

# 基于改进型的三角模准则的融合滤波算法

王炫名<sup>1</sup>, 张晓林<sup>1</sup>, 景晓军<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学, 北京 100191; 2. 北京邮电大学, 北京 100876)

**摘 要:** 基于三角模融合算子的混合滤波算法运用三角模算子对边界点进行融合判断, 从而运用融合结果, 进行混合滤波, 该算法在一定程度上改善了单纯的混合滤波器的性能. 但该滤波器, 只是运用融合技术对图像边界点进行判决, 在像元点的处理上还是采用单一的或是线性或是非线性滤波技术, 存在着其不可避免的缺陷. 为此, 本文提出了一种基于改进型的三角模准则的融合滤波算法, 本文算法真正将融合理论运用到滤波技术中, 提高了滤波效果. 后续仿真实验证明了本文算法的有效性, 为图像滤波的技术发展提供了一个新的探索途径.

**关键词:** 三角模准则; 混合滤波; 融合滤波

**中图分类号:** TN911.73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2011) 06-1327-04

## Fusion Filtering Based on Advanced Triangle Module Criterion

WANG Xuan-ming<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-lin<sup>1</sup>, JING Xiao-jun<sup>2</sup>

(1. Beihang University, Beijing 100191, China; 2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** Hybrid filtering algorithm based on triangle modulus operator makes fusion decision about the boundary point, and performs hybrid filtering based on the fusion results. Accordingly, this algorithm improves performance of hybrid filter. However, there is an inevitable shortcoming in this hybrid filtering algorithm, which implements filtering at pixel domain only with single liner or nonlinear filtering, while it makes fusion decision about the boundary point. In this paper, in order to overcome the shortcoming, a new fusion filter algorithm based on triangle modulus fusion operator was proposed. The proposed algorithm improves filter performance with information fusion. The experiment results show the validity of this new algorithm. Moreover, the proposed algorithm provides a novel approach to image filter technology.

**Key words:** triangle module criterion; hybrid filtering; fusion filtering

## 1 引言

基于线性<sup>[1]</sup>与非线性<sup>[1~3]</sup>混合滤波器<sup>[4,5]</sup>, 有效地结合了各单一滤波技术的优点, 克服了二者的不足, 提高了滤波性能. 但由于该滤波器是根据单源决策判断图像边界点来进行滤波的, 所以当边界区域模糊或图像质量不好, 边界点的判断变得十分困难, 单源决策误报风险大、可靠性和容错性差的缺陷, 还有待于改进.

信息(数据)融合技术<sup>[6,7]</sup>可以较好地克服单源决策的缺陷. 信息融合技术是针对不确定信息进行综合处理所应用的理论和方法, 即对来自多个信息源的信息进行多级别、多方位、多层次的处理, 产生客观、准确的有意义的决策信息. 信息融合技术应用广泛<sup>[8~11]</sup>, 渗透于不同领域的多个方面. 从宏观和全局层面上讲, 它是做事情的指导方针和系统思想, 是一个方法论; 从具体的某项技术和算法层面上讲, 它是研究的一种手段和方

法.

基于三角模算子准则(Triangle Module Fusion Criterion, TMFC)的滤波器<sup>[12]</sup>, 将边界点的判决, 由单一准则变为多个准则, 再运用信息融合的技术, 提高边界点判断的准确性, 较好地解决了上述问题. 三角模算子是在模糊推理思想<sup>[7~9]</sup>的指导下引入人工智能的理论方法, 它是将单源决策映射到另一空间, 利用子源信息间的竞争性、冗余性和互补性, 有效地整合和管理信息, 从而进行比较来完成融合判决.

但 TMFC 滤波器, 只是运用融合技术对是否是图像边界点进行判决, 在像元点的处理上还是采用单一的或是线性或是非线性滤波技术, 导致在遇到一些原本是边界点, 但其强度值和背景值相近的复杂情况时, 处理的方法不是很合理, 到位, 不能准确地反映出原始信号的真实情况. 为解决这一问题, 本文提出了一种基于改进型的三角模准则的融合滤波算法, 克服了原算法对像元

点的单一处理方式的缺陷,根据具体情况,自适应的采用多种处理手段,实现融合滤波,进而提高滤波性能.后续实验有效地证明:在图像正常情况下,本算法和原算法滤波性能近似;在复杂情况下,本算法优于原算法的滤波性能.

## 2 TMFC 滤波算法

### 2.1 边界点界定

在一幅图像中,不妨设局部滑动估计窗内存在两种可能的情形:(1)均匀(非边界)区域:滑动窗内的像元点灰度值近似相等;(2)边界区域:窗内存在两种灰度值不等的区域  $b_h, b_l$ ,且  $h = b_h - b_l$ ,边界是突变的.设局部滑动窗内灰度值近似为  $b_h$  和  $b_l$  的像元所在的区域分别记为  $\Omega_h$  和  $\Omega_l$ ,则窗内各像元强度值可表示为

$$f(m, n) = b(m, n) + v(m, n) \quad (1)$$

式(1)中

$$b(m, n) = \begin{cases} b_h, & \text{if } (m, n) \in \Omega_h \\ b_l, & \text{if } (m, n) \in \Omega_l \end{cases} \quad (2)$$

$v(m, n)$  表示二维图像平面内的各种随机噪声,这里可以近似认为  $v(m, n)$  是均值为 0, 方差为  $\sigma_1^2$  的高斯噪声.

在当前像元  $(m, n)$  的左右邻域分别设置一方形滤波窗,窗尺寸为  $W_L = W_R = M \times M$ . 则根据最大似然估计理论,窗  $W_L$  或  $W_R$  内所有像元强度的估计值分别为

$$m_L = \frac{1}{M \times M} \sum_{i=-M}^0 \sum_{j=0}^M f(m+i, n+j) \quad (3)$$

$$m_R = \frac{1}{M \times M} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M f(m+i, n+j) \quad (4)$$

设统计变量  $T$  为

$$T(m, n) = m_L - m_R \quad (5)$$

令  $\epsilon$  是决策门限,则可得到如下形式的二元检测

$$H_0: |T| \leq \epsilon \quad (m, n) \text{ 不是图像区域的边界点} \quad (6)$$

$$H_1: |T| > \epsilon \quad (m, n) \text{ 是图像区域的边界点}$$

在  $H_0$  假设下,有

$$\begin{aligned} f(m, n) &= b + v(m, n), \\ (m, n) &\in \Omega_L \cup \Omega_R \text{ 且 } h < b_h - b_l \end{aligned} \quad (7)$$

在  $H_1$  假设下,有

$$f(m, n) = \begin{cases} b_l + h + v(m, n), & (m, n) \in \Omega_h \\ b_l + v(m, n), & (m, n) \in \Omega_l \end{cases} \quad (8)$$

### 2.2 证据的选取

文献[3]的二个证据选取如下.

证据一:

令  $f(T|H_0)$  和  $f(T|H_1)$  分别表示  $T(m, n)$  在假设  $H_0$  或  $H_1$  下的概率密度函数,由最小总错误概率准则(Minimum Total Error Probability, MTEP),得到边界点判决

规则

$$\rho[T(m, n)] = \frac{f(T(m, n)|H_1)}{f(T(m, n)|H_0)} \stackrel{H_1}{\underset{H_0}{\geq}} = \eta \quad (9)$$

等效检验为

$$T(m, n) \stackrel{H_1}{\underset{H_0}{\geq}} \frac{\sigma_1^2}{(M \times M)h} \ln \eta + \frac{h}{2} = \epsilon \quad (10)$$

证据二:

用聂曼-皮尔逊准则(Neyman-Pearson, N-P)进行判决.将像元  $(m, n)$  判决为边界点的检测概率、漏警概率和虚警概率分别为

$$P_d = \Pr[T \geq \epsilon | H_1] = \int_{\epsilon}^{\infty} f(T|H_1) dT \quad (11)$$

$$P_m = \Pr[T \leq \epsilon | H_1] = \int_0^{\epsilon} f(T|H_1) dT \quad (12)$$

$$P_f = \Pr[T \geq \epsilon | H_0] = \int_{\epsilon}^{\infty} f(T|H_0) dT \quad (13)$$

应用 N-P 判决边界点,即:恒定  $P_f$ ,使  $P_d$  达到最大.因  $P_d = 1 - P_m$ ,故构造拉格朗日函数

$$J_{\lambda} = \lambda P_f + P_m \quad (14)$$

最小化式(14),得到边界点判决规则

$$\rho[T(m, n)] = \frac{f(T(m, n)|H_1)}{f(T(m, n)|H_0)} \stackrel{H_1}{\underset{H_0}{\geq}} \lambda \quad (15)$$

同理,其等效检验为

$$T(m, n) \stackrel{H_1}{\underset{H_0}{\geq}} \frac{\sigma_1^2}{(M \times M)h} \ln \lambda + \frac{h}{2} = \epsilon \quad (16)$$

### 2.3 TMFC 滤波算法

运用三角模算子

$$F(a, d) = \frac{ad}{1 - a - d + 2ad} \quad (17)$$

对证据一、证据二子判决进行融合,得到最终的边界点决策结果.

于是, TMFC 滤波器定义为

$$\begin{aligned} \hat{b}(m, n) &= \\ \begin{cases} \text{median}\{m_L(m, n), f(m, n), m_R(m, n)\}, & T(m, n) \geq \epsilon \\ \mathbf{Z}^T \mathbf{w}, & T(m, n) < \epsilon \end{cases} \end{aligned} \quad (18)$$

式(18)中,  $\mathbf{Z}^T = [m_L(m, n) \quad m_R(m, n)]$ ,  $\mathbf{w} =$

$$[w_1 \quad w_2]^T = \frac{Q^{-1} \mathbf{e}}{\mathbf{e}^T Q^{-1} \mathbf{e}}, \mathbf{e}^T = [1 \quad 1].$$

TMFC 算法只是对边界点进行了融合判决,但在滤波环节上,实际上还是采用线性与非线性混合滤波的方法,存在着混合滤波的弊端.为克服此问题,本文提出了一种基于改进型的三角模准则的融合滤波算法.后续的仿真试验较好的证明了其滤波性能好于原来的算法.

3 基于改进型的三角模准则的融合滤波算法

TMFC 算法的滤波窗是以当前像元  $(m, n)$  为中心,左右各取一正方形.这种取法因左滤波窗的左上角和左下角,右滤波窗的右上角和右下角附近离当前像元  $(m, n)$  偏远,所以较难准确反映真实的情况.因此,本文算法以当前像元  $(m, n)$  为中心,左右邻域分别各设置一底边相对、面积相等的等腰三角形滤波窗  $W'_L, W'_R$ ,窗尺寸如图 1(b)所示.

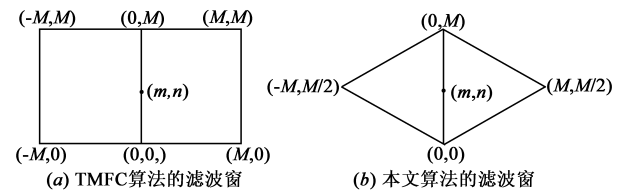


图1 滤波窗的选取

则根据最大似然估计理论,窗  $W'_L$  或  $W'_R$  内所有像元强度的估计值分别为

$$m'_L = \frac{1}{M \times M} \sum_{i=-M}^0 \sum_{j=-\frac{i}{2}}^{\frac{i+2M}{2}} f(m+i, n+j) \tag{19}$$

$$m'_R = \frac{1}{M \times M} \sum_{i=0}^M \sum_{j=-\frac{i}{2}}^{\frac{-i+M}{2}} f(m+i, n+j) \tag{20}$$

统计变量  $T$  变为

$$T(m, n) = m'_L - m'_R \tag{21}$$

运用三角模算子,得到基于改进型的三角模准则的融合滤波表达式

$$\hat{b}'(m, n) = F_0 \cdot (\text{median} \{ m'_L(m, n), f(m, n), m'_R(m, n) \}) + F_1 \cdot Z^T W \tag{22}$$

式(22)中,  $F_0, F_1$  由式(17)融合 MTEP 准则和 N-P 准则判断结果而得到.

4 仿真试验

为验证本文算法的有效性,我们分别使用二种算法,即:TMFC 算法和本文算法)对原始图像进行滤波.二种算法的仿真实验结果分别如表 1、图 2 所示.

表 1 仿真实验中三种算法结果的性能比较

滤波类型	NMSE	PMSE	PSNR
TMFC 算法	0.0067	0.0018	25.75
本文算法	0.0059	0.0013	26.12

表 1 对仿真实验结果进行了归一化均方误差 NMSE、峰值均方误差 PMSE、信噪比 PSNR 的检测,其中

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [f(i, j)]^2} \tag{23}$$

$$PMSE = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2}{N^2 A^2} \tag{24}$$

式(23)、式(24)中,  $f(i, j)$  为标准的图像信号;  $\hat{f}(i, j)$  分别为经二种滤波后的图像;  $A$  为  $f(i, j)$  的最大值;  $N$  为 256.

从表 1 可看出,将实际仿真数据通过理论计算,证明了 TMFC 算法性能不如本文提出的算法,指标有一定差别.

图 2 是经过仿真实验后,二种算法滤波性能的对照曲线,其中纵轴表示全局错误概率  $P_e$ ,横轴表示信噪比 PSNR.

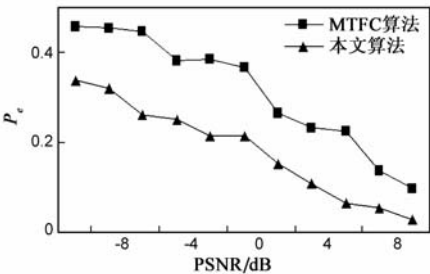


图2 二种算法滤波性能曲线

从图 2 中可看出,本文提出算法的错误概率小于 TMFC 算法,且 PSNR 越小,差别越明显.这就说明,本文提出的算法滤波性能高于 TMFC 算法,且图像质量越差时,性能提升的越大.

5 结束语

TMFC 算法,较好的克服了线性、非线性混合滤波器对边界点单源判断误报风险大、可靠性和容错性差的缺陷,增加了边界点的子源判决准则.但 TMFC 滤波器,只是运用融合技术对是否是图像边界点进行判决,在像元点的处理上还是采用单一的或是线性或是非线性滤波技术,导致在遇到一些原本是边界点,但其强度值和背景值相近的复杂情况时,处理的方法不是很合理,到位,不能准确地反映出原始信号的真实情况.为解决这一问题,本文提出了一种基于改进型的三角模准则的融合滤波算法,克服了原算法对像元点的单一处理方式的缺陷,根据具体情况,自适应的采用多种处理手段,实现融合滤波,进而提高滤波性能.

参考文献

[1] K R Castleman Digital Image Processing [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing House, 1998.

[2] Simon Hagkin, Paul Lee, Eric Derbez. Optimum nonlinear filtering [J]. IEEE Trans on Signal Proc, 1997, 45(11): 2774 – 2786.

[3] F Daum. Nonlinear filters: Beyond the Kalman filter [J]. IEEE

- Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2005, 20(8): 57 – 69.
- [4] T C Aysal, K E Barner. Hybrid polynomial filters for gaussian and non-gaussian noise environments [J]. IEEE Trans on Signal Proc, 2006, 54(12): 4644 – 4661.
- [5] R H Liu, Q Zhang. Nonlinear filtering: A hybrid approximation scheme [J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 2001, 37(2): 470 – 480.
- [6] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [7] 胡卫东. 多传感器数据融合的理论与方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 1997.
- [8] 黄建民, 王伟智. 基于数据融合的交通控制[J]. 自动化仪表, 2009. 5, 30(5): 14 – 16.
- [9] 胡海峰, 杨震. 无线传感器网络中基于移动代理的自适应数据融合路由算法[J]. 电子与信息学报, 2008. 9, 30(9): 2254 – 2258.
- [10] 李文敏, 王改云. 多传感器数据融合技术在温度检测中的应用[J]. 机械设计与制造, 2009(4): 103 – 104.
- [11] 姜绍飞, 张帅. 基于神经网络的数据融合结构损伤识别方法[J]. 工程力学, 2008. 2, 25(4): 95 – 101.
- [12] 景晓军, 尚勇, 余农. 基于三角模融合准则的滤波算法[J]. 电子学报, 2004, 36(6): 886 – 889.
- JING Xiao-jun, SHANG Yong, YU Nong. Image filtering based on triangle module fusion criterion[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 38(6): 884 – 889. (in Chinese)

#### 作者简介



王炫名 男, 北京市人, 博士研究生. 2005 年进入北京航空航天大学攻读博士学位. 主要研究方向和兴趣有: 通信信号处理, 雷达信号处理, 信息融合处理.  
E-mail: siegfeerd@sina.com

张晓林 男, 北京市人, 教授、博士生导师. 北京航空航天大学航空电子重点实验室主任. 1992 年被授予航空航天部有突出贡献专家称号, 1992 年被国务院批准享受政府特殊津贴. 2006 年 9 月教育部授予的“国家级教学名师奖”100 名获奖者之一. 长期从事现代通信系统、无人飞行器遥控遥测与电子系统设计制造、数模混合集成电路设计与制造、信息网络的科研、教学工作. E-mail: zxl@buaa.edu.cn