

全方位多结构元形态滤波器

赵春晖 王伟

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 哈尔滨 150001)

摘要 形态滤波器是在脉冲噪声背景下恢复根信号的一种有效方法。此文定义了一类全方位多结构元, 并由此提出了一种新的形态滤波器——全方位多结构元形态滤波器。在标准测试图象噪声环境下, 仿真实验结果表明在噪声抑制和细节保持上, 该滤波器有较好的性能。

关键词 非线性滤波器, 形态滤波器, 结构元, 图象处理

1 引言

图象恢复中最基本的任务是在去除由降质系统(如摄像系统等)引入的噪声, 同时不丢失根信号的细节信息。一般图象信号在摄取和传输过程中附加的噪声多为脉冲噪声或双指数噪声, 其高频分量较为丰富。采用均值滤波或其它线性滤波方法虽可去除噪声, 但同时也使图象信号的细节特征变得模糊, 不利于根信号的恢复。这个问题一般可采用非线性滤波方法来解决^[1]。

形态滤波技术是近年来受到人们普遍重视的一种非线性滤波方法。形态滤波器是基于信号的几何特征, 利用预先定义的结构元(相当于滤波窗)对信号进行匹配, 以达到提取信号, 保持细节和抑制噪声的目的^[2]。目前, 人们所采用的形态滤波器主要有形态开运算、闭运算, 以及它们的级联组合形式^[3]。传统的形态滤波器由于只采用了单一的结构元(方形或圆形等), 在滤除脉冲噪声的同时, 也会损失图象的一些细节。虽然图象中的细节信息(例如边缘等)经常以线性方式呈现, 但是在方向上却是随机的。为此, 本文定义了一类全方位多结构元, 并在此基础上提出了一种新的形态滤波器——全方位多结构元形态滤波器。该滤波器在抑制图象中的脉冲噪声和细节特征保持方面有较好的性能。

2 基本形态变换与形态滤波器

形态变换一般分为二值形态变换和多值(灰度)形态变换。为了便于分析问题, 本节只限于离散情况下的多值形态变换。包括腐蚀、膨胀、形态开和形态闭, 以及形态开、闭的级联组合。

定义 1 设 $f(m, n)$ 为定义在二维离散空间 $Z^{(2)}$ 上的灰度图象, 结构元 B 为 $Z^{(2)}$ 上的有限子集。则 4 种基本形态变换定义如下:

$f(m, n)$ 关于 B 的腐蚀和膨胀运算分别为:

$$(f \ominus B)(m, n) = \min\{f(m+i, n+j) / (i, j) \in B\} \quad (1)$$

$$(f \oplus B)(m, n) = \max\{f(m-i, n-j) / (i, j) \in B\} \quad (2)$$

$f(m, n)$ 关于 B 的形态开和闭运算分别为:

$$f \circ B = (f \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

$$f \cdot B = (f \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

通常, 形态开、闭运算用于形态滤波, 它们以不同的方式平滑信号。为了同时去除图象信号中正、负两种脉冲噪声, 通常采用形态开、闭的级联形式。Maragos 利用相同的结构元, 定义了形态开—闭和形态闭—开滤波器^[4]。

定义 2 设 $f(m, n)$ 为输入图象信号, B 为结构元, 则形态开—闭(OC)和闭—开(CO)滤波器分别定义为:

$$OC(f(m, n)) = (f \circ B \cdot B)(m, n) \quad (5)$$

$$CO(f(m, n)) = (f \cdot B \circ B)(m, n) \quad (6)$$

形态滤波器的输出不仅取决于变换形式,而且取决于结构元的尺寸和形状。由于开一闭和闭一开滤波器只采用了一种结构元,因此,滤波器的输出中只包含一种几何信息;而其它几何信息与噪声一起被滤掉,所以不利于图象几何结构特征的保持。为此我们定义全方位多结构元,并在此基础上提出一类全方位多结构元形态滤波器。

设 $\{f(n_1, n_2)\} (n_1, n_2 \in Z)$ 为一数字图象,其中 $Z = \{\dots, -1, 0, 1, \dots\}$ 。令二维工作窗尺寸为 $(2N+1) \times (2N+1)$, 并以位置 (n_1, n_2) 为中心,窗内象素灰度表示为 $\{f(n_1+l_1, n_2+l_2) | -N \leq l_1, l_2 \leq N\}$ 。

定义3 在 $(2N+1) \times (2N+1)$ 方窗内,如下子集 $W_k (k=0, 1, \dots, 4N-1)$ 定义为该方窗的全方位结构元(子窗):

$$W_k = \{f(n_1 + l_1, n_2 + l_2) / \theta_l = l \cdot \alpha; -N \leq l_1, l_2 \leq N\}$$

$$\forall l = 0, 1, \dots, 4N-1 \text{ 且 } \alpha = 180^\circ / 4N \quad (7)$$

式中 α 称作单位旋转角。例如:当 $N=2$ 时, 5×5 方窗内的全方位结构元如图1所示,它们分别对应于 $\theta_l = 0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$ 。

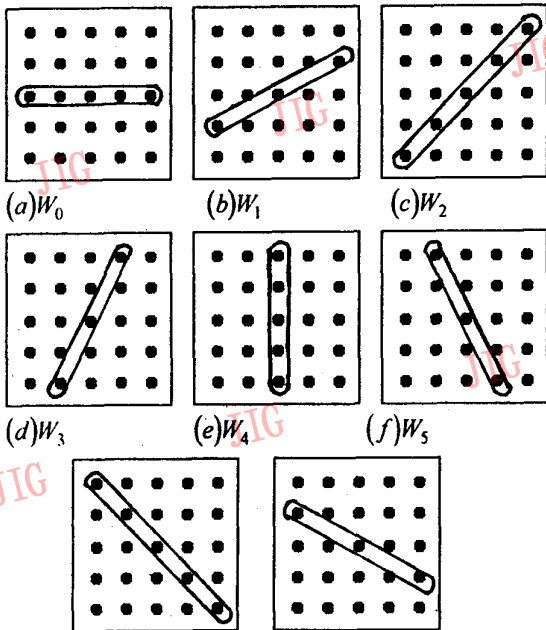


图1 全方位多结构元

Fig.1 Omnidirectional multiple structuring elements

定义4 设 $f(n_1, n_2)$ 为输入图象, $W_k = \{W_0, W_1, \dots, W_{4N-1}\}$ 为 $(2N+1) \times (2N+1)$ 方窗内的全方位结构元,则全方位形态开一闭最大滤波器

(Φ_{QOCmax})和闭一开最小滤波器(Φ_{QOmin})分别定义为:

$$\Phi_{QOC}(f(n_1, n_2)) = \max_{k \in \{0, 1, \dots, 4N-1\}} (f \cdot W_k \cdot W_k)(n_1, n_2) \quad (8)$$

$$\Phi_{QCO}(f(n_1, n_2)) = \min_{k \in \{0, 1, \dots, 4N-1\}} (f \cdot W_k \cdot W_k)(n_1, n_2) \quad (9)$$

全方位形态开一闭最大滤波器和闭一开最小滤波器具有如下一些重要性质:

(1) 位移不变性:

$$\Phi_{QOC}(f(n_1 - m_1, n_2 - m_2) + s) = \Phi_{QOC}(f)(n_1 - m_1, n_2 - m_2) + s \quad (10)$$

$$\Phi_{QCO}(f(n_1 - m_1, n_2 - m_2) + s) = \Phi_{QCO}(f)(n_1 - m_1, n_2 - m_2) + s \quad (11)$$

其中 $m_1, m_2, s \in Z$ (整数集)。

(2) 递增性:

若 $f_1(n_1, n_2) \leq f_2(n_1, n_2)$, 则:

$$\Phi_{QOC}(f_1(n_1, n_2)) \leq \Phi_{QOC}(f_2(n_1, n_2)) \quad (12)$$

$$\Phi_{QCO}(f_1(n_1, n_2)) \leq \Phi_{QCO}(f_2(n_1, n_2)) \quad (13)$$

(3) 对偶性:

$$[\Phi_{QOC}(f(n_1, n_2))]^c = \Phi_{QOC}(f^c(n_1, n_2)) \quad (14)$$

$$[\Phi_{QCO}(f(n_1, n_2))]^c = \Phi_{QCO}(f^c(n_1, n_2)) \quad (15)$$

这里 $[\]^c$ 表示对偶运算。

(4) 幂等性:

$$\Phi_{QOC}(\Phi_{QOC}(f(n_1, n_2))) = \Phi_{QOC}(f(n_1, n_2)) \quad (16)$$

$$\Phi_{QCO}(\Phi_{QCO}(f(n_1, n_2))) = \Phi_{QCO}(f(n_1, n_2)) \quad (17)$$

上述性质可根据形态开、闭运算的性质证明,这里从略。

3 实验与性能比较

这里采用一幅 $512 \times 512, 8\text{bit}$ 标准测试图“桥溪图”来测试本文所述滤波器的性能。图2为原始图象,图3为脉冲噪声(概率为10%)污染图象。采用 5×5 方形结构元,分别进行开一闭和闭一开滤波,结果如图4,5所示。再采用图1中的全方位结构元,分别进行全方位开一闭最大和闭一开最小滤波,其结果如图6,7。图象恢复的性能评价通常采用均方误差(MSE)和平均绝对误差准则(MAE),计算结果见表1。通过比较可以看出,采用单一方形结构元的传统开一闭和闭一开滤波器在滤除噪声的同时,模糊了图象的细节,而本文所提的全方位多结构元形态滤波器不仅可以有效抑制图象中的噪声,而且较好地保持了图象的几何结构特征。

表1 性能比较

Table 1 Comparison of performance

滤波器类型	均方误差	平均绝对误差
开—闭	432.8158	28.5729
闭—开	446.1329	30.0118
全方位开—闭最大	210.8523	9.9646
全方位闭—开最小	217.7764	10.1647

4 结束语

形态滤波器是近年来发展起来的一种重要非线性滤波器,在图象处理等领域获得了广泛应用。本文基于传统形态开—闭和闭—开滤波器,采用全方位

结构元,构造了一类全方位多结构元形态滤波器。这类滤波器在噪声抑制和几何特征保持上有较好性能。滤波器结构简单,易于并行实现。

参考文献

- 1 Serra J. Morphological filtering: An overview. *Signal Processing*, 1994, 38(1): 3~11.
- 2 Serra J. *Image analysis and mathematical morphology*. New York: Academic, 1982.
- 3 Song J, Delp E J. A study of the generalized morphological filter. *Circuits, Systems and Signal process*, 1992, 11(2): 229~252.
- 4 Maragos P, Schafer R W. Morphological filters-Part I and Part II; *IEEE Trans. on ASSP*, 1987, ASSP-35(8): 1153~1184.



图2 原始图象

Fig. 2 Original image

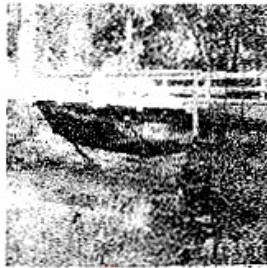


图3 噪声污染图象

Fig. 3 Noisy image

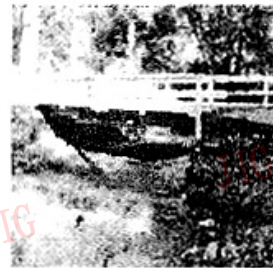


图4 开—闭滤波结果

Fig. 4 Result of OC filtering



图5 闭—开滤波结果

Fig. 5 Result of CO filtering



图6 全方位开—闭最大滤波结果

Fig. 6 Result of OOCmax filtering

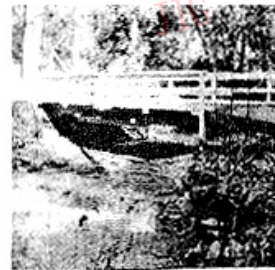


图7 全方位闭—开最小滤波结果

Fig. 7 Result of OCOmin filtering



赵春晖,哈尔滨工程大学电子工程系副教授。1989年获哈尔滨船舶工程学院通信与电子系统专业硕士学位,目前在哈尔滨工业大学自动化测试与控制系攻读博士学位。已发表学术论文30余篇。研究方向:图象处理,非线性滤波,数学形态学。

A New Morphological Filter with Omnidirectional Multiple Structuring Elements

Zhao Chunhui, Wang Wei

(Dept. of automatic test and control of Haerbin Engineering University, Haerbin 150001)

Abstract The morphological filtering is an effective method to restore the root signal under noisy background. A class of omnidirectional multiple structuring elements are defined in this paper. Consequently, a new morphological filter—The morphological filter with omnidirectional multiple structuring elements is proposed. A standard test image is filtered in noisy environment. The results of simulation show that the new filter performs better in noise-suppressing and detail-preserving.

Keywords Nonlinear filters, Morphological filters, Structuring elements, Image processing

(上接 499 页)

参考文献

- 1 Juang B H., Gray A H. Multiple stage vector quantization for speech coding. Proc. ICASSP. France, Paris, 1982. 4, 597~600.
- 2 Chan W Y, Gupta S, Gersho A. Enhanced multistage vector quantization by joint codebook design, IEEE Trans. Commun. 1992. 11, 40(11).
- 3 Zeger K, Vaisey J, Gersho A. Globally optimal vector quantizer design by stochastic relaxation, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, 1992. 2, 40, 310~322.
- 4 Flanagan J K, Morrell D R, Frost R L, Vector quantization codebook generation using simulated annealing in Proc. ICASSP, Glasgow, Scotland. 1989. 5, 1759~1762.



王世刚, 长春邮电学院计算机系副教授。1983 年和 1997 年分获学士和硕士学位, 主要研究领域包括图形图象处理、多媒体通信、计算机视觉等。

Globally Optimal Multistage Vector Quantizer Design Based on Stochastic Disturbing

Wang Shigang, Chen Hexin

(ChangChun Post and Telecommun. Inst, Changchun 130012)

Abstract In this paper, the algorithm of globally optimal multistage vector quantization based on stochastic disturbing (SD-MSVQ) is presented. Experimental results show that not only computation and storage is significantly reduced, but also obtained a good reconstructed image at a high compress ratio.

Keywords Vector quantization, Image coding, Codebook, Simulated annealing, Stochastic disturbing.