

基于多结构元广义形态滤波的改进算法

马义德, 张祥光, 杨 淼

(兰州大学信息科学与工程学院 兰州 730000)

【摘要】为对采用相同结构元的形态闭-开和形态开-闭这两种滤波器进行改进, 采用了不同结构元的广义形态闭-开和形态开-闭滤波器。在此基础上, 将一种新的结构元运用到广义形态滤波中, 提出了一种滤波新算法。理论分析和图像处理仿真实验表明, 该类滤波新算法既能有效地滤除噪声, 又可充分保留原图像的细节信息。

关键词 非线性滤波; 形态滤波; 广义形态滤波; 混合噪声

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

Improved Algorithm of the Filter Based on the Generalized Morphological Filter with Omnidirectional Structuring Element

Ma Yide, Zhang Xiangguang, Yang Miao

(The School of Information Science and Engineering of Lan Zhou University Lan Zhou 730000)

Abstract The close-opening or open-closing filter based on the morphological filter with the same size structuring element cannot remove all the positive or negative impulse noise effectively. To improve the performance of these two kinds of filter, the generalized close-opening and open-closing filter based on the morphological filter with the different size structuring element are put forward. Based on the generalized morphological filter, this paper suggests a kind of designing project of the filter that applies a new structuring element to the generalized morphological filter. The theory analysis and the simulation experiments of the image processing indicate that this kind of filter can not only remove noise effectively but also keep the details of the image sufficiently.

Key words non-linear filter; morphology filter; generalized morphological filter; hybrid noise

非线性滤波器由于能够在滤除噪声的同时最大限度地保持图像信号的高频细节^[1], 使图像清晰、逼真, 从而引发了对其的深入研究。目前已有很多比较经典的非线性滤波算法, 如中值滤波^[1]、形态滤波^[2]、层叠滤波, 以及基于中值滤波的一些改进滤波算法等^[3]。

形态滤波是从数学形态学中派生出来的一类新型非线性滤波方法^[2,4], 它在信号处理、图像处理和图像分析中获得了广泛的应用。目前, 人们所采用的形态滤波器主要有形态开运算和闭运算滤波器, 以及它们的级联组合形式。目前尚没有按要求设计形态滤波器的统一方法。传统的形态滤波器由于只采用单一的结构元, 在滤除椒盐噪声的同时模糊了图像中的一些细节, 另外对非椒盐噪声的抑制效果也不理想。为了解决这些问题, 文献[5]基于广义形态开连通闭和闭连通开运算^[6], 采用了多种结构元和自适应加权平均技术, 有效地克服了传统形态滤波器存在的缺点, 并且对由椒盐噪声和高斯噪声组成的混合噪声有很好的抑制效果。但由于原算法中使用的结构元不利于保持图像中的细节(如角点等), 为此, 本文提出了一种新的结构元,

收稿日期: 2003-12-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30200059)

作者简介: 马义德(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事数字图像处理、数字信号处理和神经网络方面的研究。

并通过仿真实验证明了新结构元的有效性。

1 原算法的具体描述

Maragos利用相同的结构元素,定义了形态开连通闭和形态闭连通开滤波器^[7]。对于形态开连通闭滤波器而言,首先进行的开运算在去除正脉冲噪声的同时,增强了负脉冲噪声,如果再采用相同的结构元素进行闭运算,就不能有效地去除全部的负脉冲噪声。同样,采用相同结构元素的形态闭连通开滤波器也不能有效地去除全部的正脉冲噪声。因此,为对这两种滤波器进行改进,本文提出了采用不同结构元素的广义形态开连通闭和形态闭连通开滤波器^[6]。

定义 1 设 $f(m,n)$ 为定义在二维离散空间 $Z^{(2)}$ 上的输入图像信号, B_1, B_2 为两个结构元,且 $B_1 \subseteq B_2$, 则广义形态开连通闭(General Open-Closing, GOC)和广义形态闭连通开(General Close-Opening, GCO)滤波器分别定义为

$$GOC(f(m,n)) = (f \circ B_1 \bullet B_2)(m,n) \quad (1)$$

$$GCO(f(m,n)) = (f \bullet B_1 \circ B_2)(m,n) \quad (2)$$

定义 2 设 $x(n)$ 为一离散数字图像, $\{B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1i}\}$ 和 $\{B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2i}\}$ 为两个多结构元集合,且有 $B_{1j} \subseteq B_{2j}$, 其中 $j \in (1, 2, \dots, i)$, 则形态滤波器的输出可定义为

$$y(n) = \sum_{j=1}^i a_j(n) y_j(n) = A(n)^T Y(n) \quad (3)$$

式中 $y_j(n)$ ($j=1, 2, \dots, i$) 是广义形态开-闭或闭-开滤波器输出的排序值, 即 $y_1(n) \ y_2(n) \ \dots \ y_i(n)$ 。 $A(n)=[a_1(n), a_2(n), \dots, a_i(n)]^T$ 是权矢量, 为了不产生图像灰度畸变, 权系数应满足约束条件

$$\sum_{j=1}^i a_j(n) = 1 \quad (4)$$

排序输出矢量为 $Y(n)=[y_1(n), y_2(n), \dots, y_i(n)]^T$ 。广义开-闭和闭-开滤波器输出分别为

$$x_j(n) = (x \circ B_{1j} \bullet B_{2j})(n) \quad \text{或} \quad x_j(n) = (x \bullet B_{1j} \circ B_{2j})(n) \quad (5)$$

滤波器的权系数一般可根据信号和噪声的特性来确定。然而,在实际应用中,信号和噪声的先验知识一般无法预知,这时可利用自适应技术来计算最佳权系数。由于自适应过程中存在约束条件,所以典型的最小均方误差算法不能直接使用。这里我们采用一种有约束条件的最小均方误差算法^[8]。根据拉格朗日乘法,最小化函数为

$$F(A) = E[e^2(n)] - \lambda(A(n)^T U - 1) \quad (6)$$

式中 λ 为待定系数, $U = [1, 1, \dots, 1]^T$,

$$E[e^2(n)] = E[(y(n) - d(n))^2] = E[(A(n)^T Y(n) - d(n))^2] = A(n)^T R_{YY} A(n) - 2A(n)^T R_{dY} + s_d \quad (7)$$

式中 $R_{YY} = E[Y(n)Y(n)^T]$, $R_{dY} = E[d(n)Y(n)]$, $s_d = E[d^2(n)]$ 。

联立式(6), (7)可得

$$F(A) = s_d - 2R_{dY}^T A(n) + A(n)^T R_{YY} A(n) + \lambda(A(n)^T U - 1) \quad (8)$$

由最陡下降法^[9], 得权系数迭代公式

$$A(n+1) = A(n) - m \nabla_A F[A(n)] \quad (9)$$

式中 m 为收敛参数, $\nabla_A F[A(n)]$ 为 $F(A)$ 关于 $A(n)$ 的导数。

联立式(8), (9)可得

$$A(n+1) = A(n) - m[2R_{dY}^T A(n) - 2R_{dY} + \lambda U] \quad (10)$$

另外, 权矢量 $A(n+1)$ 也应满足约束条件

$$A(n+1)^T U - 1 = 0 \quad (11)$$

联立式(10), (11)可得

$$A(n+1) = A(n) + 2m(I - UU^T / N)[R_{dY} - R_{dY} A(n)] + U / N[1 - U^T A(n)] \quad (12)$$

上式中需要计算 R_{YY} 和 R_{dY} ,自适应处理时可用 $Y(n+1)Y(n+1)^T$ 和 $d(n+1)Y(n+1)$ 分别作为 R_{YY} 和 R_{dY} 的近似估计。则权系数的迭代公式为

$$A(n+1) = A(n) + 2m(I - UU^T / N)Y(n+1)e(n) + U / N[1 - U^T A(n)] \quad (13)$$

若令权系数的初始值取 $A(0) = [1/N, 1/N, \dots, 1/N]^T$,则由式(13)和权系数的初始值便可实现权系数的自适应处理。

2 新算法的具体描述

为了更好地保留细节点,本文采用以中心像素为端点,而不是采用以中心像素为中点的结构元^[5]。这样做的原因可用图1解释。因为假设C为角点,如果结构元以C为端点,那么,显然采用垂直向下结构元的广义形态滤波可以更好地保护该角点信息;而如果结构元以C为中点,则该角点将受到区域外部临近点的影响,导致不能很好地保留细节点。

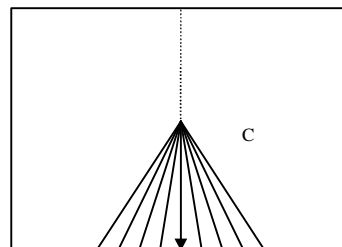


图1 本文算法对角点的作用

3 计算机仿真实验及结果分析

本文采用MATLAB软件中256×256 8 bit的“Lena”图像来测试本文讨论的滤波器性能,实验结果如图2所示。图中,第一行为原始图像、加噪图像和中值滤波的结果;第二行为原始图像、原算法GCO和原算法GOC滤波的结果;第三行为原始图像、新算法GCO和新算法GOC滤波的结果。这里椒盐噪声取10%、高斯噪声取均值为0、方差为0.01。表1给出了这几种滤波器的峰值信噪比、方差、均值等主要性能指标。在图2中,无论原算法GCO, GOC还是新算法GCO, GOC,它们的迭代次数均为10。



图2 Lena图像各种方案处理结果比较

表1 Lena图像的方差、均值和信噪比参数比较(10%的椒盐噪声和(0,0.01)的高斯噪声)

图像类型	加噪图像	中值滤波	原算法	原算法	新算法	新算法
			GCO	GOC	GCO	GOC
噪声方差	2 283.0	217.3	113.9	96.7	34.9	33.0
噪声均值	3.37	-0.65	5.71	-4.61	0.62	-1.41
信噪比	14.55	24.76	27.57	28.28	32.70	32.95

4 结论

以上的分析和实验证明,本文提出的滤波器设计算法,相对于原方案,无论从滤除噪声方面还是从保持图像的细节信息方面,都有了长足的进步

参 考 文 献

- [1] Kenneth R, Castleman. Digital image processing[M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1996
- [2] Serra J. Image analysis and mathematical morphology[M]. New York: Academic, 1982
- [3] Akopian D, Vainio O, Aгаian S, *et al.* Generalized stack filters[J]. IEEE Trans, Signal Processing, 1995, 43(6): 1 541-1 546
- [4] 龚 炜, 石青云, 程民德. 数字空间中的数学形态学—理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [5] 赵春晖, 乔景录, 孙圣和. 一类多结构元自适应广义形态滤波器[J]. 中国图像图形学报, 1997, 11(2): 806-809
- [6] 赵春晖, 孙圣和. 一种形态开、闭自适应加权组合滤波器[J]. 电子学报, 1997, 25(6):109-111
- [7] Maragos P, Schafer R W. Morphological filters-part I and part II[J]. IEEE Trans. on ASSP, 1987, 35(8): 1 153-1 184
- [8] Bataillou E, Thierry E, Rix H, *et al.* Weighted averaging using adaptive estimation of the weights[J]. Signal Processing, 1995, 44(1): 51-66
- [9] 姚天任、孙 洪. 现代数字信号处理[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999

编 辑 熊思亮

(上接第386页)

参 考 文 献

- [1] Stallings W著. 密码编码学与网络安全: 原理与实践[M]. 杨明, 胥光辉, 奇望东, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2001
- [2] Knuth D E著. 计算机程序设计艺术 第2卷 半数值算法[M]. 苏运霖译. 北京: 国防工业出版社, 2002
- [3] 陈 运, 龚耀寰. RSA快速算法研究[J]. 通信保密. 2000, 25(3): 43-46
- [4] 陈 运, 龚耀寰. RSA多重快速算法研究[C]. 中国计算机学会信息保密专业委员会会议: 大连, 2000: 30-36

编 辑 刘文珍