

文章编号:1001-9081(2006)05-1035-02

一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法

王康泰,戴文战

(浙江工商大学 信息与电子工程学院,浙江 杭州 310035)

(cotics@pop.hzic.edu.cn)

摘要:把灰色关联度与图像的边缘检测相结合,提出了一种利用 Sobel 算子作为参考序列,通过计算灰色关联度来检测图像边缘的新方法,并介绍了其原理和算法实现过程。仿真实验表明,该方法对图像边缘的检测精度较高,抗噪声能力强,提高了图像边缘检测效果。

关键词:边缘检测;图像处理;灰色系统;灰色关联度;Sobel 算子

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Approach of image edge detection based on Sobel operators and grey relation

WANG Kang-tai, DAI Wen-zhan

(College of Information and Electronic Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou Zhejiang 310035, China)

Abstract: A new approach to detect image edge using the Sobel operators and grey relation was brought forward, and then mechanism and algorithm were introduced. Simulation shows that this method has a high precision in image detection, a better antinoise ability and improving image detection effect.

Key words: edge detection; image processing; grey system; grey relation; Sobel operators

0 引言

图像的边缘是图像的亮度或灰度的不连续点,传统的边缘检测方法是利用图像边缘点灰度的突变性,在图像一阶导数上产生一个峰,或等价于在二阶导数上产生一个零交叉点。通过求出图像横向和纵向的一阶或二阶梯度的模值和幅角值,最后沿幅角方向求出模极大值而得到图像的边缘。如典型的 Sobel 算法^[1],Prewitt 算法^[2]等。由于图像的边缘和图像的噪声都是高频信号,所以直接对含噪声的图像运用梯度算子很容易被噪声所污染,影响检测效果。因此通常的做法就是用平滑滤波器先对噪声图像进行平滑滤波,然后进行边缘检测。据此,Marr 和 Hildreth 将高斯滤波和拉普拉斯边缘检测结合在一起,形成了 LOG(Laplacian of Gaussian)算法^[3]。Canny 提出了检测边缘的三个标准^[4]:低出错率、定位准确度和单边缘响应。由于图像中的强度灰度变化是以不同尺度出现的,故用大小不同的算子能提高边缘检测效果,因此,出现了多尺度边缘检测方法及基于小波边缘检测方法^[5]。

近年来,边缘检测新方法不断涌现,如把神经网络、免疫算法、遗传算法、数学形态学等理论运用到图像的边缘检测中^[6,7]。然而由于边缘检测存在着检测精度和边缘定位精度以及抗噪声等方面的矛盾,所以都还不能取得令人满意的效果。

灰色系统理论是中国学者邓聚龙教授于 1982 年创立的^[8]。它是一种研究少数数据贫信息不确定性或不完全确定系统问题的新方法。如果把数字图像看成是一个随机序列,则我们可以把一幅图像看成是一个灰色系统。本文基于传统的 Sobel 算子提出一种把灰色系统中灰色关联度理论与 Sobel 算子相结合的边缘检测方法,实验表明,该方法在检测边缘的精度和抗噪声方面都有很大的优势。

1 Sobel 算子

Sobel 算子是一个梯度算子,一幅数字图像的一阶导数是基于各种二维梯度的近似值^[1]。图像 $f(x,y)$ 在位置 (x,y) 的梯度定义为下列向量:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

从向量分析中知道,梯度向量指向坐标 (x,y) 的 f 的最大变化率方向。设

$$S(i,j) = \max(G_x, G_y) \quad (2)$$

则基于梯度的边缘检测方法就是设定门限 T ,当 $S(i,j) > T$ 时,则 (i,j) 为边缘点。由于直接求图像的 G_x, G_y 非常困难,所以通常采用它的近似计算公式。对于图 1 所示的某像素 Z_5 及其相邻像素,一种近似的梯度计算公式为:

$$G_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (3)$$

$$G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) + (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (4)$$

将该近似梯度算子用 3×3 的模板表示就是 Sobel 算子,传统的 Sobel 算子如图 2 所示。

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

图 1 某像素及其相邻像素

图 2 Sobel 检测算子

2 Sobel 算子和灰色关联度相结合算法

灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线的相似程度来判断相应序列的相似程度。曲线越接近,相应序列之间的关联度就越大,反之就越小。所以,本文提出,在二维图像的边缘检测中,如果能找到一个标准的边缘序列作为参考序列,那么就

收稿日期:2005-11-18;修订日期:2006-01-10

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(602016);浙江省出国留学人员资助项目(2003-236)

作者简介:王康泰(1980-),男,浙江义乌人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理、图像识别;戴文战(1958-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:图像处理、计算机视觉、智能控制。

能通过计算图像各像素点及其八邻域形成的序列与该参考序列的灰色关联度来得到图像的边缘,如果关联度大则说明该点有边缘特性,如果关联度小则说明该点没有边缘特性。假设图像的大小为 $M \times N$,则某一像素 $x_{i,j}$ 点及其八邻域的空间位置分布如图 3。

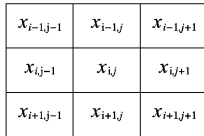


图 3 $x_{i,j}$ 及其八邻域的空间位置

各像素及其八邻域灰度组成的行为序列为:

$$X_{i,j} = \{x_{i-1,j-1}, x_{i-1,j}, x_{i-1,j+1}, x_{i,j-1}, x_{i,j}, x_{i,j+1}, x_{i+1,j-1}, x_{i+1,j}, x_{i+1,j+1}\}$$

其中, $i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$ 。

Sobel 算子反映图像的一阶梯度,而以它为模板对图像进行空间域滤波的极值就是图像的边缘。所以 Sobel 算子在一定程度上反映了图像边缘像素的分布特性。我们能用它作为参考序列计算图像中各点的关联度来进行边缘检测。由图 2 可得由 Sobel 算子形成的两个参考序列为:

$$X_0^1 = \{-1, -2, -1, 0, 0, 0, 1, 2, 1\}$$

$$X_0^2 = \{-1, 0, 1, -2, 0, 2, -1, 0, 1\}$$

由于图像的灰度值的取值范围较大(0~255),为了使同一行为序列内的各元素能在数量级上更加接近以提高关联度计算的准确性,首先对各序列进行初始化,求出它的初值像^[9],然后再计算灰色关联度。

定义 1 设 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$ 为一个行为序列,称 X_i^* 为 X_i 的初值像,即:

$$X_i^* = (x_i^*(1), x_i^*(2), \dots, x_i^*(n))$$

其中: $x_i^*(k) = x_i(k)/x_i(1); x_i(1) \neq 0; k = 1, 2, \dots, n$ 。

则 $X_{i,j}$ 的初值像 $X_{i,j}^*$ 为:

$$\begin{aligned} X_{i,j}^* &= X_{i,j}/x_{i-1,j-1} \\ &= \{1, x_{i-1,j}/x_{i-1,j-1}, x_{i-1,j+1}/x_{i-1,j-1}, x_{i,j-1}/x_{i-1,j-1}, \\ &\quad x_{i,j}/x_{i-1,j-2}, x_{i,j+1}/x_{i-1,j-1}, x_{i+1,j-1}/x_{i-1,j-1}, \\ &\quad x_{i+1,j}/x_{i-1,j-2}, x_{i+1,j+1}/x_{i-1,j-1}\} \end{aligned}$$

有了 Sobel 算子作参考序列,就可以计算图像各像素点及其八邻域形成的行为序列和参考序列之间的灰色关联度。

定义 2 设系统行为序列的初值像为:

$$X_0^* = (x_0^*(1), x_0^*(2), \dots, x_0^*(n))$$

$$X_1^* = (x_1^*(1), x_1^*(2), \dots, x_1^*(n))$$

...

$$X_i^* = (x_i^*(1), x_i^*(2), \dots, x_i^*(n))$$

...

$$X_m^* = (x_m^*(1), x_m^*(2), \dots, x_m^*(n))$$

对于 $\xi \in (0, 1)$, 令

$$r(x_0^*(k), x_i^*(k)) =$$

$$\frac{\min_i \min_k |x_0^*(k) - x_i^*(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0^*(k) - x_i^*(k)|}{|x_0^*(k) - x_i^*(k)| + \xi \max_i \max_k |x_0^*(k) - x_i^*(k)|} \quad (5)$$

其中 ξ 为分辨系数。

$$R(X_0^*, X_i^*) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r(x_0^*(k), x_i^*(k)) \quad (6)$$

则 $R(X_0^*, X_i^*)$ 称为参考序列 X_0 与行为序列 X_i 之间的灰色关联度。

由于 Sobel 算子形成的参考序列有两个,所以对于任何一点 $x_{i,j}$ 及其八邻域形成的行为序列,计算出来的灰色关联度也有两个,即 $R(X_0^1, X_{i,j}^*)$ 和 $R(X_0^2, X_{i,j}^*)$ 。设:

$$W_{ij} = \max(R(X_0^1, X_{i,j}^*), R(X_0^2, X_{i,j}^*)) \quad (7)$$

则可以选定阈值 θ , 当 $W_{ij} > \theta$, 说明像素点 $X_{i,j}$ 至少在一个方向上有边缘特性,应该把 $X_{i,j}$ 判定为边缘点,否则 $X_{i,j}$ 就不是边缘点。

当对图像的所有像素点都判断以后,还要对图像进行细化,使得图像的边缘宽度只有一个像素。对于图像边界的像素,由于不存在八邻域(八邻域的某些点超出图像范围),所以在边缘检测之前应该先在原图像的边界以相邻像素的灰度值补充一行或一列,这样,处理后的图像就能和原图像大小保持一致。

3 实验和仿真结果

为了验证本算法的有效性,我们采用大小为 256×256 的 lenna 图像为例,将本文的检测算法与传统的检测算法作一比较。在本实验中,我们选取 $\xi = 0.5$, 阈值 $\theta = 0.11$ 。

图 4 是不含噪声的各种算法的边缘检测效果比较。从图 4 可以看出,本文算法检测的边缘连续性好,经过细化能得到较好的单像素的边缘,检测边缘的精度较高,而且能检测出很多别的算法所不能检测出来的细节。比如紧贴帽子右边的物体边缘,Roberts 算法和 Prewitt 算法都不能很好地检测出来,而本算法能较好地检测出来。

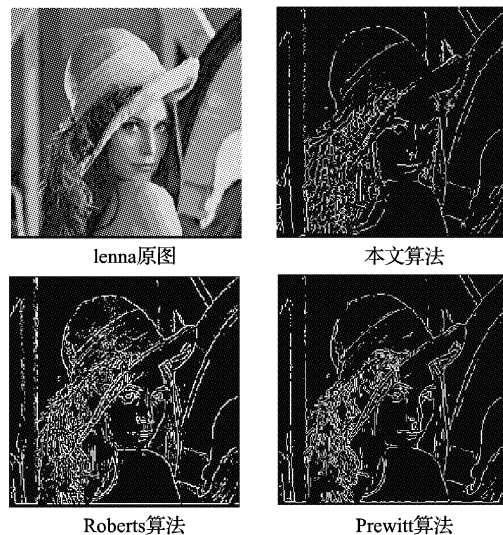


图 4 不含噪声的各种算法比较

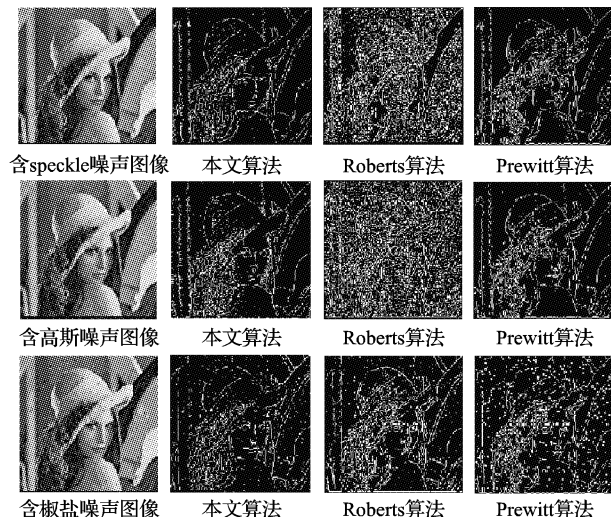


图 5 对含噪声图像的检测结果

为了进一步验证本算法的抗噪性能,给 lenna 图像加入 (下转第 1047 页)

的等值面显示,其中 $\rho_r(\gamma) = \cos\left(2\pi f_M \cos\left(\frac{\pi\gamma}{2}\right)\right)$;

采样的信号是基于 $40 \times 40 \times 40$ 的体单元,其中 $-1 < x; y, z < 1; f_M = 6, \alpha < 0.25$, 我们选取等值面 $\rho(x, y, z) = 0.5$ 。

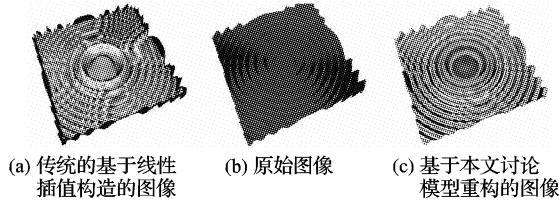


图 5 光线投射法下的等值面图

从图 5 三幅重建图像的比较中,我们可以很清晰地比较出图 5(c) 明显优于图 5(a), 其中图 5(b) 为原始图像。

同时在本文中,随着分隔层数 H 的变化,显示图像的效果也会有所不同。 H 越小,图像粗糙度越明显;随着 H 的不断变大,图像会越来越清晰。从数学的角度出发,本文列出了 H 在不同取值下的各种误差对应情况(表 1), 我们可以很清晰地得出随着 H 的增大,我们各种误差会越来越小,几乎达到原始的效果。

表 1 误差分析表

H (单位立方体的分割层数)	err_{mean}^{ml} (平均误差)	err_{rms}^{ml} (均方差)	err_{max}^{ml} (最大误差)
16	0.0637338	0.0763573	0.1794933
32	0.0469557	0.0548679	0.1202057
64	0.0175995	0.0206885	0.0395824
128	0.0049393	0.0058288	0.0105322
256	0.0012735	0.0015042	0.0026710

3 结语

针对规则数据场的重建的研究,提出了一种基于样条模

(上接第 1036 页)

随机噪声 (speckle 噪声)、高斯噪声和椒盐噪声并进行测试。在实验中,各种算法的阈值都和加噪声时一样保持不变。其中 speckle 噪声的均值为零,方差为 0.005;高斯噪声均值为零,方差为 0.001;椒盐噪声的强度为 0.01。

从图 5 中我们可以看出,对于 speckle 噪声,本文算法的边缘检测效果要明显优于 Roberts 算法和 Prewitt 算法。在阈值不变的情况下,Roberts 算法变得非常模糊,Prewitt 算法虽然整体检测性能和本文算法差不多,但在某些区域对噪声的抑制比较差,如图像右下角区域存在较大的噪声。对于高斯噪声,本文算法和 Prewitt 算法的检测效果差不多,但要优于 Roberts 算法。对含椒盐噪声图像,Prewitt 检测出来的每一个噪声点都包含噪声周围的四个像素,所以从图像可以看出它的检测结果中噪声非常明显,而本文算法和 Roberts 算法所检测出来的图像中对每个椒盐噪声点都只有单像素,效果要好很多。

从仿真结果可以看出,本文算法抗 speckle 和高斯噪声性能较好,抗椒盐噪声的性能还不够理想。但是,本文所提出的边缘检测方法在检测精度,抗噪声方面都优于传统的边缘检测方法。

4 结语

本文通过引入灰色系统的灰色关联度理论,并把它与 Sobel 算子相结合,提出了一种新的边缘检测新方法。通过仿真实验表明,该方法检测精度较高,抗噪声能力较强。

型重建的方法。该方法充分利用了数据场周围点的相关性及其梯度来重建采样点,给出的实验结果和数据分析表明本方法能很好提高体绘制的质量。

既然本文是在基于规则数据场中讨论图像的重建,那么在大规模的散乱数据场^[9]中的应用也将是本文进一步研究的课题。由于本文是用逼近的思想来重建图像,那么数据的压缩也是未来可以研究的一个课题。合理的数据结构设计也将大大改进该方法的运行速度和占有的存储容量。

参考文献:

- [1] THEUSL T, MOLLER T, HLADUVKA J, *et al.* Reconstruction issues in volume visualization[Z]. *Data Visualization: The State of the Art*, 2003. 109 - 126.
- [2] CARR H, MOLLER T, SNOEYINK J. Simplicial Subdivisions and Sampling Artifacts[A]. *Proc. IEEE Visualization[C]*, 2001. 99 - 106.
- [3] BARTHE L, MORA B, DODGSON N, *et al.* Triquadratic Reconstruction for Interactive Modelling of Potential Fields[A]. *Proc. Shape Modeling Int'l 2002[C]*, 2002. 145 - 153.
- [4] GERSTNER T, RUMPF M. Multiresolutional Parallel Isosurface Extraction Based on Tetrahedral Bisection[A]. CHEN M, KAUFMAN A, YAGEL R, ed. *Volume Graphics[C]*, 2000. 267 - 278.
- [5] DE BOOR C. "B-Form Basics" In *Geometric Modelling[A]*. FARIN G, ed. SIAM[C], 1987. 131 - 148.
- [6] CHUI C. *Multivariate Splines[A]*. CBMS 54, SIAM[C], 1988.
- [7] DE CASTELJAU P. *Courbes et Surfaces a Poles[Z]*. Andre Citroen, Automobiles SA, Paris, 1963.
- [8] THEVENAZ P, UNSER M. High-Quality Isosurface Rendering with Exact Gradients[A]. *Proc. Int'l Conf. Image Processing (ICIP '01) 2001[C]*, 2001. 854 - 857.
- [9] HABER J, ZEILFELDER F, DAVYDOV O, *et al.* Smooth Approximation and Rendering of Large Scattered Data Sets[A]. *Proc. IEEE Visualization 2001[C]*, 2001. 341 - 347.

本文所加的噪声都比较小,如果噪声进一步提高则在边缘检测之前要先对图像进行平滑滤波。灰色系统理论在图像处理中的应用还只是处于刚刚起步的阶段,而把经典的 Sobel 算子和灰色关联度相结合进行图像的边缘检测更是一次大胆的尝试,这方面的理论还有待于进一步的完善和提高。

参考文献:

- [1] 陆宗骥, 梁诚. 用 Sobel 算子细化边缘[J]. *中国图象图形学报*, 2000, (6): 516 - 520.
- [2] 王爱民, 赵忠旭, 沈兰荪. 基于矢量 Prewitt 算子的多尺度彩色图像边缘检测方法[J]. *中国图象图形学报*, 1999, (12): 1024 - 1028.
- [3] 李小红. 基于 LOG 滤波器的图像边缘检测算法的研究[J]. *计算机应用与软件*, 2005, (5): 107 - 108.
- [4] 王植, 贺赛先. 一种基于 canny 理论的自适应边缘检测方法[J]. *中国图象图形学报*, 2004, (8): 957 - 962.
- [5] 夏明革, 何友, 苏峰, 黄晓冬. 一种基于小波多尺度边缘检测的图像融合算法[J]. *电子与信息学报*, 2005, (1): 56 - 59.
- [6] 李映, 焦李成. 基于自适应免疫遗传算法的边缘检测[J]. *中国图象图形学报*, 2003, (8): 890 - 895.
- [7] 马苗, 樊养余, 谢松云. 基于灰色系统理论的图像边缘检测新算法[J]. *中国图象图形学报*, 2003, (10): 1136 - 1139.
- [8] 邓聚龙. *灰色系统基本方法[M]*. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.
- [9] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. *灰色系统理论及其应用[M]*. 北京: 科学出版社, 1999.