

一类多结构元自适应广义形态滤波器

赵春晖 乔景录 孙圣和

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 哈尔滨 150001)

摘要 基于广义形态开一闭和闭一开运算, 采用多种结构元和自适应加权平均技术, 定义了一类新型形态滤波器。这类滤波器不仅可以有效地抑制图象中的噪声, 而且较好地保持了图象的几何特征。滤波器计算简单, 便于实时并行处理。

关键词 数学形态学, 形态滤波器, 结构元, 自适应滤波

1 引言

形态滤波器是从数学形态学中发展出来的一类新型非线性滤波器, 它在信号处理、图象处理和分析中获得了广泛的应用^[1,2]。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、抑制噪声的目的。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^[3,4]。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了单一的结构元, 在滤除脉冲噪声的同时模糊了图象中的一些细节, 不利于几何特征的保持。另外对非脉冲噪声的抑制效果也不理想^[5]。

我们构造了一类新的形态滤波器。这类滤波器基于广义形态开一闭和闭一开运算, 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。计算机模拟结果证实了这类滤波器不仅可以滤除图象中的噪声, 而且较好地保持了图象的几何特征。

2 基本形态变换和广义形态滤波器

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, 本节只限于讨论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 $f(x)$ 为定义在二维离散空间 $Z^{(2)}$ 上的离散函数, 结构元 B 为 $Z^{(2)}$ 上的有限子集。 B 关于原点的对称集合为 $B' = \{-b; b \in B\}$, 平移集合为 $B_x = \{b+x; b \in B, x \in Z^{(2)}\}$ 。则 4 种基本形态变换定义如下:

$f(x)$ 关于 B 的腐蚀和膨胀分别为:

$$(f \ominus B)(x) = \min_{y \in B_x} \{f(y)\} \quad (1)$$

$$(f \oplus B)(x) = \max_{y \in B_x} \{f(y)\} \quad (2)$$

$f(x)$ 关于 B 的形态开和形态闭分别为

$$(f \circ B)(x) = [f \ominus B' \oplus B](x) = \max_{a \in B'_x} (\min_{b \in B_a} f(b)) \quad (3)$$

$$(f \cdot B)(x) = [f \oplus B' \ominus B](x) = \min_{a \in B'_x} (\max_{b \in B_a} f(b)) \quad (4)$$

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。形态开可以抑制信号中的峰值(正脉冲)噪声, 而形态闭可以抑制信号中的底谷(负脉冲)噪声。为了同时去除信号中正、负两种脉冲噪声, 通常采用形态开、闭的级联形式。我们在文献**中提出了广义形态开一闭和形态闭一开滤波器, 其

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1996-09-11; 收到修改稿日期: 1997-01-01

** 赵春晖, 孙圣和. 一种形态开、闭自适应加权组合滤波器, 电子学报。(已录用, 待发表)

定义如下：

定义 2 设 $f(x)$ 为输入信号, B_1, B_2 为两个结构元, 且 $B_1 \subseteq B_2$, 则广义形态开—闭(OC)和闭—开(CO)滤波器分别定义为

$$OC(f(x)) = (f \circ B_1 \cdot B_2)(x) \quad (5)$$

$$CO(f(x)) = (f \cdot B_1 \circ B_2)(x) \quad (6)$$

利用开、闭运算的性质, 不难证明广义形态开—闭和闭—开滤波器具有如下一些重要性质: (见文献*)

(1) 平移不变性

$$OC(f(x - y) + s) = OC(f)(x - y) + s \quad (7)$$

$$CO(f(x - y) + s) = CO(f)(x - y) + s \quad (8)$$

式中 $y \in Z^{(2)}, s \in R$. R 表示实数集合。

(2) 递增性

若 $f_1(x) \leq f_2(x)$, 则

$$OC(f_1(x)) \leq OC(f_2(x)) \quad (9)$$

$$CO(f_1(x)) \leq CO(f_2(x)) \quad (10)$$

(3) 对偶性

$$[OC(f(x))]^c = CO(f^c(x)) \quad (11)$$

$$[CO(f(x))]^c = OC(f^c(x)) \quad (12)$$

符号 c 表示求补运算。

(4) 幂等性

$$OC[OC(f(x))] = OC(f(x)) \quad (13)$$

$$CO[CO(f(x))] = CO(f(x)) \quad (14)$$

3 多结构元自适应广义形态滤波器

我们基于广义形态开—闭和闭—开运算, 采用多种结构元和自适应加权平均技术, 构造了一类新型形态滤波器。其结构如图 1 所示。

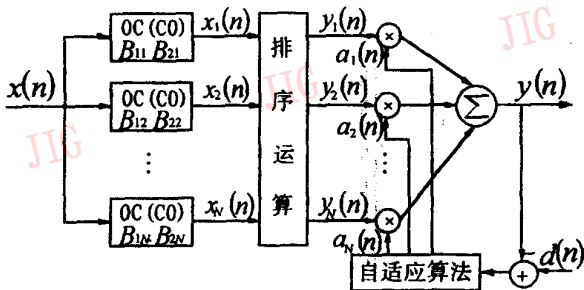


图 1 新型形态滤波器结构框图

Fig. 1 The structural diagram of the new morphological filter

定义 3 设 $x(n)$ 为一离散数字图象, $\{B_{11}, B_{12}, \dots, B_{1N}\}$ 和 $\{B_{21}, B_{22}, \dots, B_{2N}\}$ 为两个多结构元集合, 且 $B_{1i} \subseteq B_{2i}, i \in (1, 2, \dots, N)$ 。则形态滤波器的输出定义为:

$$y(n) = \sum_{i=1}^N a_i(n) y_i(n) = A(n)^T Y(n) \quad (15)$$

这里 $y_i(n) (i = 1, 2, \dots, N)$ 是广义开—闭(OC)或闭—开(CO)滤波器输出 $x_i(n)$ 的排序值, 即 $y_1(n) \leq y_2(n) \leq \dots \leq y_N(n)$ 。 $A(n) = [a_1(n), \dots, a_N(n)]^T$ 是权矢量, 为了不产生图象灰度偏倚,

权系数应满足约束条件: $\sum_{i=1}^N a_i(n) = 1$ 。排序输出矢量为 $Y(n) = [y_1(n), \dots, y_N(n)]^T$ 。广义开—闭和闭—开滤波器输出分别为

$$x_i(n) = (x \circ B_{1i} \cdot B_{2i})(n) \quad (16)$$

或

$$x_i(n) = (x \cdot B_{1i} \circ B_{2i})(n) \quad (17)$$

如果形态运算选取为广义开—闭滤波器, 即 $x_i(n)$ 由式(16)确定, 则形态滤波器称为广义开—闭加权平均滤波器; 否则, 称为广义闭—开加权平均滤波器。滤波器的权系数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^[7]。根据拉格朗日乘法, 最小化函数为

$$\Phi(A) = E[e^2(n)] - \lambda(A(n)^T U - 1) \quad (18)$$

式中: λ 为代定常数, $U = [1, \dots, 1]^T$,

$$E[e^2(n)] = E[(y(n) - d(n))^2] =$$

$$E[(A(n)^T Y(n) - d(n))^2] =$$

$$A(n)^T R_{YY} A(n) - 2A(n)^T P_{dY} + s_d \quad (19)$$

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

将式(19)代入式(18)得

$$\Phi(A) = s_d - 2P_{dY}^T A(n) + A(n)^T R_{YY} A(n) + \lambda(A(n)^T U - 1) \quad (20)$$

* Zhao Chunhui, et al. A Generalized Morphological Filter Based on Adaptive Weighted Average, Chinese Journal of Electronic, under review.

由最陡下降法^[8],得权系数迭代公式

$$A(n+1) = A(n) - \mu \nabla_A \Phi[A(n)] \quad (21)$$

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

由式(20)得

$$A(n+1) = A(n) - \mu [2R_{YY}A(n) - 2P_{XY} + \lambda U] \quad (22)$$

权矢量 $A(n+1)$ 也应满足约束条件

$$A(n+1)^T U - 1 = 0 \quad (23)$$

解方程(22)和(23)得

$$A(n+1) = A(n) + 2\mu(I - UU^T/N)[P_{XY} - R_{YY}A(n)] + U/N[1 - U^T A(n)] \quad (24)$$

上式中需要计算 R_{YY} 和 P_{XY} , 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 P_{XY} 的近似估计。则权系数的迭代公式为

$$A(n+1) = A(n) + 2\mu(I - UU^T/N)Y(n+1)e(n) + U/N[1 - U^T A(n)] \quad (25)$$

权系数的初始值可取为

$$A(0) = [1/N, \dots, 1/N]^T \quad (26)$$

利用式(25)和(26)便可实现权系数的自适应处理。

4 计算机仿真结果

为了验证所提出的滤波算法的有效性,本节对噪声污染的图象信号进行处理。图2为两组结构元,每组有4种线性元。图3为一幅 256×256 原始图象,图4为噪声污染图象,噪声包括5%的正、负脉冲噪声和加性高斯白噪声 $N(0,100)$ 。图5,6分别为采用一个 3×3 方形结构元素的传统开-闭滤波和闭-开滤波结果。利用本文滤波算法,采用图2所示的结构元,分别进行广义开-闭加权平均滤波和广义闭-开加权平均滤波,仿真过程中的参数为 $\mu =$

0.0005, $A(0) = [0.25, 0.25, 0.25, 0.25]^T$, 参考信号 $d(n)$ 为输入图象信号 $x(n)$ 的单位延时,滤波结果如图7、8。计算四种滤波方法输出的均方误差分



图3 原始图象

Fig. 3 The original image



图4 噪声污染图象

Fig. 4 The noisy image

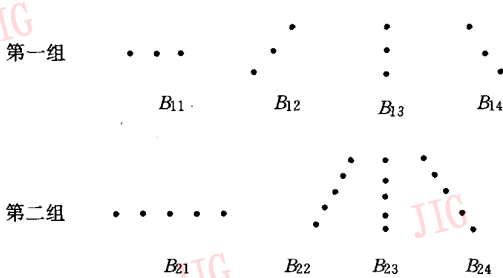


图2 两组四种线性结构元

Fig. 2 Two sets with four linear structuring elements



图5 开-闭滤波结果

Fig. 5 The result of the open-closing filtering



图 6 闭—开滤波结果

Fig. 6 The result of the close-opening filtering



图 7 广义开—闭加权平均滤波结果

Fig. 7 The result of the generalized open-closing weighted averaging filtering)



图 8 广义闭—开加权平均滤波结果

Fig. 8 The result of the generalized close-opening weighted averaging filtering

别为 1 130, 1 097, 108, 115。通过比较可以看出,传统的开—闭滤波和闭—开滤波模糊了图象的细节特征,滤波效果不好;而本文提出的多结构元自适应广义形态滤波算法不仅有效地抑制图象中的噪声,而且较好地保持了图象的几何结构特征。

5 结束语

形态滤波是近年来兴起的一种非线性数字信号处理技术。目前,尚没有设计形态滤波器的系统方法。本文基于广义形态开—闭和闭—开滤波器,采用多结构元素和自适应加权平均技术,构造了一类新型形态滤波器。这类滤波器通过非线性形态运算和线性加权平均运算的组合,很好地解决了传统形态滤波器存在的缺点。计算机模拟结果证实了它们不仅可以有效地抑制图象中的噪声,而且较好地保持图象的几何结构特征。这类滤波器计算简单,便于并行实时处理。

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 Maragos P, Schafer R W. Morphological filters-part I : Their set-theoretic analysis and relations to linear shift-invariant filters. *IEEE Trans.*, 1987, ASSP-35(8): 1153~1169.
- 4 Maragos P, Schafer R W. Morphological filters-part II : Their relations to median, order statistic, and stack filters. *IEEE Trans.*, 1987, ASSP-35(8): 1170~1184.
- 5 Song J, Delp E J. A study of the generalized morphological filter. *Circuits, Systems and Signal Process.*, 1992, 11(2): 229~252.
- 6 赵春晖, 孙圣和. 一类多结构元素并行复合形态滤波器, 哈尔滨工业大学学报. 1997(2): 64~67.
- 7 Bataillou E, Thierry E, Rix H, Meste O. Weighted Averaging Using Adaptive Estimation of the Weights. *Signal Processing*, 1995, 44(1): 51~66.
- 8 Widrow B, Stearns S D. *Adaptive Signal Processing*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1985.



赵春晖, 哈尔滨工程大学电子工程系副教授。1986年毕业于哈尔滨船舶工程学院电子工程系电子工程专业, 1989年获该院工学硕士, 现攻读哈尔滨工业大学电磁测量技术及仪表专业博士学位。获部级科技进步一等奖和二等奖各一项, 已发表论文二十多篇。研究方向包括数字信号处理, 图象处理, 非线性滤波, 数学形态学。

A Class of Adaptive Generalized Morphological Filters with Multiple Structuring Elements

Zhao Chunhui, Qiao Jinglu, Sun Shenghe

(Dept. of Automatic Measure and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract Based on the generalized morphological open-closing and close-opening operations, a class of new morphological filters are defined using multiple structuring elements and adaptive weighted averaging technique in this paper. They can not only efficiently suppress noise in the image but also preserve the geometrical features of the image. These filters possess calculation simplicity and easy to be real-time processed in parallel.

Keywords Mathematical morphology, Morphological filter, Structuring element, Adaptive filtering

简 讯

INTERGRAPH 公司产品 AccessNFS Gateway 获奖

AccessNFS Gateway 产品新近在美国 Anaheim 举行的 DECUS' 97 (Digital Equipment Corporation Users Show) 展示会上, 荣获 Back Office 杂志提供的 B. O. S. S (Best of Show Select Award) 大奖。该产品是首先基于 Windows NT 的 NFS 网关产品。在 DECUS 大会期间, BackOffice 杂志宣布了 B. O. S. S 奖项, 及 Windows NT 上运行、通讯, 集成或迁移的最佳产品的解决方案。

业内人士高兴地评论到, AccessNFS Gateway 对于 IT 的经理来说, 代表了一个新的选择, 它容易使用, 在访问 UNIX 和其他 NFS 文件和打印资源方面, 极具经济效益。Back Office 杂志主编 Jack Fegreus 也同样评论到, AccessNFS Gateway 可以有效地降低企业的管理负担。使用该产品, 任何与 Windows NT 相连的软件, 也能与 UNIX 系统相

连。AccessNFS Gateway 产品使 Windows 用户通过 Windows NT Server 访问 UNIX 文件和打印资源, 因而减少了在每个工作站上安装客户软件的负担。

在第十一期出版的 Back Office 杂志上写到, 使用 Intergraph 公司的 NFS 网关产品, 对于那些客户端如何配置的麻烦已成过去。任何主客户端系统的用户在得到权限后, 都可直接访问 NFS 资源。

负责测试该产品的 Fegreus 先生补充到, AccessNFS Gateway 产品在处理 UNIX 数据方面是无挑剔的。在测试过程中, 我们使用 Windows NT, 95, 98 和 Mac 获取数据, 在 UNIX 主机上存储, 执行程序毫无问题。就功能方面而言, 服务器上运行 Gateway 产品, 每秒钟完成 50 个需求时无间断。