

文章编号:1001-9081(2011)12-3357-03

doi:10.3724/SP.J.1087.2011.03357

基于灰色绝对关联度的图像中值滤波算法

杨芳芳¹, 张有会¹, 王志巍¹, 李俊红¹, 董蕊²

(1. 河北师范大学 数学与信息科学学院, 石家庄 050024; 2. 河北交通职业技术学院 基础教学部, 石家庄 050091)

(xiyamilo@163.com)

摘要: 综合灰色绝对关联度的特性和中值滤波的优点, 将 $n \times n$ (n 为大于或等于 3 的奇数) 模板中的像素组合成两组序列, 利用绝对灰色关联度的特性分析这两组序列的相似程度, 根据相似程度判断当前像素是否为噪声; 然后对被判定为噪声的像素做中值滤波处理。实验结果表明, 与标准中值滤波及其他一些滤波方法相比, 该算法在较好保留原图像细节的基础上, 具有更佳的滤波效果。

关键词: 关联系数; 灰色绝对关联度; 椒盐噪声; 中值滤波; 图像去噪

中图分类号: TP751 **文献标志码:** A

Image median filtering algorithm based on grey absolute relation

YANG Fang-fang¹, ZHANG You-hui¹, WANG Zhi-wei¹, LI Jun-hong¹, DONG Rui²

(1. Mathematics and Information Science College, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei 050024, China;

2. Fundamental Teaching Department, Hebei Jiaotong Vocational and Technical College, Shijiazhuang Hebei 050091, China)

Abstract: This paper integrated the characteristics of the grey absolute relation with the advantages of the median filter to combine the pixels within the $n \times n$ template into two sequences, where n is an odd number that is greater than or equal to 3. Then, the characteristics of the grey absolute relation were used to determine the similarity between the two sequences. Finally, the degree of similarity was adopted to determine whether the current pixel is noise or not, and then the value of median filter was used to replace the noise one. The experimental results show that this algorithm has better filtering effect than the standard median filter method and other filtering methods while keeping more details of the original image.

Key words: relation coefficient; grey absolute relation; salt-and-pepper noise; median filtering; image denoising

0 引言

众所周知, 实际获得的图像在形成、传输、接收和处理的过程中, 不可避免地存在着外部干扰和内部干扰, 如光电转换过程中敏感元件灵敏度的不均匀性、数字化过程的量化噪声^[1]、传输过程中的误差及人为因素等, 从而使图像的质量受到影响, 不利于图像的分析和研究。因此, 对图像进行处理的首要任务就是去除噪声^[2-3]。椒盐噪声^[4]是由图像传感器、传输信道、解码处理等产生的黑白相间的亮暗点。去除椒盐噪声的传统的方法是采用中值滤波^[5-7]。中值滤波在一定条件下, 可以克服线性滤波器^[8-9]所带来的图像细节的模糊, 而且对滤波脉冲干扰及图像扫描噪声最为有效。中值滤波一般用含有奇数个点的滑动窗口为模板, 用模板中各点灰度值的中值来代替指定点(一般是窗口的中心点)的灰度值。这种方法虽然能够达到不错的滤波效果, 但是由于中值滤波算法是对图像中的每一个像素均做中值代替处理, 有些并非是噪声的像素的值也被改变了, 这样, 随着处理模板的增大, 图像便逐渐被模糊化了, 造成图像质量的下降, 同样会给后续的图像处理造成一定的困难。为了克服中值滤波这个缺点, 人们提出了多种改进算法, 如 Sun 等人提出了开关中值滤波(Switching Median, SM)算法^[10], Wang 等人在 SM 算法的基础上提出了递进开关中值滤波(Progressive Switching Median,

PSM) 算法^[11], 邢藏菊等人提出了一种基于极值中值(Extremum Median, EM)的滤波算法^[12], 谭筠梅等人提出了一种有效去除图像中脉冲噪声的滤波算法^[13]等。这些算法在改进标准中值滤波的性能方面做了较好的探索, 但在实际应用中都有各自的局限性。

灰色系统理论^[14]是基于数学理论的系统工程学科, 主要解决一些包含未知因素的特殊领域问题, 它广泛应用于农业、地质、气象等学科。对图像进行灰色系统分析是近年来灰度图像处理领域出现的一种新思路, 已经在图像处理方面取得不错的效果。灰色关联度^[15-16]是灰色关联分析的基础和工具, 而灰色绝对关联度^[17]是在灰色关联度的基础上提出的一种新的设想, 其基本思想是按照因素时间序列曲线变化势态的接近程度来计算关联度。在此基础上, 本文提出一种基于灰色绝对关联度的图像滤波算法, 利用灰色绝对关联度的特性和中值滤波的优点, 对图像进行滤波处理。实验结果表明, 本算法在有效去除椒盐噪声的同时能够较好地保留图像细节, 提高图像的峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR), 降低图像的均方误差(Mean Squared Error, MSE)。

1 绝对灰色关联度及其计算方法

1.1 基本原理

灰色关联度是应用灰色系统理论进行系统分析的重要方

收稿日期:2011-06-03;修回日期:2011-08-02。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(11071055)。

作者简介: 杨芳芳(1984-), 女, 河北廊坊人, 硕士研究生, 主要研究方向: 图形图像处理; 张有会(1955-), 男, 河北承德人, 教授, 主要研究方向: 计算几何、图形图像处理; 王志巍(1960-), 男, 辽宁锦州人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 算法设计、图像处理; 李俊红(1971-), 女, 山西运城人, 副教授, 硕士, CCF 会员, 主要研究方向: 嵌入式系统; 董蕊(1979-), 女, 河北石家庄人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 图形图像处理。

法,是一种系统分析技术,其基本原理是根据系统各因素间的内部联系和发展态势的相似程度来度量因素之间的关联程度。目前已提出了许多关联度的量化模型,而绝对灰色关联度是其中的一种。该模型的基本原理是,对于离散数据序列,两曲线的接近程度是由两时间序列在对应各时段上曲线斜率的接近程度来判定的,若两曲线在各时段上曲线斜率相等或相差较小,则二者的关联系数就大,而关联程度就强;反之,二者的关联系数就小,而关联程度也就弱。

1.2 计算方法

绝对关联度计算步骤如下:

设参考序列为 $X_0: \{x_0^{(0)}(k), k = 1, 2, \dots, n\}$, 比较序列为 $X: \{x^{(0)}(k), k = 1, 2, \dots, n\}$, 其中 $x_0^{(0)}(k)$ 与 $x^{(0)}(k)$ 分别表示参考序列与比较序列中的样本量。

1) 初值化,得到 Y_0, Y 。初值化的目的是使各序列之间具有可比性。

$$Y_0: \left\{ \frac{x_0^{(0)}(k)}{x_0^{(0)}(1)} \right\} = \{y_0^{(0)}(k)\} \quad (1)$$

$$Y: \left\{ \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(0)}(1)} \right\} = \{y^{(0)}(k)\} \quad (2)$$

2) 一次累减生成。作累减生成的目的是为了找到相邻两点在各时点的变化。

$$\begin{aligned} a^{(1)}(y_0^{(0)}(k+1)) &= y_0^{(0)}(k+1) - y_0^{(0)}(k); \\ k &= 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} a^{(1)}(y^{(0)}(k+1)) &= y^{(0)}(k+1) - y^{(0)}(k); \\ k &= 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (4)$$

3) 计算各时点的关联系数。

$$\xi(k+1) = 1 / [1 + |a^{(1)}(y_0^{(0)}(k+1)) - a^{(1)}(y^{(0)}(k+1))|]; k = 1, 2, \dots, n-1 \quad (5)$$

4) 计算关联度。

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \xi(k) \quad (6)$$

由式(5)和(6)可以看出绝对关联度的两个特性:对称性和唯一性。即两序列互以对方为参考序列计算出的关联系数和关联度是一致的,并且不受其他影响,在样本量变化时,关联系数也是不变的,具有唯一性。故由式(5)和(6)计算出的关联系数和关联度称为绝对关联系数和绝对关联度。

2 算法基本思想及实现

图像不仅噪声源多,而且噪声种类复杂,有许多未知的和不确定的因素存在,很难将影响图像质量的噪声一一列出,因此图像和图像噪声具有明显的灰色特性。所以,用灰色系统理论方法中的灰色绝对关联度对图像进行关联分析,不仅能够考虑多种因素的影响,而且具有要求的样本少、预测快、精度高等优点。基于灰色绝对关联度的图像中值滤波算法基本思想如下:

首先,将 $n \times n$ (n 为大于或等于 3 的奇数) 模板内的像素按照其像素值的大小由小到大排序,判断当前像素是否排在队首或者队尾,如果当前像素既不排在队首也不排在队尾,则当前像素为非噪声像素,保持其原值不变,算法结束;否则,对当前像素作进一步的判断。利用 $n \times n$ 模板内像素构造两组序列,一组为上述已排好序的序列,称之为比较序列;另一组为

用 $n \times n$ 模板内像素的均值来代替当前像素,而模板内其他像素保持不变的序列,称之为参考序列。然后对参考序列内的像素也按照其像素值的大小由小到大排序。接着,根据灰色绝对关联度理论,通过计算出参考序列和比较序列的关联度,来判断当前像素是否为噪声。如果当前像素为噪声像素,则对其进行中值滤波;如果当前像素为非噪声像素,则保持其原值不变。

计算步骤如下:

1) 对 $n \times n$ 模板内像素由小到大排序,判断当前像素在排序后的序列中的位置。

以 3×3 的窗口模板为例,如图 1 所示,其中 $x_{i,j}$ 为要判断的当前像素。将模板内排好序的像素放在数组 a 中,如果当前像素 $x_{i,j}$ 既不等于 $a[0]$,也不等于 $a[8]$,则不对其做任何处理,算法结束;否则转向步骤 2)。

$x_{i-1,j-1}$	$x_{i-1,j}$	$x_{i-1,j+1}$
$x_{i,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$
$x_{i+1,j-1}$	$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$

图 1 3×3 窗口模板

2) 确定参考序列和比较序列。

将步骤 1) 中的数组 a 中的序列作为比较序列,而参考序列如下所示:

$$X: \{x_{i-1,j-1}, x_{i-1,j}, x_{i-1,j+1}, x_{i,j-1}, jun, x_{i,j+1}, x_{i+1,j-1}, x_{i+1,j}, x_{i+1,j+1}\}$$

$$\text{其中 } jun = \text{int} \left(\frac{1}{9} \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 x_{i,j} \right)。$$

3) 将参考序列中的像素进行排序,并将排序后的元素放在数组 b 中。

4) 计算灰色绝对关联度。

① 将两组序列分别做一次累减,然后将累减后的值分别放在数组 $c1$ 和 $c2$ 中。

$$c1[i] = a[i+1] - a[i]; i = 0, 1, \dots, 7$$

$$c2[i] = b[i+1] - b[i]; i = 0, 1, \dots, 7$$

② 计算各对应点的关联系数。

$$\xi(i) = \frac{1}{1 + |c2[i] - c1[i]|}; i = 0, 1, \dots, 7$$

③ 计算关联度。

$$r = \frac{1}{8} \sum_{i=0}^7 \xi(i)$$

5) 进行噪声判断并处理噪声。

得出关联度 r 之后,设定阈值 q ,当 $r < q$ 时,则认为当前像素为噪声像素,用中值滤波对其进行处理;当 $r \geq q$ 时,则认为当前像素为非噪声像素,保持其原值不变。通过对 Lena、Couple 等 10 幅图像的测试得出:当 q 取值在 0.89 ~ 0.98 范围内时,所得处理后图像的峰值信噪比达到最好。本文中采用 Lena 图像进行测试, q 的取值为 0.98。

3 仿真实验结果及分析

图 2 展示了噪声密度为 10% 的 Lena 图像分别经标准中值滤波和本文中算法处理后的效果。

图 3 展示了噪声密度为 5% 的 Lena 图像分别经谭筠梅等人提出的一种有效去除图像中脉冲噪声的滤波算法(以下简称谭算法)和 5×5 模板下本文中滤波算法的处理效果。



图 2 Lena 图分别经标准中值滤波和本文算法处理后的效果

为了验证算法的滤波效果,采用图像的均方误差和峰值信噪比作为客观评价准则。表 1 为在 3×3 、 5×5 和 7×7 的模板下,本文算法与谭算法及标准中值滤波的性能比较结果,

$\Delta PSNR$ 表示峰值信噪比增加的百分比; ΔMSE 表示均方误差减少的百分比。其中, $\Delta P1$ 、 $\Delta P2$ 分别表示本文算法与谭算法和标准中值滤波方法相比 $PSNR$ 值的变化; $\Delta M1$ 和 $\Delta M2$ 分别表示本文算法与谭算法和标准中值滤波方法相比 MSE 值的变化,且“+”代表增加,“-”代表减少。由于谭算法利用噪声与边缘像素的特性进行滤波,滤波模板为 5×5 窗口,因此本文采用 5×5 模板下的滤波图像与谭算法作比较,以验证滤波效果。图 4 表示随着加噪比例的增加, $\Delta PSNR$ 变化趋势。



图 3 Lena 图分别经谭算法和本文算法处理后的效果

表 1 性能比较结果

加噪 百分比	模板 类型	PSNR /dB			$\Delta PSNR /%$		MSE /dB			$\Delta MSE /%$	
		谭算法	标准中值滤波	本文算法	$\Delta P1$	$\Delta P2$	谭算法	标准中值滤波	本文算法	$\Delta M1$	$\Delta M2$
10%	3×3	27.90	30.84		+10.53		106.25	54.02		-49.16	
	5×5	25.89	25.61	30.14	+16.41	+17.66	168.89	179.93	63.48	-62.41	-64.72
	7×7	23.79	29.02		+21.96		273.67	82.16		-69.98	
20%	3×3	21.88	23.72		+8.39		424.88	278.38		-34.48	
	5×5	19.20	23.00	26.37	+37.33	+14.68	787.63	328.79	151.16	-80.81	-54.03
	7×7	21.57	25.37		+17.67		457.03	109.10		-58.41	
30%	3×3	16.83	18.42		+9.46		1359.20	942.19		-30.68	
	5×5	15.51	19.77	22.49	+45.04	+13.76	1844.50	691.04	369.44	-79.97	-46.54
	7×7	19.49	22.65		+16.22		737.36	356.17		-51.07	
40%	3×3	12.75	14.17		+11.16		3477.50	2506.10		-27.93	
	5×5	12.70	14.11	16.39	+29.05	+16.14	3518.20	2542.20	1504.50	-57.24	-40.82
	7×7	15.02	17.61		+17.24		2062.50	1136.20		-44.91	

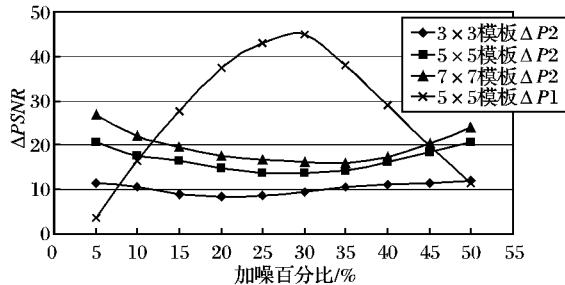


图 4 图像质量变化

由表 1 和图 4 可以看出,本文算法相对于谭算法而言,当噪声密度小于 30% 时,随着噪声密度的增加,峰值信噪比的增加比例呈上升趋势;当噪声密度大于 30% 时,随着噪声密度的增加,峰值信噪比的增加比例呈下降趋势。本文算法对于标准中值滤波而言,在使用 3×3 滤波模板时,当噪声密度小于 20% 时,随着噪声密度的增加,峰值信噪比的增加比例呈下降趋势,当噪声密度大于 20% 时,随着噪声密度的增加,峰值信噪比的增加比例呈上升趋势;在使用 5×5 或者 7×7 滤波模板时,当噪声密度小于 30% 时,随着噪声比例的增加,峰值信噪比的增加比例呈下降趋势,当噪声密度大于 30% 时,随着噪声密度的增加,峰值信噪比的增加比例呈上升趋势。由此可见,本算法具有更好的滤波效果。

4 结语

本文提出了一种基于灰色绝对关联度的中值滤波算法。

新算法采用灰色绝对关联度的理论,通过判断参考序列与比较序列的相似程度,判定当前像素是否为噪声像素,然后再利用中值滤波方法对噪声像素进行处理,以达到去除噪声的效果。实验结果表明,新算法相对于谭算法及标准中值滤波算法,在噪声处理和细节保护上有明显的改进,尤其对于具有较高密度噪声的图像,算法的优势更加明显,能够得到较好的滤波效果。

参考文献:

- [1] DIDENKO V I, LVANOV A V. A metrological approach to investigation of quantization noise of delta-sigma ADCs[J]. Measurement Techniques, 2009, 52(5): 521–527.
- [2] 王秀芳. 数字图像的噪声及其去噪的几种方法和研究[J]. 黑龙江科技信息, 2010(31): 53.
- [3] SRINIVASAN K S, EBENEZER D. A new fast efficient decision-based algorithm for removal of high-density impulse noise[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(3): 189–192.
- [4] SULAIMAN N, MATLSA N A. Denoising-based clustering algorithms for segmentation of low level salt-and-pepper noise-corrupted images[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4): 2702–2710.
- [5] 杨淑莹. VC++ 图像处理程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [6] PAN MEI-SEN, TANG JING-TIAN, YANG XIAO-LI. An adaptive median filter algorithm based on B-spline function[J]. International Journal of Automation and Computing, 2011, 8(1): 92–99.
- [7] 刘铭. 基于噪声检测的自适应中值滤波算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(2): 390–392.

(下转第 3384 页)

元素进行两次迭代连接即可得到很好的效果,图中裂缝光滑且连通。图 5(a)所示的裂缝图像,噪声同样很多,且边界过于狭窄导致了裂缝断裂,采用本文算法处理结果如图 5(e)所示,该方法使用 3×3 结构元素进行生长连接,可以看出断裂的地方已经完好的连接起来。

相比之下,文献[3~5]中采用的算法均是基于像素点的边缘连接,每个像素的 8 个相邻像素,导致了搜索后续像素方向的规则复杂,耗时长,且连接率低。

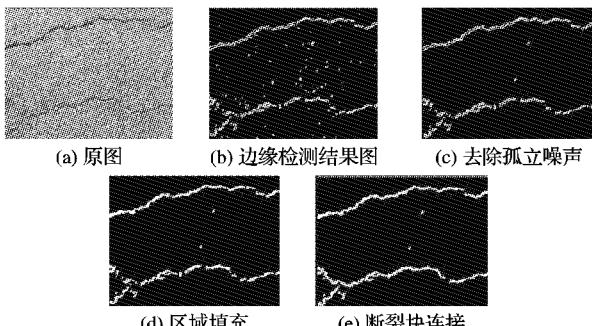


图 4 本文算法对沥青路面裂缝图像实验结果

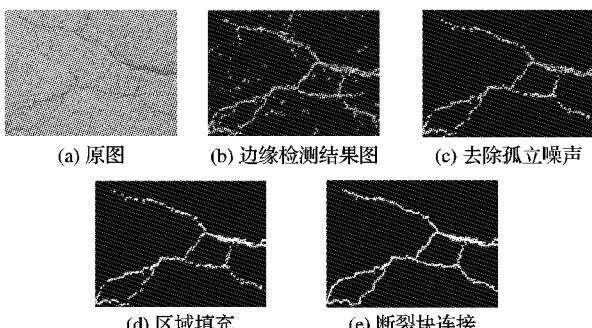


图 5 本文算法对复杂网状沥青路面裂缝图像实验结果

从连霍高速公路洛阳段路面图像中提取了 50 幅有裂缝类病害的图像,共有 54 处病害。尝试不进行边缘连接,直接对经过预处理、边缘检测后的二值图像进行检测,共检测出 89 处病害。这是由于检测结果存在不连续边缘,导致了对同一病害的重复计算。可以看出在理想情况下,应该有 35 处边缘块被连接。之后使用基于像素和基于边缘块的两种连接方法分别进行连接。实验结果如表 1 所示。

表 1 两种算法实验结果对比表

算法	实际 连接数	连接 正确数	连接正 确率/%	连接 率/%	处理 时间/s
基于像素的边 缘连接算法	11	9	81.8	31.4	475.5
本文算法	26	24	92.3	74.3	217.2

(上接第 3359 页)

通过表 1 可以看出,使用基于像素的启发式边缘连接算法,由于图像的复杂性,连接杂乱不规则且效率较低。而通过本文算法,避免了对病害的重复计算,不仅算法简单,效率高,而且具有普遍的适用性,处理效果也较理想。

5 结语

由于沥青路面裂缝图像的复杂性,检测结果均存在大量裂缝断裂的问题,因此,本文提出了通过裂缝块进行断裂裂缝的连接方法,改变了传统方法从像素点出发的思想,从而提高了效率。同时本文依据数学形态学的膨胀和闭运算,定义了生长操作,保证了新生边缘的正确性,得到更完整的裂缝连通图。在图像受噪声影响很严重且要求高效的连接情况下,本文算法更为有效。

参考文献:

- [1] 赵于前,桂华卫,陈真诚,等.基于自适应数学形态学的医学图像边缘连接[J].计算机工程,2006,32(22):17~19.
- [2] NAHUM K, HEKKI K, SATU A. Randomized or probabilistic though transform unified performance evaluation [J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21(13/14): 1157~1164.
- [3] GONZALEZ R C. 数字图像处理[M]. 朱志刚,译.北京:电子工业出版社,2005:183~211.
- [4] 李清泉,邹勤,毛庆洲.基于最小代价路径搜索的路面裂缝检测[J].中国公路学报,2010,23(6):28~33.
- [5] LIU S M, LIN W C, LIANG C C. An iterative edge linking algorithm with noise removal capability[C]//9th International Conference on Pattern Recognition. New York: IEEE, 1988, 2: 1120~1122.
- [6] 王捷,莫灿林,曹国惠.一种基于种子生长的可控边缘检测法及评价方案[J].浙江理工大学学报,2010,27(5):738~743.
- [7] 陈军,赵玉凡,徐友春,彭永胜,袁一.基于启发式搜索的车道线识别算法研究[J].计算机工程与应用,2007,43(31):206~209.
- [8] 苏茜,黄凤岗,贾迪野.基于 DIS 边缘检测和自适应边缘生长的图像分割方法[J].哈尔滨工程大学学报,2004,25(3):345~348.
- [9] 董银文,郭雷,姚俊.一种从噪声图像中提取边缘的启发式搜索算法[J].模式识别与人工智能,2006,19(1):14~19.
- [10] 李刚,贺昱曜.不均匀光照的路面裂缝检测和分类新方法[J].光子学报,2010,39(8):1405~1408.
- [11] 曾峰,李宁,杭燕.基于规则的边缘连接算法在路面病害检测中的应用[J].计算机应用与软件,2006,23(2):30~31.
- [12] 林通,石青云.一种基于边缘生长的灰度和彩色图像分割方法[J].中国图象图形学报,2001,5(11):911~915.
- [13] 邢藏菊,王守亮,邓浩江,等.一种基于极值中值的新型滤波算法[J].中国图象图形学报,2001,6(6):533~536.
- [14] 谭筠梅,王履程,鲁怀伟.一种有效去除图像中脉冲噪声的滤波算法[J].兰州交通大学学报,2011,30(1):18~21.
- [15] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].华中理工大学出版社,1990.
- [16] 刘新梅,徐润芳,张若勇.邓氏灰色关联分析的应用模型[J].统计与决策,2008(10):23~25.
- [17] 李艳玲,黄春艳,赵娟.基于灰色关联度的图像自适应中值滤波算法[J].计算机仿真,2010,27(1):238~240.
- [18] 梅振国.灰色绝对关联度及其计算方法[J].系统工程,1992,10(5):43~44.