) & \mu_A(1, 1) & \dots & \mu_A(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_A(M-1, 0) & \mu_A(M-1, 1) & \dots & \mu_A(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

模糊化后的图象矩阵已不是灰度矩阵,而是代表各个象素明暗程度的模糊数矩阵,图象矩阵各个元素的值都转换到模糊区间 $[0, 1]$ 上.

2.3 模糊梯度法及隶属函数

确定图象中物体边界的一种重要方法就是检测每个象素及其直接邻域的状态,以决定该象素是否确实处于一个物体的边界上,具有所需特性的象素被标为边缘点.如果一个象素落在图象中某一物体的边界上,则其邻域将成为一个灰度级变化带.能够准确描述这种变化的两个特征是灰度的变化率和方向,分别以梯度向量的幅度和方向来表示.边缘检测就是基于这种方法,利用图象的梯度变化来确定边缘点.通常,边缘点都取灰度变化最剧烈的点.

设灰度数量场为 $f(x, y)$,则其梯度列向量为

$$\text{grad}f(x, y) = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (6)$$

模为

$$|\text{grad}f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (7)$$

将图象中各点的灰度值用其灰度梯度的模来代替,便得到被处理图象的边缘图象.设处理后的图象为 $g(x, y)$,则

$$g(x, y) = |\text{grad}f(x, y)| \quad (8)$$

模糊梯度法是根据逐行扫描的原理,建立边缘点模糊集 B ,构造其隶属度函数;然后对输入的经过模糊化的图象进行逐行扫描,得到各象素点对于模糊集 B 的隶属度.根据隶属函数的特性和各象素点的隶属度,判断图象的灰度梯度变化情况,找出灰度梯度最大的点^[6];最后经过非模糊化处理,提取图象的边缘点.

根据边缘灰度变化的特点,取隶属度函数为 S 函数. S 函数的定义为

$$S(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}, & a < x < b \\ 1 - \frac{(x-c)^2}{(c-b)(c-a)}, & b < x < c \\ 1, & c < x \end{cases} \quad (9)$$

函数曲线如图 1 所示。其中, x 为输入变量, 3 个参数 a, b, c 决定了 S 函数的形状, $[a, c]$ 为模糊区间, b 通常取为 $[a, c]$ 的中点。若 b 点的模糊值为 0.5, 则 S 函数称为标准 S 函数。

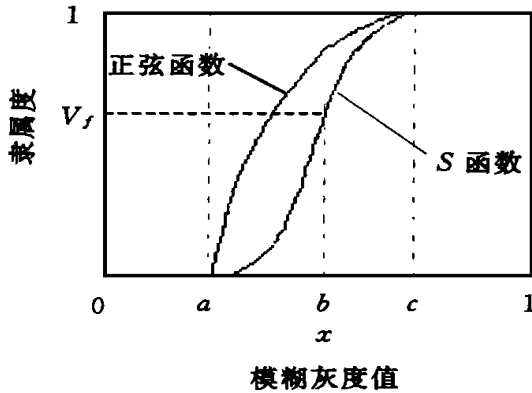


图 1 隶属函数曲线

选取 S 函数作为描述灰度图象边缘点模糊集 B 的隶属函数, 主要依据如下:

1) 应用 S 函数可描述灰度图象任意象素所具有两种模糊状态: 非边缘点和边缘点。

2) 在 S 函数的模糊表示中, 边缘穿越的模糊程度由 0 (非边缘点状态) 到 1 (边缘点状态) 的变化以及由 1 到 0 的变化, 能够反映图象边缘灰度梯度的变化过程。

3) S 函数中的参数 b 能有效地反映图象象素的灰度值的细节变化, 从而使边缘灰度穿越的过渡过程形成两种模糊状态: {非边缘点可能性大} 和 {边缘点可能性大}。利用 S 函数作为模糊集 B 的隶属函数, 边缘点取隶属度为 V_f 的点, 即取图象灰度变化曲线与 b 点的交点为边缘点划分的标志点, 则有

$$\mu_B(\mu_A(x, y)) = S(\mu_A(x, y), a, b, c) = V_f \quad (10)$$

4) 若采用如下正弦函数 $L(x, a, c)$ (参见图 1)

$$L(x, a, c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(\frac{x-a}{c-a}\right)\right], & a \leq x \leq c \\ 1, & x > c \end{cases} \quad (11)$$

作为描述边缘穿越模糊过程的隶属函数, 则不存在 S 函数的参数 b 及由其决定的边缘点阈值 V_f , 因此实验中只能选取 V_f 为一固定值, 从而增加了边缘点误判的可能性。

5) S 函数各参数的寻优过程使本文方法对不同的灰度图象具有较强的适应性, S 函数参数的最佳选择保证了边缘检测的效果。

2.4 S 函数的寻优

边缘检测的效果取决于 S 函数的形状, 也就是 a, b, c 三点的计算。 a, b, c 及 V_f 的确定是一个寻优过程, 可通过启发式搜索、模拟退火算法、遗传算法等方法来获得。本文采用遗传算法实现寻优过程, 对于背景比较复杂的图象, 需要对图象进行分块处理。相应地, S 函数的确定可通过在局部图象中寻优的方法来实现^[7]。

应用遗传算法寻求 a, b, c 的最优解, 首先要对参数进行编码, 由于图象为 256 级灰度图, 即候选值在 0~255 之间, 所以编码为 00000000~11111111 之间的值。而适用度函数则用

$$\sigma(k) = \omega(k) \times \omega(k) \times [v_2(k) - v_1(k)]^2 \quad (12)$$

给出的阈值判别准则函数^[8]。式中, k 为 0~255 之间的预选阈值, $\omega(k)$ 和 $\omega(k)$ 分别为灰度值大于和小于 k 的象素数目, $v_1(k)$ 和 $v_2(k)$ 分别为大于和小于 k 的所有象素的平均灰度值。

寻优过程中, 选择一组字符串作为初始群体, 通过 S 函数计算出 V_f 值, 然后计算群体中各个体的适用度, 根据适用度函数值选择繁殖的个体, 对繁殖后的个体, 根据选择的交换率 θ 和变异率 ζ 进行交换和变异, 形成新一代群体。反复进行上述操作, 直至满足停机准则。在最后一代中, 选择适用度函数值最大的个体作为所寻求的最优结果。

寻优的效率和性能决定于群体的规模、交叉率和变异率。设每个参数的群体规模为 6, 对于 a, b, c 三个参数, 共有 18 个个体, 交换率 $\theta = 0.8$, 变异率 $\zeta = 0.03$, 停机准则为当前群体与前代群体的平均适用度值的比值在 1.00~1.005 之间。在参数寻优过程中, S 函数的各参数及 V_f 在初始化数据的基础上产生交换和变异。经过寻优后, 便得到 a, b, c 及 V_f 的值。

图象输入后, 经过归一化的模糊处理, 根据所确定的 S 函数得到图象的模糊输出值。而非模糊化过程则是根据象素点的模糊隶属度, 判断图象边缘点, 输出边缘图象。边缘图象的矩阵表示为

$$I_B = \begin{bmatrix} H(0,0) & H(0,1) & \dots & H(0,N-1) \\ H(1,0) & H(1,1) & \dots & H(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H(M-1,0) & H(M-1,1) & \dots & H(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中

$$H(x, y) = \begin{cases} L - 1, & \mu_B(x, y) = V_f \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

$$x = 1, 2, \dots, M - 1, \quad y = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (14)$$

3 实 验

基于上述算法,在 P II 350 内存为 64M 的计算机上,应用 Borland C++ Builder 4.0 实现了程序

设计。选用 256×256 的米粒灰度图象(图 2) 进行分析处理,经过寻优得到的 S 函数的参数见表 2,相应得到的图象边缘检测结果分别如图 3 和图 4 所示。

从灰度图象的边缘检测结果看,选择 S 函数作为模糊梯度法描述图象边缘的隶属函数,能够反映边缘信息的细节特征;通过寻优求解参数 b 及 V_f ,可以确定灰度过渡过程中发生边缘穿越的准确位置。该方法能准确定位图象中待搜索目标的边缘信息,为进一步的目标特征提取和分析奠定了基础。

表 2 隶属函数参数寻优结果

	正弦函数		S 函数	
	参数 a, c 及 V_f	检测时间	参数 a, b, c 及 V_f	检测时间
初始值	0.20, 0.80, 0.5		0.20, 0.50, 0.80, 0.500	
米粒图象	0.26, 0.71, 0.5	< 0.5s	0.22, 0.46, 0.75, 0.453	< 0.5s

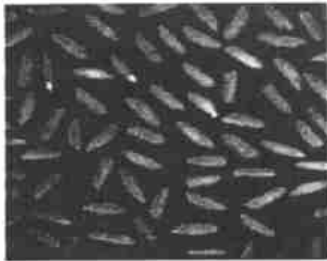


图 2 米粒灰度图象



图 3 正弦函数检测结果



图 4 S 函数检测结果

4 结 语

模糊梯度法是基于图象灰度梯度变化的原理,应用边缘点模糊集隶属函数来反映灰度图象边缘穿越过程的可能性,并通过对图象的模糊处理、图象灰度梯度的计算和隶属函数参数的寻优求解,计算出灰度图象的边缘点。实验结果表明,应用模糊梯度法检测边缘的效果较为理想。模糊梯度法对图象进行逐行扫描,可为图象的后续处理(物体形状等参数的定量测量等)提供方便。利用模糊理论的不确定性来反映图象灰度梯度变化过程的模糊性,并根据象素的隶属度来确定边缘穿越的位置,可使边缘检测更加准确。

参考文献:

- [1] Nikhil R P, Samker K P. A review on image segmentation techniques[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(9): 1277-1294
- [2] B Thai, G Healey. Extracting symmetry features from

color images[A]. Proc of the 1997 IEEE Computer Society Conf on Comp Vision and Pattern Rec[C]. 1997. 356-361.

- [3] 赵振宇, 徐用懋. 模糊理论及神经网络的基础与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 5-13
- [4] T Caelli, W F Bishop. Machine learning paradigms for pattern recognition and image understanding[J]. Spatial Vision, 1996, 10(1): 87-103
- [5] R Srinivasan, J M Kinser. A foveating fuzzy scoring target recognition system [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(8): 1149-1158
- [6] Hu Chia-lun. Automatic feature extraction in a noniteratively learned pattern recognizer [A]. Proc of SPIE-The Int Society for Optical Eng Appl and Sci of Artificial Neural Networks-III[C]. 1997. 276-281.
- [7] 吴少岩, 张青富, 陈火旺. 基于家族优生学的进化算法[J]. 软件学报, 1997, 8(2): 137-144
- [8] Buckley J J, Hayashi Y. Fuzzy genetic algorithm and applications[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 61: 129-136