

文章编号: 0253-2239(2005)09-1176-5

多尺度形态算子融合图像滤波技术及滤波质量评价*

宗思光 王江安

(海军工程大学兵器工程系, 武汉 430033)

摘要: 针对舰载红外警戒系统的红外和电视图像,提出了一种新的海空背景下受强杂波、噪声污染的图像目标滤波算法和滤波效果的定量评价算子。算法采用多尺度的形态算子对输入的图像并行滤波,大尺度形态算子抑制图像噪声,小尺度形态算子提取目标边缘细节信息。处理后的图像进行基于树状小波帧变换的图像信息融合,融合图像可完备提取不同尺度滤波后的图像信息。针对目标检测跟踪的图像滤波算法的评价,提出了目标与背景的交叉分辨力评价算子及评价准则。仿真实验表明,该滤波算法要优于中值滤波、自适应滤波、小波变换滤波算法,滤波质量的定量评价算法是合理的、有效的。算法适用于舰载红外警戒系统。

关键词: 图像处理; 图像融合; 多尺度; 形态算子; 红外警戒

中图分类号: TP391 文献标识码: A

Multi-Scale Mathematical Morphology Fusion Filtering and the Evaluation of the Filtered Image

Zong Siguang Wang Jiangan

(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033)

Abstract: The algorithm based on multi-scale mathematical morphology fusion filter is presented to resolve the infrared and TV image detection polluted by heavy yawp in the shipboard infrared search and track system. First the target image is filtered through multi-scale mathematical morphology operators, bigger morphology operator eliminating noise and smaller morphology operator picking up image detail. The simultaneity transacted results are fused based on wavelet transform. Across resolution evaluation operator of target and background is presented to solve the performance of match filtering arithmetic. The experimental results show that the algorithm can eliminate the strong clutter of clouds, ocean waves, sea level and strong noise and is better than median and wavelet transform algorithm. The experimental results also show that the quantative evaluation algorithm of filtered image reasonable and effective. The algorithm is suited for shipboard infrared surveillance system.

Key words: image processing; image fusion; multi-scale; mathematical morphology operators; infrared surveillance

1 引 言

舰载红外警戒系统的主要探测对象是掠海飞行的飞机与导弹,由于警戒系统宽视场的特点,当目标在图像平面上仅呈现为点状,又处于云层、海浪以及海天线的强杂波背景下,给目标识别带来很大的困难。随着目标距红外警戒系统之间的距离变小时,目标在图像平面上扩大成斑块状,形成面目标,对斑块状面目标的检测同样是一项具有挑战性的工作,

其主要难点表现在目标的衬比度、尺寸以及轮廓形状的不断变化,以及目标和背景的严重重叠和杂波干扰^[1~4]。

传统的目标滤波方法为中值滤波、小波滤波等,这两种方法缺点在于阈值确定的困难性^[5~7],同时当杂波干扰太大,目标的信噪比过低时,对杂波背景干扰的红外目标的检测性能低,虚警率大^[8,9]。本文结合红外警戒系统传感器获取的红外图像的特

* 国防武器重点基金(614012)资助课题。

作者简介: 宗思光(1979~),男,河南开封人,博士研究生,主要从事图像处理、目标检测研究。

E-mail: zongsiguang@sohu.com

收稿日期: 2004-09-14; 收到修改稿日期: 2004-12-13

点,提出了一种基于多尺度数学形态算子图像融合滤波方法,对输入的图像进行并行处理,在大尺度形态算子作用下抑制噪声,在小尺度形态算子作用下对目标进行定位,由粗到精进行检测,对检测完成后的图像进行基于树状小波帧变换的融合,提取各个并行处理通道的图像目标的信息量。仿真试验表明该算法可以有效地消除云层、海浪、海天线以及传感器本身引入的杂波干扰,适用于舰载红外警戒系统。

2 算法理论分析

2.1 多尺度形态结构元素的选取

结构元素 B 的选取一直是困扰形态学检测的一个难题,本文提出采用多尺度形态算子,可克服结构元素选取的困难。利用大小不同的结构元素提取红外图像的特征,小尺度结构元素能检测到好的边缘细节,但去噪能力弱,大尺度结构元素去噪能力强,但检测到的边缘较粗。因此采用大小不同的结构算子,对同一幅红外图像进行并行处理,可很好达到既能抑制图像噪声,又能保护图像细节信息的目的。

采用的多尺度的结构元素定义如下:

$$nB = \underbrace{B \oplus B \oplus B \cdots \oplus B}_{n \text{次}}$$

n 是尺度参量,是一正整数。大尺度结构元素由小尺度元素经过膨胀运算的得到,在尺度 n 下,结构元素分别为 $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$, 即分别由小尺度结构元素 B 膨胀 n 次而成。由确定的形态结构元素对图像进行滤波本文不作论述。

2.2 基于树状小波帧变换的图像融合

经过多尺度形态算子并行处理后的红外图像,每幅图像包含的信息量和信息的类型是不同的,小尺度结构元素处理的图像包含丰富的边缘细节,大结构元素的去噪效果明显,但图像中目标的边缘模糊。我们采用基于树状小波帧变换的图像融合方法,综合多幅图像的信息量,可克服直接小波变换融合的移变问题。处理后的多幅图像是严格配准的,可直接对图像进行融合处理。

树状小波变换是完备的小波变换,它将图像分解为一个低频图像和三个方向上的高频图像,并依据子图像含有的信息量确定是否对其进行进一步分解。我们采用范数来衡量图像的能量:

$$E(x) = \frac{1}{N} \|x\|_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_i|, \quad (1)$$

基于树状小波帧变换的融合过程如下:

1) 将输入的图像按小波帧变换分解成 4 个子图像。 $(n, m) \in Z^2$ 。

$$A_j f = \langle f(x, y), \Phi_{j, n, m}(x, y) \rangle, \quad (2)$$

$$D_j^1 f = \langle f(x, y), \Psi_{j, n, m}^1(x, y) \rangle, \quad (3)$$

$$D_j^2 f = \langle f(x, y), \Psi_{j, n, m}^2(x, y) \rangle, \quad (4)$$

$$D_j^3 f = \langle f(x, y), \Psi_{j, n, m}^3(x, y) \rangle, \quad (5)$$

2) 计算子图像的能量,设子图像为 x , 大小为 $M \times N$

$$E = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |x(i, j)|, \quad (6)$$

若子图像的能量远小于其他子图像的能量,说明该子图像含有的信息量少,就停止对其分解。信息量的比较,在统一尺度下,由子图像能量与该层最大子图像能量的比值确定。即若 $E_n/E_{\max} < C$, 停止对该子图像的分解,其中 C 为一常数,一般取 5。

3) 融合规则的选取

采用的融合规则及融合算子如下:

对分解后图像的低频部分,即图像的“粗像”(位于最高分解层),采取加权平均融合规则算子或灰度值选择算子;

对于高频分量,采用基于区域(矩形窗口)特性量测的选择及加权平均算子;

对于三个方向的高频带,分别选用不同的特性选择算子。

计算过程如下:

计算两幅图像相应分解层上对应 3×3 区域的“能量” $E_{l,A}$ 及 $E_{l,B}$ [$W^l(n', m')$ 为对应 3×3 窗口矩阵, $LP_l(n+n', m+m')$ 是 3×3 窗口移动过程中对应分解层的像素]。

$$E_l(n, m) = \sum_{n' \in J, m' \in K} W^l(n', m') [LP_l(n+n', m+m')]^2, \quad (7)$$

计算两幅图像对应局部区域的匹配度 $M_{l,AB}$:

$$M_{l,AB}(n, m) = \frac{2 \sum_{n' \in J, m' \in K} W^l(n', m') LP_{l,A}(n+n', m+m') LP_{l,B}(n+n', m+m')}{E_{l,A}(n+m) + E_{l,B}(n+m)}, \quad (8)$$

确定融合算子:

先定义一匹配阈值 T (通常取 $0.5 \sim 1$), 若 $M_{l,AB}(n, m) < T$, 则

$$\begin{cases} LP_{l,F}(n,m) = LP_{l,A}(n,m), & \text{当 } E_{l,A}(n,m) \geq E_{l,B}(n,m) \text{ 时} \\ LP_{l,F}(n,m) = LP_{l,B}(n,m), & \text{当 } E_{l,A}(n,m) < E_{l,B}(n,m) \text{ 时}, (0 \leq l \leq N) \end{cases} \quad (9)$$

若 $M_{l,AB}(n,m) \geq T$ 时,则

$$\begin{cases} LP_{l,F}(n,m) = W_{l,\max}(n,m)LP_{l,A}(n,m) + W_{l,\min}(n,m)LP_{l,B}(n,m), \\ \quad \text{当 } E_{l,A}(n,m) \geq E_{l,B}(n,m) \text{ 时} \\ LP_{l,F}(n,m) = W_{l,\min}(n,m)LP_{l,A}(n,m) + W_{l,\max}(n,m)LP_{l,B}(n,m), \\ \quad \text{当 } E_{l,A}(n,m) < E_{l,B}(n,m) \text{ 时}, (0 \leq l \leq N) \end{cases}$$

其中

$$\begin{cases} W_{l,\min}(n,m) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left[\frac{1 - M_{l,AB}(n,m)}{1 - T} \right], \\ W_{l,\max}(n,m) = 1 - W_{l,\min}(n,m). \end{cases} \quad (0 \leq l \leq N) \quad (10)$$

2.3 算法物理意义分析

1) 该方法把图像融合的理念首次引入滤波领域,具有形态学结构简单、运算速度快、小波变换的多分辨率特性。

2) 它利用的大形态结构元素滤波效果强和小的结构元素保持边缘细节清晰的特性,把含有噪声的图像在多个通道上并行处理,综合了不同的形态学滤波结构元素的特性。

3) 它不同于小波变换滤波技术,由于噪声和弱目标在图像中同为高频分量,采用线性小波变换滤波技术容易丢失目标的形状和位置信息。

4) 采用了多算子并行处理的滤波算法,回避了在通常形态学滤波中结构元素选取不易确定的难题。

5) 大的形态滤波算子是由小的滤波算子通过

自身的膨胀得到,各个滤波算子之间具有极强的相关性,不同于简单的并行滤波算法。

6) 滤波图像通过基于小波变换融合在一起,综合了相关形态算子滤波的优良性。

3 仿真实验

为验证本文算法的有效性,选取了三组实验结果,如图1~图3所示,图像源为真实的红外和电视目标,在原始图像中加入噪声,验证本文算法对噪声的滤除效果。图像源分别来自某型舰载光电跟踪仪跟踪海空背景下飞机、导弹的实验结果,图像从点目标过渡到小目标、大目标。本文算法与中值滤波、自适应滤波、小波变换滤波等传统滤波方法作了对比。

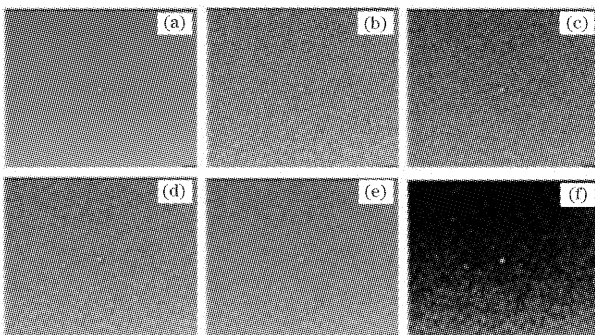


图1 红外点目标滤波效果。(a)原始图像,(b)噪声污染,(c)中值滤波,(d)自适应滤波,(e)小波变换滤波,(f)本文算法滤波

Fig.1 Infrared point target filtered result. (a) Original image, (b) yawp contaminated image, (c) median filtered image, (d) Wiener filtered image, (e) wavelet filtered image, (f) multi-scale fusion filtered image

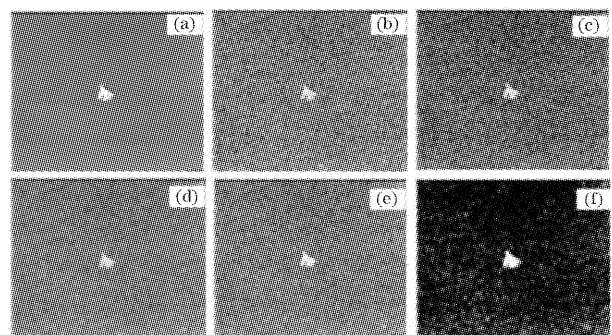


图2 红外面目标滤波效果。(a)原始图像,(b)噪声污染,(c)中值滤波,(d)自适应滤波,(e)小波变换滤波,(f)本文算法滤波

Fig.2 Infrared surface target filtered result. (a) Original image, (b) yawp contaminated image, (c) median filtered image, (d) Wiener filtered image, (e) wavelet filtered image, (f) this arithmetic filtered image

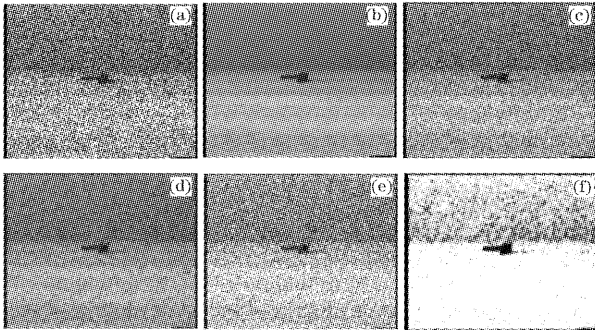


图3 电视面目标滤波效果。(a)原始图像,(b)噪声污染,(c)中值滤波,(d)自适应滤波,(e)小波变换滤波,(f)本文算法滤波

Fig.3 TV surface target filtered result. (a) Original image, (b) yawp contaminated image, (c) median filtered image, (d) Wiener filtered image, (e) wavelet filtered image, (f) this arithmetic filtered image

4 评价算子及评价规则

对滤波图像效果/质量的定量评价是客观的,它能够克服人的视觉特性、心理状态、知识背景等因素的影响,对各种图像滤波方法的性能做出科学、客观的评价,就可能使机器或计算机自动选取适合当前任务的、性能更佳的滤波方法及滤波算法^[10~12]。

针对目标检测跟踪的图像滤波算法的目的是增强图像中感兴趣部分的区域,把噪声和背景的干扰降低。因此,滤波后图像质量的评价不能从整幅图像的特征来分析,应从目标的特征与背景的特征来比较,包括目标的辐射特征、形状特征、纹理特征、灰度特征等。目标特征与背景特征的比值越大,说明目标与背景的差异越大,目标就越容易从背景中被检测出来。

为了定量评价滤波后图像的效果和质量,特定义以下评价参量:红外目标与背景交叉分辨力

$$H = \frac{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F(i, j)}{\frac{1}{M \times N - m \times n} \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F(i, j) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F(i, j) \right]}, \quad (11)$$

对于电视图像,目标的灰度值一般小于背景的灰度值,为保证 $H > 1$,定义电视目标与背景交叉分辨力:

$$H = \frac{\frac{1}{M \times N - m \times n} \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F(i, j) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F(i, j) \right]}{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F(i, j)}, \quad (12)$$

式中 $F(i, j)$ 表示图像在点 (i, j) 处的灰度值, $M \times N$ 表示图像的大小, $m \times n$ 表示包络目标的最小矩形的大小。

对滤波效果的评价准则如下:

目标与背景交叉分辨力 H 越大,说明滤波后图像与背景的特征衬比度越大。即目标灰度特征和辐射特征与背景的差异越大,目标越容易从滤波后图像中被检测出来,滤波的质量越好。

需要说明的是,该算子评价的不是滤波后图像与噪声图像的差异特征,而是滤波后图像自身的特

性,它是针对我们感兴趣的的目标而定义的,不需要已知的参考图像。

5 实验结果分析

利用上述评价算子和评价规则对上文的滤波方法的性能以及图像滤波的效果进行定量评价。实验中用噪声方差的表示加入噪声的大小。

表1~表3分别为仿真实验中针对红外点目标、红外面目标以及电视目标滤波的定量评价。

表1 红外飞机点目标的滤波图像质量统计

Table 1 Filtered result data statistic of infrared plane point target

Noise variance (yawp) σ	Median filter	Wavelet filter	Wiener filter	Multi-scale fusion filter
0.02	1.43	1.58	1.47	5.899
0.03	1.42	1.64	1.54	5.304
0.04	1.40	1.68	1.47	5.216
0.05	1.30	1.63	1.44	5.37
0.06	1.38	1.52	1.50	4.13

表 2 红外飞机弱小目标的滤波图像质量统计

Table 2 Filtered result data statistic of infrared plane little target

Noise variance (yawp) σ	Median filter	Wavelet filter	Wiener filter	Multi-Scale fusion filter
0.02	1.37	1.58	1.59	5.69
0.03	1.33	1.57	1.56	5.30
0.04	1.34	1.51	1.58	5.14
0.05	1.29	1.49	1.55	4.78
0.06	1.31	1.47	1.47	4.17
0.07	1.28	1.51	1.48	4.26

表 3 红外飞机面目标的滤波图像质量统计

Table 3 Filtered result data statistic of infrared plane surface target

Noise variance (yawp) σ	Median filter	Wavelet filter	Wiener filter	Multi-Scale fusion filter
0.02	1.88	1.84	1.85	11.48
0.03	1.87	1.85	1.82	10.26
0.04	1.90	1.78	1.80	8.95
0.05	1.89	1.78	1.79	8.21
0.06	1.85	1.77	1.78	7.05
0.07	1.86	1.74	1.71	7.30
0.1	1.85	1.69	1.67	6.59
0.12	1.85	1.71	1.65	6.12
0.15	1.80	1.68	1.65	4.37

6 结 论

1) 多形态算子融合滤波算法具有良好的时间稳定性,对点目标到小目标以及面目标图像都有优良的去噪性能,噪声和背景的抑制能力强。

2) 多形态算子融合滤波算法具有良好的空间稳定性,对红外和电视背景图像都具有良好的噪声抑制,背景滤除能力,具有较广的应用场合和应用前景。

3) 实验数据表明:对各种滤波算法性能的定量评价与实际所得到滤波图像的视觉效果吻合得很好,充分说明文中给出的滤波图像效果/质量的评价参量及其准则是合理的、有效的。

该评价方法和准则的建立可为研究目标探测的图像滤波工作提供参考。

参 考 文 献

- Liu Guixi, Yang Wanhai. A contrast pyramid based image fusion scheme and its performance evaluation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(11): 1336~1342 (in Chinese)
刘贵喜,杨万海. 基于多尺度对比度塔的图像融合方法及性能评价[J]. *光学学报*, 2001, **21**(11): 1336~1342
- Liu Guixi, Zhao Shuguang, Chen Wenjin. Multi-resolution scheme appropriate to fusing infrared and visible light images[J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2004, **15**(8): 980~984 (in Chinese)
刘贵喜,赵曙光,陈文锦. 红外与可见光图像融合的多分辨率方法[J]. *光电子·激光*, 2004, **15**(8): 980~984
- Hong Wang, Zhongliang Jing, Jianxun Li. Image fusion using non-separable wavelet frame[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(9): 523~526
- Gang Xiao, Zhongliang Jing, Jianxun Li. A united optimum images fusion based on analysis of color distortion[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(3): 144~147
- Wu Yan, Yang Wanhai, Li Ming. Fusion algorithm of multi-spectral and high resolution[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(2): 174~178 (in Chinese)
吴 艳,杨万海,李 明. 多光谱与高分辨率图像融合算法研究[J]. *光子学报*, 2003, **32**(2): 174~178
- Zhang Jiayou, Wang Jian'an. Infrared image fusion[J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2000, **11**(5): 537~539 (in Chinese)
张加友,王建安. 红外图像融合[J]. *光电子激光*, 2000, **11**(5): 537~539
- Peng Xiaoming, Ding Mingyue, Zhou Chengping *et al.*. An aircraft recognition method based on information fusion[J]. *Optoelectronic Engineering*, 2003, **30**(6): 50~54 (in Chinese)
彭晓明,丁明跃,周成平等. 信息融合的飞机识别方法[J]. *光电工程*, 2003, **30**(6): 50~54
- Nie Shouping, Liu Feng, Wang Hong. Region encode and region logical algorithm for object detection[J]. *Chin. J. Lasers*, 2004, **31**(2): 185~189 (in Chinese)
聂守平,刘 峰,王 弘. 目标检测的区域编码和区域逻辑运算[J]. *中国激光*, 2004, **31**(2): 185~189
- Wu Chunfeng, Zhang Wei, Cong Mingyu *et al.*. An automatic target recognition on algorithm based on correlation of infrared multi spectral imagery[J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 2003, **22**(4): 265~268 (in Chinese)
武春风,张 伟,丛明煜等. 基于红外多光谱图像相关性的自动目标识别算法[J]. *红外与毫米波学报*, 2003, **22**(4): 265~268
- Shi Junsheng, Jin Weiqi, Wang Lingxue. Visual assessment experiments on quality of low level light and infra-red fused imagery[J]. *Infrared Technology*, 2004, **26**(3): 22~32 (in Chinese)
石俊生,金伟其,王岭雪. 微光与红外图像融合质量视觉评价实验[J]. *红外技术*, 2004, **26**(3): 22~32
- Xu Ying, Zhao Jianlin, Xiang Qiang. Image processing in numerical reconstruction for lensless Fourier transform hologram[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(11): 1503~1506 (in Chinese)
徐 莹,赵建林,向 强. 无透镜傅里叶变换全息图数值再现中的图像处理[J]. *光学学报*, 2004, **24**(11): 1503~1506
- Li Qi, Xu Zhihai, Feng Huajun. A descriptive method for image stability[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(3): 427~430 (in Chinese)
李 奇,徐之海,冯华君. 一种图像稳定程度的描述方法[J]. *光学学报*, 2004, **24**(3): 427~430