

模糊加权中值滤波器^{*})

鲁瑞华¹ 张为群²

(西南大学电子信息工程学院 重庆 400715)¹ (西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)²

摘要 本文介绍了一种模糊加权中值滤波器,该滤波器由模糊布尔函数和滤波加权确定。本文用 S 型函数逼近模糊布尔函数。此外,用模糊理论领域中使用的 S 型函数逼近所滤波的加权。模糊加权中值滤波器只由 4 个参数确定。所提出的滤波在均方误差准则下能够由最小均方算法导出。图像复原的实验结果表明,本文介绍的模糊加权中值滤波方法既能去除脉冲噪声和平滑高斯噪声,又能同时有效地保持边缘和图像细节,模糊加权中值滤波器明显优于加权中值滤波器,也优于 Wiener 滤波器。

关键词 模糊加权中值滤波器,模糊布尔函数,S 型函数,最小均方算法

Fuzzy Weighted Median Filters

LU Rui-Hua¹ ZHANG Wei-Qun²

(School of Electronic Information Engineering, Southwest University, Chongqing 400715)¹

(School of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715)²

Abstract In this paper a fuzzy weighted median(FWM) filter is proposed. The FWM filter is defined by the Boolean function and filter weights. We approximate the fuzzy Boolean function by the S-type function. Furthermore, we approximate weights of the filter by the S-type function which is used in the field of the fuzzy theory. The FWM filter is defined by only four parameters. The proposed filter can be derived by least mean square(LMS) algorithm under the mean square error criterion. The experimental results in image restoration show that the proposed FWM filters are able to remove the impulse noise and smooth Gaussian noise as well as efficiently preserve edges and image details. Our conclusion is that the FWM filters have obvious superiorities over not WM filters but also Wiener filter.

Keywords Fuzzy weighted median filter, Fuzzy boolean function, S-type function, Least mean square algorithm

1 引言

层叠滤波器(stack filters)是一类非线性滤波器^[1],包括秩排序滤波器、形态滤波器、加权中值滤波器,等等。层叠滤波器的理论核心是阈值分解特性和层叠特性。层叠滤波由布尔函数(Boolean function)确定。正布尔函数的输出是限定的两个值(即“0”或“1”)。如果布尔函数的输出是在 0 和 1 之间的连续值^[2],可以预期必定有更好的层叠滤波性能。我们称此布尔函数为模糊布尔函数,此类滤波器为模糊层叠滤波器。

加权中值滤波器通过一个非负权给滤波窗内部每个信号采样加权,它是中值滤波器的扩展^[3]。业已表明加权中值平滑器能够很好地去掉不同类型的噪声,而且同时能够保持边缘。加权中值滤波器是属于层叠滤波器一类的非线性滤波器^[4]。

一些研究著作已经提出在平均绝对误差或均方误差准则下优化加权中值滤波器^[5]。本文提出一种模糊加权中值滤波器(fuzzy weighted median filter, FWMF),它包括在模糊层叠滤波器之内。在均方误差准则下 FWMF 能够由最小均方(Least mean square, LMS)算法导出^[6]。

2 用层叠滤波器实现加权中值滤波器

利用层叠滤波器理论,分析加权中值滤波器的层叠实现

过程。由于阈值分解,多值输入信号被分解为二值信号,而二值信号的滤波过程相对简单,从而简化了非线性滤波器的分析。

2.1 层叠滤波器

层叠滤波是滑动窗非线性滤波,其每个窗位上的输出是多个正布尔函数叠加的结果,正布尔函数是根据滤波器窗中采样的定阈值进行计算的。层叠滤波过程如下:

(1) 阈值分解

设 $x(i)$ 为有噪声的输入向量,该向量由下式给出:

$$x(i) = [x(i-N), \dots, x(i), \dots, x(i+N)] \quad (1)$$

对一个 M 值的信号 $x(i)$ ($0 \leq x(i) \leq M-1$) 的阈值分解意味着将其分解成 $M-1$ 个二值信号 $x^{(1)}(i), \dots, x^{(M-1)}(i)$, 根据的是定阈值规则:

$$x^{(m)}(i) = \begin{cases} 1 & x(i) \geq m \\ 0 & x(i) < m \end{cases} \quad (2)$$

对向量 $x(i)$ 的阈值分解也可由下式获得:

$$x^{(m)}(i) = [x^{(m)}(i-N), \dots, x^{(m)}(i), \dots, x^{(m)}(i+N)] \quad (3)$$

(2) 计算布尔函数的输出

层叠滤波由布尔函数 $f(\cdot)$ 确定。布尔函数的输出计算如下:

$$y^{(m)} = f(x^{(m)}(n)) \quad (4)$$

(3) 相加合成

^{*} 基金项目:重庆市应用基金研究项目(No. 2001-6968)、校科技基金资助项目(No. SWNUF2004006)。鲁瑞华 教授,主要研究方向为信息与信息处理及数字通信。张为群 教授,主要研究领域为人工智能,机器学习。

层叠滤波输出由下式可得:

$$y(n) = \sum_{m=1}^{M-1} y^{(m)}(n) \quad (5)$$

2.2 加权中值滤波器

中值滤波,窗口内各点对输出的作用是一样的。如果要强调中心点或靠中心点最近的几个点的作用,可以采用加权中值滤波。加权中值滤波的基本原理是改变窗口中变量的个数,可以使一个以上的变量等于同一点的值,然后对扩展的数字集求中值。

加权中值滤波器的输出由下式求出:

$$y(i) = \text{med}(W_{-N} \diamond x(i-N), \dots, W_0 \diamond x(i), \dots, W_N \diamond x(i+N)) \quad (6)$$

式中符号 \diamond 用于表示重复。 $W_{-N}, \dots, W_0, \dots, W_N$ 表示 $x(i-N), \dots, x(i), \dots, x(i+N)$ 的权值。

加权中值滤波器包括在层叠滤波器之中,设 $R^{(m)}(i)$ 由下式确定:

$$R^{(m)}(i) = \sum_{j=-N}^N W_j \cdot x^{(m)}(i+j) / \sum_{j=-N}^N W_j \quad (7)$$

式中 $x^{(m)}(i)$ 是由(2)式给出的。加权中值滤波器的布尔函数表示如下:

$$f_{wm}(R^{(m)}(i)) = \begin{cases} 1 & R^{(m)}(i) > 0.5 \\ 0 & R^{(m)}(i) \leq 0.5 \end{cases} \quad (8)$$

加权中值滤波器的输出由下式可得:

$$y(i) = \sum_{M=0}^{M-1} f_{wm}^{(M)}(i) \quad (9)$$

3 模糊加权中值滤波器

模糊加权中值滤波器由模糊布尔函数和滤波加权确定。本文用 S 型函数逼近模糊布尔函数,此外,用模糊领域中使用的 S 型函数逼近滤波加权。结果 FWM 滤波只由 4 个参数确定。

3.1 FWM 滤波器

FWM 滤波器是由模糊布尔函数 $f_{FWM}(\cdot)$ 确定的。如果 $f_{FWM}(R^{(m)}(i))$ 对于 $R^{(m)}(i)$ 是单调的增大,则 $f_{FWM}(\cdot)$ 具有层叠性质。

在本文中试图用改进的 S 型函数逼近模糊布尔函数 $f_{FWM}(\cdot)$ 。这样,FWM 滤波的模糊布尔函数便由下式获得:

$$f_{FWM}(R^{(m)}(i)) = \begin{cases} \frac{1}{[1 + \exp\{\alpha_1(R^{(m)}(i) - \beta)\}]} & R^{(m)}(i) > \beta \\ \frac{1}{[1 + \exp\{\alpha_2(R^{(m)}(i) - \beta)\}]} & R^{(m)}(i) \leq \beta \end{cases} \quad (10)$$

当 $\alpha_1 = \alpha_2 = \infty, \beta = 0.5$ (即 $f_{FWM}(\cdot) = f_{wm}(\cdot)$) 时, FWM 滤波等于常规 WM 滤波。模糊布尔函数只由 3 个参数确定。图 1 所示为模糊布尔函数的实例。

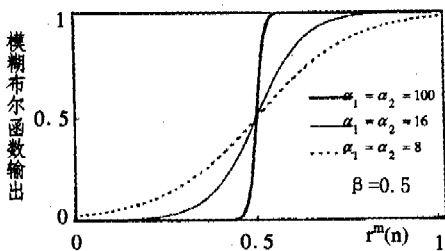


图 1 FWM 滤波器的模糊布尔函数

增大的对称的加权。这样,加权能够使用的对称函数则为

$$W_j = \begin{cases} 1 - 2j^2/r^2 & 0 \leq |j| < r/2 \\ 2(|j| - r)^2/r^2 & r/2 < |j| < r \\ 0 & r \leq |j| \end{cases} \quad (11)$$

式中 $|j|$ 为窗口内像素点与中心点的距离。此函数为 S 型函数(见图 2), S 型函数在模糊理论领域是通用的。FWM 滤波器的全部加权能够只由一个参数决定而且易于导出。

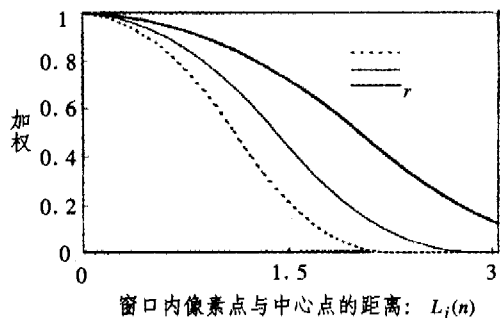


图 2 模糊加权中值滤波器的加权

3.2 模糊加权中值滤波器的实现方法

本文提出的模糊加权中值滤波器只有 4 个参数,试图用最小均方(LMS)算法实现模糊加权中值滤波器^[7]。

$$\alpha_+(i) = \alpha_+(i-1) - \mu_1 (\partial J(i) / \partial \alpha_+) = \alpha_+(i-1) - \mu_1 (y(i) - s(i)) \times$$

$$\sum_{m=1}^{M-1} \frac{(R^{(m)}(i) - \beta(i-1)) \cdot \exp\{-\alpha_+(i-1) \cdot (R^{(m)}(i) - \beta(i-1))\}}{[1 + \exp\{-\alpha_+(i-1) \cdot (R^{(m)}(i) - \beta(i-1))\}]^2} \quad (12)$$

$$\text{式中 } \alpha_+ = \begin{cases} \alpha_1 & R^{(m)}(i) > \beta \\ \alpha_2 & R^{(m)}(i) \leq \beta \end{cases}$$

$$\beta(i) = \beta(i-1) - \mu_2 (\partial J(i) / \partial \beta) = \beta(i-1) - \mu_2 (y(i) - s(i)) \times$$

$$\sum_{m=1}^{M-1} \frac{-\alpha_+(i-1) \exp\{-\alpha_+(i-1) \cdot (R^{(m)}(i) - \beta(i-1))\}}{[1 + \exp\{-\alpha_+(i-1) \cdot (R^{(m)}(i) - \beta(i-1))\}]^2} \quad (13)$$

$$r(i) = r(i-1) - \mu_3 (\partial J(i) / \partial r) = r(i-1) - \mu_3 (y(i) - s(i)) \times$$

$$\sum_{m=1}^{M-1} \frac{\alpha_+(i-1) \exp\{-\alpha_+(i-1) \cdot (R^{(m)}(i) - \beta(i-1))\}}{[1 + \exp\{-\alpha_+(i-1) \cdot (R^{(m)}(i) - \beta(i-1))\}]^2} \cdot \frac{\partial R^{(m)}(i)}{\partial r} \quad (14)$$

式中 $J(i)$ 是误差函数,它由下式确定:

$$J(i) = \frac{1}{2} (y(i) - s(i))^2 \quad (15)$$

$s(i)$ 为培训信号 $x(i)$ 的原始信号, $y(i)$ 为模糊加权中值滤波器的输出。

4 实验结果

通过模拟实验测试模糊加权中值滤波器的性能。整个滤波器窗口尺寸设置为 5×5 。

在模拟实验中,为了展示加性噪声条件和模糊加权中值滤波器的 4 个协调参数之间的关系,本文使用的是被高斯噪声(零均值且方差为 0, 100, 900)和脉冲噪声 [%2.5, %2.5] 污染的 Lena 图像。[%p, %q] 表示 p% 的正脉冲和 q% 的负脉冲^[8]。协调结果示于图 3。观察模糊布尔函数输出得知,加于图像的高斯噪声方差越大,输出越平缓。

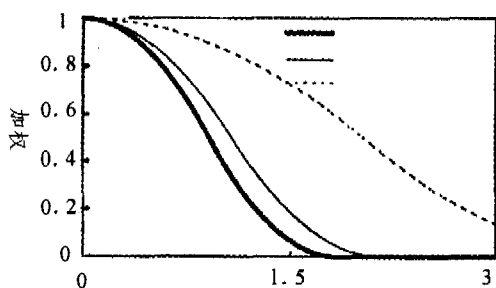
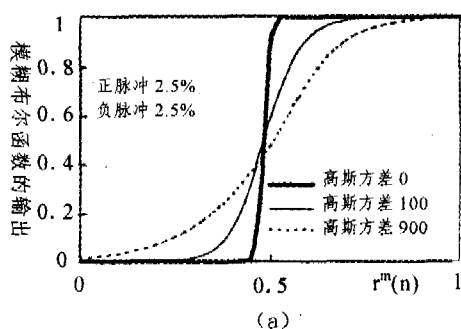
(Simple Object Access Protocol)作为新的传输协议,该协议可以穿越防火墙 FIPA-ACL 的规范,但未完整地涉及安全问题,因此同时通过扩展 SOAP 解决软件人通信的安全问题,从而达到可靠的安全通信,使软件人具备安全的跨平台互操作能力,通过高层次的交互,进行协调和协作,从而实施一致的协同工作。

参考文献

- 1 孙志强,姚淑珍. 基于 SOAP 实现异种多 Agent 系统间互操作[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(11): 1908~1911
- 2 Agentcities Task Force. Recommendations; Overview [EB/OL]. 2002. http://www.agentcities.org/index.jsp
- 3 曾广平,涂序彦. “软件人”[A]. 见: 中国人工智能进展[C]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003. 677~682
- 4 高波,费奇,陈学广. Agent 交互层次模型[J]. 计算机科学, 2001,

- 28(8):105~109
- 5 盛秋骞,赵志崑,刘少辉,等. 多主体团队交互协议[J]. 软件学报, 2004, 15(5): 689~696
- 6 吕宏伟. Agent 通信语言及相关理论的研究[J]. 计算机工程, 2004, 30(3): 82~84
- 7 Foundation for Intelligent Physical Agents. FIPA Agent Message Transport Service Specification [EB/OL]. 2000. http://www.fipa.org/specs/fipa00067/
- 8 Foundation for Intelligent Physical Agents. FIPA ACL Message Representation in XML Specification [EB/OL]. 2000. http://www.fipa.org/specs/fipa00071/
- 9 Foundation for Intelligent Physical Agents. FIPA Communicative Act Library Specification [EB/OL]. 2000. http://www.fipa.org/specs/fipa00071/

(上接第 187 页)



(a) 模糊布尔函数; (b) 滤波加权

图 3 模糊加权中值滤波器对于不同噪声条件的协调性能

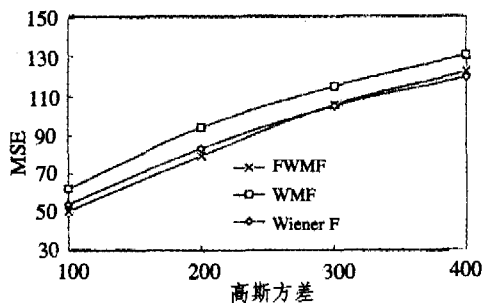


图 4 已复原图像的均方误差为高斯噪声方差的函数

此外,利用模拟实验,对模糊加权中值滤波器的性能和具有对称加权的最佳加权中值滤波器及 Wiener 滤波器的性能进行比较。图 4 和图 5 显示的是分别被高斯噪声和混合噪声

污染而退化的图像的复原结果。这些结果表明模糊加权中值滤波器既优于加权中值滤波器,也优于 Wiener 滤波器。

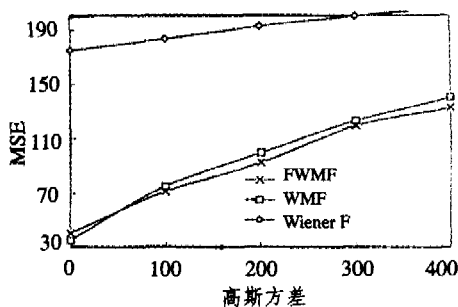


图 5 被混合噪声污染的图像的复原图像的均方误差

结束语 本文提出了一种模糊加权中值滤波器,该滤波器既能去除脉冲噪声和平滑高斯噪声,同时又能有效地保持边缘和图像细节。实验结果表明此种滤波器的性能既优于加权中值滤波器,也优于 Wiener 滤波器。

参考文献

- 1 Wang Wei, Sun Shenghe, Zhao Chunhui. Design of Optimal 2-D Stack Filter with Omni-directional SEC. ICEMI '99/Harbin. Aug. 1999. 1054~1058
- 2 王立新著,王迎军译. 模糊系统与模糊控制教程. 北京:清华大学出版社, 2003
- 3 Browning D R K. The weighted median filter. Comm. ACM, 1984, 27: 807~818
- 4 Wendt P D, Coyle E J, Gallagher N C Jr. "Stack filters". IEEE Trans. on Acoust., Speech, and Signal Processing, vol. ASSP-34, 1986. 898~911
- 5 Yang R, Yin L, Gabbouj M, Astola J, Neuvo Y. Optimal weighted median filtering under structural constraints. IEEE Trans. on Signal Processing, 1995, Sp-43(3): 591~604
- 6 Simon Haykin(美)著,郑宝玉,等译. 自适应滤波器原理(第四版). 北京:电子工业出版社, 2003
- 7 Diniz Paulo S R. (英)著,刘郁林,等译. 自适应滤波算法与实现(第二版). 北京:电子工业出版社, 2004
- 8 Kerre E E, Nachttegaal M. (Editors). Fuzzy Techniques in Image Processing. Physica-Verlag, 2000. 199