

doi: 10.3788/gzxb20124105.0596

利用相邻相关像素进行噪音抑制的模糊小目标检测算法

黄鹤汶, 金韬

(浙江大学 信息与电子工程学系, 杭州 310027)

摘要:提出了一种利用相邻相关像素对红外数字图像中的可疑小目标进行检测的算法. 该算法首先利用自适应全局阈值检测图像中的亮像素, 并借助相邻相关像素信息滤除结果中的亮噪音点; 然后依据亮像素的相关性, 对剩余的亮像素进行加强, 并再次抑制噪音, 获得可观的信噪比增益. 相对于传统的 Top-Hat 变换, 该算法能够在有效提高待检测目标信号强度的同时很好地抑制噪音, 有效地保留了目标图像的边缘细节.

关键词:小目标检测; 相邻相关像素; 噪音抑制

中图分类号: TP751.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)05-0596-6

0 引言

红外数字图像的小目标检测算法极大地影响着红外监控设备的检测性能, 因此一直是许多监控应用中的关键技术. 然而, 红外小目标检测在实际应用时面临着许多的困难. 目标常常隐藏在复杂的背景中, 其形状、大小和纹理信息都未知, 且图像经常受噪音干扰, 令检测的难度变得更大.

在以往的研究中, 基于数字图像形态学的检测算法最为流行. 数字图像的形态学处理现已成为数字图像处理领域的一个重要分支, 在小目标检测领域, 主要采用的是 Top-Hat 变换. Top-Hat 变换具有优异的性能, 但只有与结构元素外形相近的目标才能被很好地检测出来. 许多学者对它进行了改进. Bai 等人交换了 Top-Hat 变换中腐蚀和膨胀操作的顺序, 并使用了两个不同的结构元素来加强检测效果^[1]. 基于神经网络和基因算法, 可以通过不断学习和迭代, 得到最优结构元素^[2-4].

除了形态学处理外, 还有许多研究致力于减少背景杂波. 基于图像序列检测的有三维匹配滤波法^[5]、光流法^[6]、对称差分法^[7]等. 信息熵的概念被引入图像处理, Deng 等人指出可以利用小目标对图像局部熵的影响来进行检测^[8-9]. 针对实际应用中目标大小难以确定的问题, 多尺度滤波法正得到越来越多的应用^[10]. 另外, 作为图像处理中新兴的重要技术, 小波变换得到越来越广泛的应用. 利用多小

波的对称性、正交性和高阶消失性等特性, 可以借助目标的边缘特征进行检测^[11].

与上述方法不同, 本文总结了小目标成像的特点, 利用相邻相关像素信息, 在有效抑制噪音的同时, 加强了目标信号强度. 实验表明, 该方法计算量小, 效果明显, 能有效凸显模糊小目标, 并保留其边缘细节.

1 红外小目标的特性研究

红外图像中模糊小目标的外形和大小变化不定, 往往难以检测, 传统的基于滤波模板的检测方法鲁棒性较差. 然而对人类视觉系统来说, 在信号微弱的图像中发现目标并不困难, 即使是短短的几秒时间, 也足够让肉眼识别出可疑的目标点. 这是因为视觉系统并不单纯依靠外形和大小来识别目标.

图 1 是一幅红外图像, 其中存在可疑目标的区

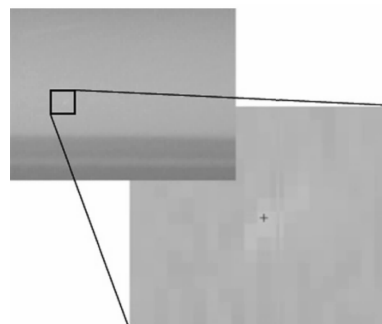


图 1 一幅红外图像, 存在目标的区域已放大
Fig. 1 Infrared image with target region zoomed in

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (No. 2009 * * * * 216) 资助

第一作者: 黄鹤汶 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理及相关采集电路设计. Email: sp87@zju.edu.cn

责任作者/导师 (通讯作者): 金韬 (1968-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为光通信技术、目标探测技术等. Email: jint@zju.edu.cn

收稿日期: 2011-11-25; **修回日期:** 2012-01-11

域已经被放大. 尽管目标在外形上十分不规则, 然而肉眼还是能很快发现它的存在. 视觉学家认为, 对视觉系统来说, 区域对比度是图像中最重要的信息^[12]; 而且, 视觉系统对目标的尺寸有很强的自适应性^[13]. 因此, 小目标检测算法应该充分利用区域对比度信息, 同时避免用固定的滤波模板作为检测手段.

通过对大量红外图像的研究, 可以总结出红外小目标的一些特性. 首先, 它们的强度一般比背景稍高; 其次, 它们一般由几个相互接近的亮像素组成, 这些像素相对背景的亮度差别往往不大, 但是它们使局部亮度发生变化; 最重要的一点, 这些亮像素往往是密集相连的. 因此, 即使图像中存在大量的噪音点, 肉眼仍然能很快发现可疑目标, 因为目标的亮点是集聚的, 而噪音亮点是离散的.

考虑到以上特性, 提出了利用相邻相关像素进行小目标检测的算法.

2 相邻相关像素检测

2.1 红外图像的信号模型

一般来说, 红外图像的信号由三部分组成: 背景、噪音和目标, 可表示为

$$I(x, y) = B(x, y) + T(x, y) + n(x, y), \quad (1)$$

$$(1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N)$$

式中, I 表示一幅 $N \times M$ 的红外图像, B 表示背景信号, 而 T 和 n 分别表示目标信号和噪音信号, (x, y) 代表像素在图像中的坐标.

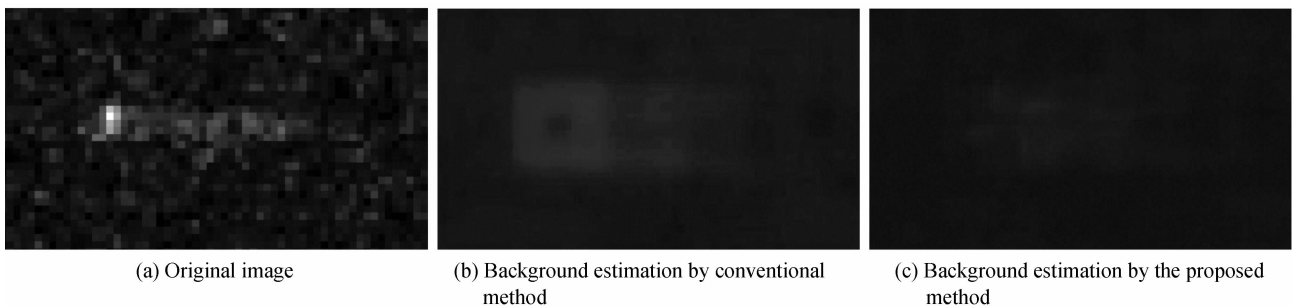


图3 本文的背景估计方法和传统方法的结果对比

Fig. 3 The comparison of background estimations utilizing conventional method and the proposed method

本文算法使用四个滤波窗口来得到更精确的背景估计, 如图3和图4. 若用 $K_n (n=1, 2, 3, 4)$ 表示这四个滤波窗口, 那么该结果可以用式(2)表示

$$B(x, y) = \frac{1}{3} \left(\sum_{n=1}^4 C_n - \max \{ C_n, n=1, 2, 3, 4 \} \right) \quad (2)$$

式中 $C_n = I * K_n$, 符号 $*$ 表示图像的卷积运算. 图4中 Ω 表示 5×10 大小的邻域, Θ 表示 15×15 大小的邻域, 不包含 Ω 的部分.

2.3 相邻相关像素检测

首先找出图像中的所有局部亮像素, 然后依据

小目标检测的任务就是去掉图像中的 $B(x, y)$ 和 $n(x, y)$. 前面已经介绍过许多已有的处理方法. 由于噪音的随机性以及和目标信号的相似性, 其滤除是最困难的. 本文中的算法并不试图完全去除噪音, 而是设法提高目标信号的信噪比.

2.2 背景的滤除

在估计红外图像的背景时, 一般的方法是使用卷积窗口来估计各区域的背景强度, 如图2.

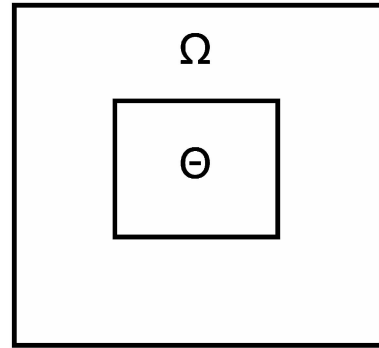


图2 用于背景估计的卷积窗口(Ω 为用于计算的区域, Θ 为保护窗口)

Fig. 2 Background window Ω and guard window Θ , pixels in Θ are not involved in calculating background intensity

一种常见的改进方法是加入保护窗口, 使在估计某像素的背景强度时, 减弱与之相邻的像素对该点背景估计的影响. 对于目标所在的区域来说, 这可令计算得到的背景更干净. 然而, 对于目标附近的区域, 加窗处理反而会使得到的背景偏亮(如图3), 从而导致目标的边缘细节不能很好地保留.

一定的判定准则, 从中确定可疑的目标像素. 正如上面讨论过的, 若某区域集聚的亮像素越多, 该区域存在可疑目标的可能性就越大. 相应地, 亮像素与背景之差值越大, 这个可能性也越大. 考虑到上面两点, 本文确定了如下的检测算法:

1) 对图像中的每个像素点, 减去对应坐标的背景亮度. 如果差值大于阈值 t_1 , 标记该像素为亮像素; 否则, 将该像素值置零.

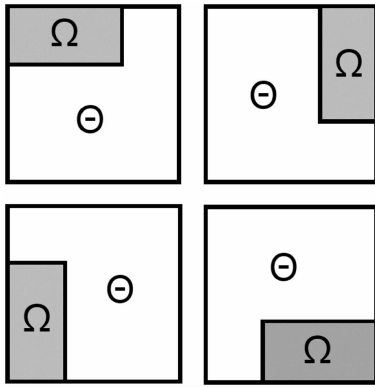


图 4 用于背景计算的四个滤波窗口(Θ 表示保护区域, Ω 表示用于计算的区域)

Fig. 4 Four filters used to estimate background, Θ denotes the guard region, Ω denotes the region where pixels are calculated

2)对第一步处理得到的每个亮像素,计算其 5×5 邻域中其它亮像素的数量. 如果其数量小于阈值 t_2 ,则认为该亮像素为噪音点,在下一步的处理中跳过该点.

3)数量大于阈值 t_2 的点视为可疑目标像素,使用相邻相关亮像素来增强其亮度. 具体地,使用图 5 中的卷积窗口,对该点进行邻域卷积,把卷积结果替换为该可疑目标像素的值.

1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
1/4	1/2	1/2	1/2	1/4
1/4	1/2	1	1/2	1/4
1/4	1/2	1/2	1/2	1/4
1/4	1/4	1/4	1/4	1/4

图 5 卷积窗口

Fig. 5 The convolution filter

上述算法的卷积过程表明,可疑目标像素周围的亮像素越多,卷积后其亮度增益就越高. 卷积窗口的数值选择方式,使越接近窗口中心的亮像素贡献的增益越大,这有助于保留目标的边缘细节信息.

2.4 阈值的选择

在上述步骤中, t_1 和 t_2 是两个待决定的阈值.

阈值 t_1 的选择与图像的噪音大小有关,它的值选为 $k\sigma$,其中 σ 表示区域亮度标准差, k 为系数. 一般来说,可以把图像按不同区域分块,再计算每一区域里相应的 σ 值. 然而,对图像进行合理的分块可能很复杂,而且会加大算法的运算量. 考虑到 σ 的值在整个图像中近似一致,因此对图像先进行 Top-Hat 变换大致去除背景,然后计算整幅图像的亮度标准差,以此作为 σ 的全局估计值. 若用“ \circ ”表示形态学开运算,用 I 和 E 分别表示一幅大小为 $N \times M$ 的红外图像以及用于 Top-Hat 运算的形态学结构元素,那么 σ 的估计可以由式(3)得到

$$\sigma^2 = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j) - u]^2 \quad (3)$$

式中

$$f = I - I \circ E \quad (4)$$

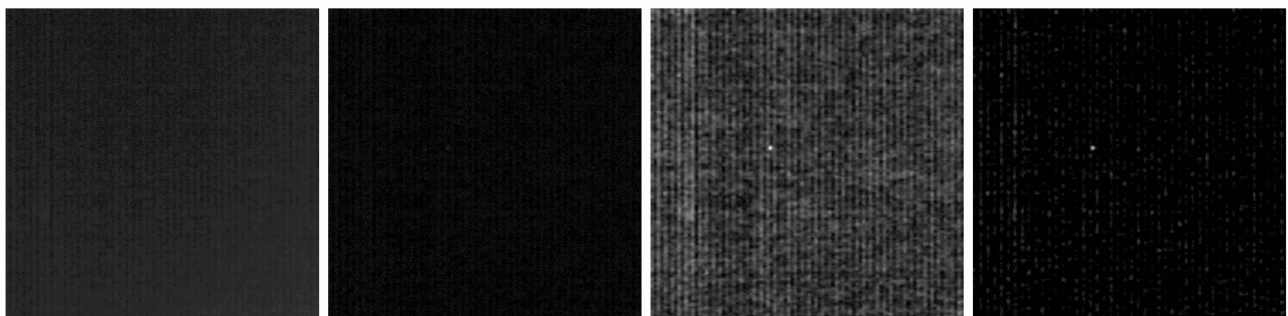
$$u = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f(i, j) \quad (5)$$

若选取 k 值较大,可以减少虚警,但会降低检测灵敏度. 由于本文算法对信噪比的加强较明显,能有效降低噪音的影响,故选择较小的 1 作为 k 值,以保证检测灵敏度.

阈值 t_2 是作为判别离散噪音点和目标信号点的依据,同时也影响着检测灵敏度. 小目标检测算法的应用范围很广,在不同的成像条件下,干扰噪音和背景杂波的组成都不一样. 故应根据实际需要,选择合适的阈值大小. 对于背景复杂的图像, t_2 的值也可以用局部窗口自适应地确定. 一般来说, t_2 较大时可以更好地抑制噪音,但可能会导致目标的边缘像素点被当作噪音滤除,在本文涉及的低对比度红外图像的检测应用中, t_2 的值为 6 时,能在有效消除噪音点的同时,保留目标的边缘细节.

3 实验结果和分析

由于经典 Top-Hat 变换有着非常广泛的应用,并且有着良好的性能,因此在这里把它和本文算法进行比较,结果如图 6.



(a) Original image No.1

(b) Top-Hat transformation of image No.1

(c) Top-Hat transformation with 8-neighbor clustering of image No.1

(d) The proposed method of image No.1

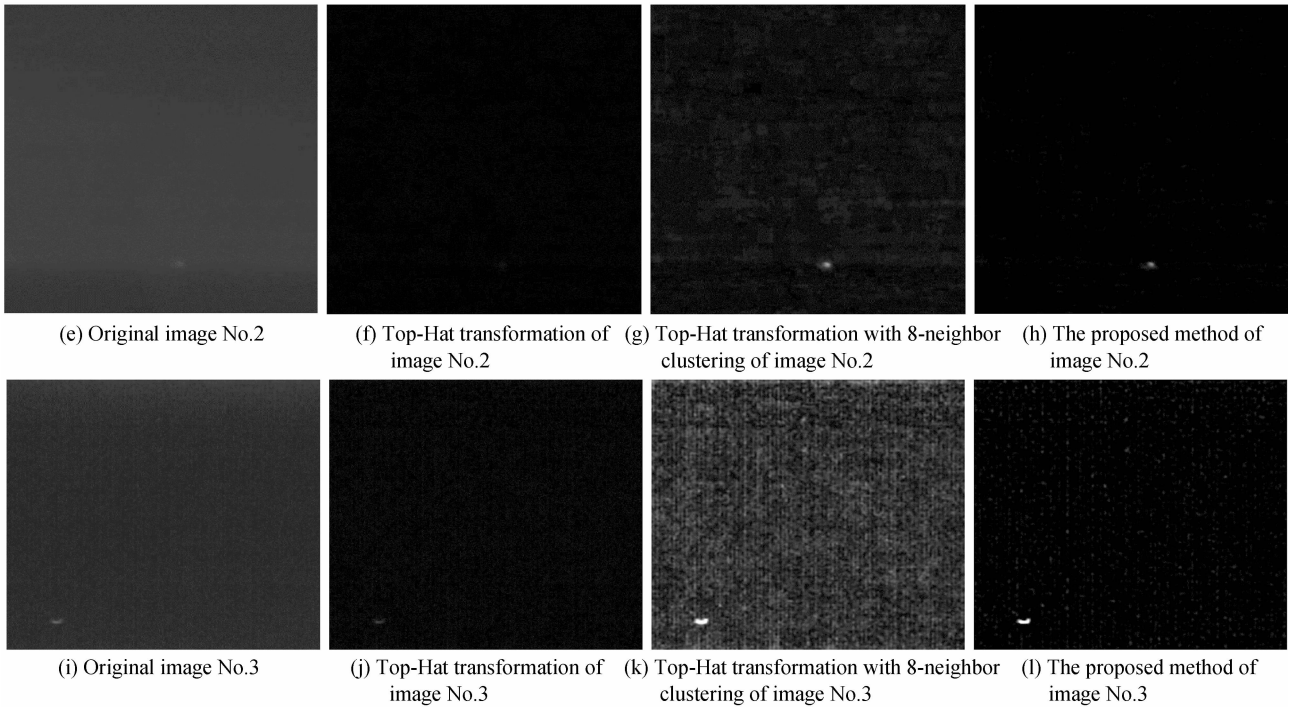


图 6 三幅图像经不同处理方法得到的结果比较
 Fig. 6 Results of three infrared images processed by different methods

Top-Hat 变换是基于背景消除来突出目标的,它使用特定结构元素来估计背景,然后通过把原图与背景相减得到结果.因此,选取的结构元素十分重要,另一方面,它也导致 Top-Hat 变换本身固有的缺陷.大部分基于该变换的算法都选用平坦的矩阵结构元素,相应地,估计出的背景由大量重叠的矩阵组成.这意味着背景是不平滑的,由此得到的变换结果也一样.在图 6 中可以看出,经 Top-Hat 变换处理的结果存在大量的暗块状干扰.而采用本文算法的结果就不存在上述问题,因为它对信号的增强不是基于特定结构的滤波窗口.

另外,Top-Hat 变换并没有为目标信号带来任何亮度上的加强,这是因为该变换的处理增益恒为负.图 7 是使用两种方法对同一幅图像进行处理后的结果,经本文算法处理后,信号与噪音的差值进一步加大,信噪比得到了增强.而经 Top-Hat 变换处理后,某些目标由于信号过弱,有可能达不到预设的报警门限,虽然经 8 邻域相加后能带来一定增益,但同时噪音也变得不能忍受,大大提高了虚警率,如图 6.

所有小于结构元素的亮点在经 Top-Hat 处理后都会被保留,这表明该变换并没有很好地区分噪音和目标.图 8 是一幅被噪音污染后的红外图像,在图中左侧有三个不明显的船只目标.由于目标和噪音都表现为离散的亮点,Top-Hat 变换没法有效地区分两者,导致它的处理结果与原图像几乎没有任

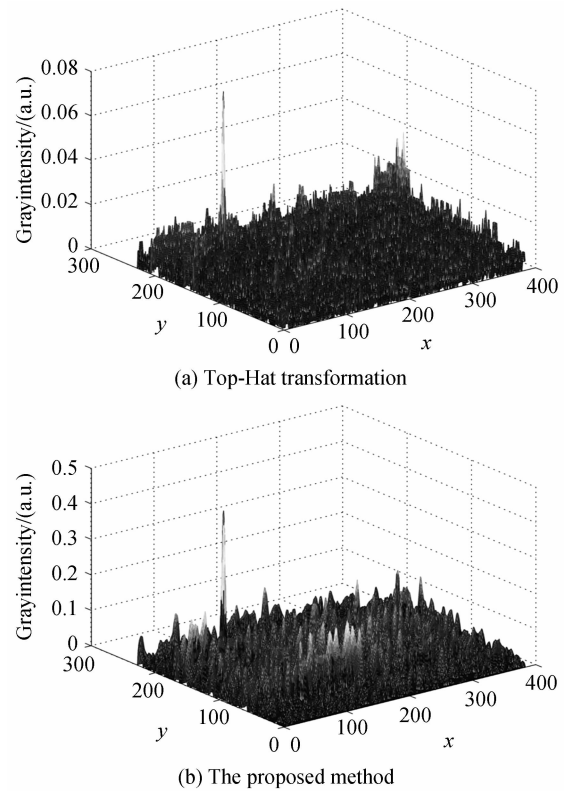


图 7 两种方法的处理增益比较
 Fig. 7 The comparison of processing gain acquired with the application of two methods

何区别.而本文算法利用相邻相关像素信息,获得了较为满意的结果.由图 8 可见,船只目标的轮廓基本被重建出来,边缘细节得到保留.图 9 表明,船只信

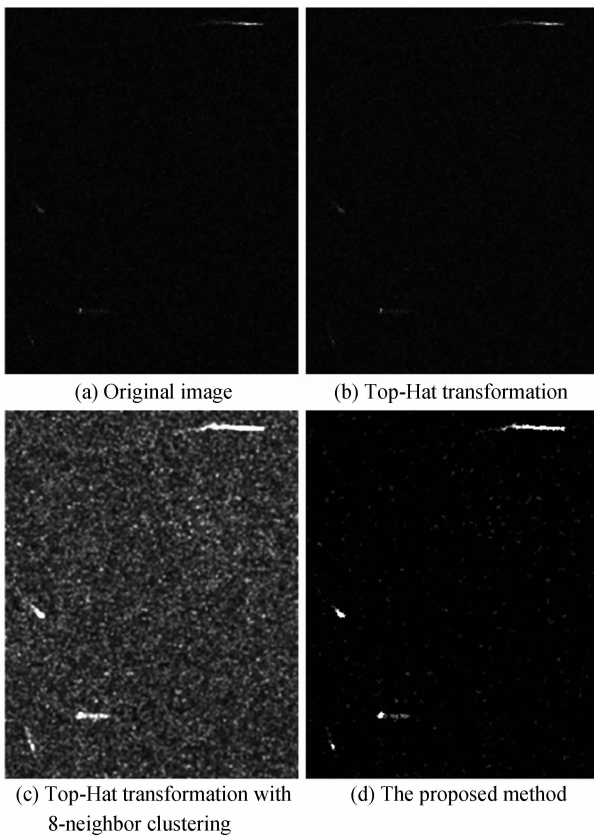


图8 不同处理方法的噪音抑制能力比较

Fig. 8 The comparison of noise rejection capability by different methods

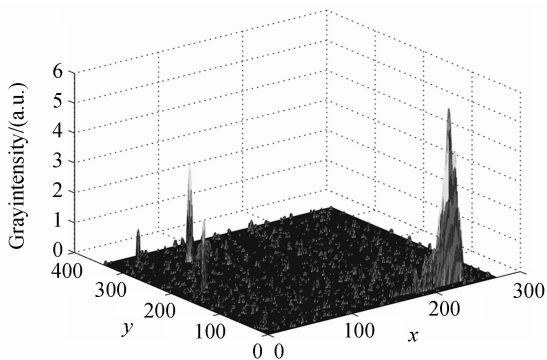


图9 图8(d)的灰度值三维视图

Fig. 9 3-D plotting of Fig. 8(d)

号得到了较大增益(原图为范围从0到1的灰度值图像),同时噪音被控制在相当低的水平.

4 结论

基于形态学 Top-Hat 变换的小目标检测算法得到了广泛的应用,然而 Top-Hat 变换在处理过程中并不能有效区分目标和噪音,并且不能提供目标信号的处理增益,由此带来难以选定合适的检测门限和虚警率过高等问题. 本文提出一种基于相邻相关像素检测的新算法,在提供可观信号增益的同时,

有效滤除了部分噪音,并提高了信噪比. 与 Top-Hat 变换的比较结果显示,本文算法效果更为出色,达到了预期的性能.

参考文献

- [1] BAI Xiang-zhi, ZHOU Fu-gen. New class of top-hat transformation to enhance infrared small targets[J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2008, **17**(3): 030501.
- [2] ZENG Ming, LI Jian-xun, PENG Zhang. The design of top-hat morphological filter and application to infrared target detection[J]. *Infrared Physics and Technology*, 2006, **48**(1): 67-76.
- [3] ZHANG Peng, LI Jian-xun. Neural-network-based single-frame detection of dim spot target in infrared images[J]. *Optical Engineering*, 2007, **46**(7): 076401.
- [4] ZHOU Hong-wu, ZHU Zhao-da, WU Yi-quan, et al. Optimized design of improved TOP-HAT filter based on genetic algorithms of neural network[J]. *Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*, 2007, **39**(2): 213-217.
周洪武, 朱兆达, 吴一全, 等. 基于 TOP-HAT 滤波器算子的红外弱小目标检测算法[J]. *南京航空航天大学学报*, 2007, **39**(2): 213-217.
- [5] LI Meng, ZHANG Tian-xu, YANG Wei-dong, et al. Three-dimensional double directional filter for tracking and detecting moving dim weak target[C]. *SPIE*, 2005, **6044**: 60441F.
- [6] CONG Yang, TANG Yang-dong. Research on video object tracking method based on optical flow and target matching[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, **35**(Sup4): 312-315.
- [7] LUO Huan, WANG Fang, CHEN Zhong-qi, et al. Infrared target detecting based on symmetrical displaced frame difference and optical flow estimation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(6): 1715-1720.
罗寰, 王芳, 陈中起, 等. 基于对称差分和光流估计的红外弱小目标检测[J]. *光学学报*, 2010, **30**(6): 1715-1720.
- [8] DENG He, LIU Jian-guo, CHEN Zhong. Infrared small target detection based on modified local entropy and EMD[J]. *Chinese Optics Letters*, 2010, **8**(1): 24-28.
- [9] ZHOU Bing, WANG Yong-zhong, SUN Li-hui, et al. Study on local entropy used in small target detection[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(2): 381-387.
周冰, 王永仲, 孙立辉, 等. 图像局部熵用于小目标检测研究. *光子学报*, 2008, **37**(2): 381-387.
- [10] XIA Ren-bo, ZHAO Jin-bin, HUI Bin, et al. A simple and efficient saliency extraction method based on multi-scale horizon-directional filter for infrared dim small target detection[C]. *SPIE*, 2011, **8004**: 80041D-1.
- [11] CHENG Fang-han, WANG Wen-sheng, YANG kun, et al. Detection and recognition of infrared target based on the multiwavelet transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(2): 295-299.
陈方涵, 王文生, 杨坤, 等. 基于多小波变换的红外目标探测与识别[J]. *光子学报*, 2011, **40**(2): 295-299.
- [12] RUFIN V. Visual saliency and spike timing in the ventral visual pathway[J]. *Journal of Physiology-Paris*, 2003, **97**(2-3): 365-377.
- [13] JOZSEF F, SURESH S, IRVING B. Size tuning in the absence of spatial frequency tuning in object recognition[J]. *Vision Research*, 2001, **41**(15): 1931-1950.

Dim Small Targets Detection with Noise Suppression Utilizing Adjacent Relevant Pixels Information

HUANG He-wen, Jin Tao

(Department of Information Science & Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: An infrared dim target detecting algorithm called the adjacent relevant pixels detection is proposed. Firstly, an adaptive local threshold is used to detect bright pixels, and then eliminate the noise with the information of adjacent relevant pixels. The remaining suspicious pixels are enhanced by the relevant bright pixels, by which the noise is suppressed again and considerable SNR gains are obtained. ARPD method is compared with classic Top-Hat transformations with and without 8-neighborhood clustering. The target point in images processed by ARPD method receives high signal-to-clutter ratio gain, and the detectability of the target is enhanced.

Key words: Dim small target detection; Adjacent relevant pixels; Noise suppression

第八届全国光子学学术会议第一轮通知

会议宗旨:全国光子学会议每两年举行一次,第八届会议将在南昌举行.这次会议将一如既往,为与会者提供学术交流与技术合作的平台,总结我国光子学的最新研究成果,探讨光子学的发展方向与前沿课题,促进我国光子学的创新研究和应用.

主办单位:中国光学学会纤维光学与集成光学专业委员会;中国光学学会高速摄影与光子学专业委员会

承办单位:江西师范大学物理与通信电子学院;江西省光电子与通信重点实验室;江西省物理学会;江西省光学学会

会议时间:2012-10-26~2012-10-30

会议地点:江西南昌

大会网址:<http://photonics2012.jxnu.edu.cn/>

名誉主席:侯洵、刘颂豪

执行主席:赵卫、刘德森

学术委员会主任:李淳飞、曹庄琪

征文内容:

专题 1:微纳光子学与集成技术

纳米光子学原理与应用;光子晶体光纤与器件;表面等离子体激元器件;量子阱、量子线与量子点技术,半导体光电子集成新技术.

专题 2:有机光子材料与器件

有机、聚合物光子材料、器件和光纤;有机材料光照明(OLED)、光调制、光开关与光存储;液晶材料和光子器件.

专题 3:瞬态与超快光子学

光与物质相互作用的超快现象;瞬态过程诊断技术;高速图象处理技术;高速摄影技术;超短光脉冲源技术.

专题 4:新能源光子学与技术

高效光电、光热转换原理;固体光照明(LED)新技术;太阳能电池新技术;新型光电探测技术.

专题 5:生物、医学光子学

光与生物的相互作用;生物医学光子器件;光诊断和光治疗技术;纳米技术和光传感技术在生命科学中的应用;光镊技术.

专题 6:光传感与其他光子技术

新型光传感器、解调技术与物联网技术.紫外与红外光探测技术;THz波的光源、探测与成像技术;大功率半导体激光器新技术.

摘要截止日期:2012年8月30日;全文截止日期:2012年9月30日

征文要求:

1. 论文摘要

摘要应着重研究成果的创新点,内容包括论文题目、作者姓名、单位、通讯地址等.只接受电子稿件,可用图表,限1页A4纸,以Word格式编排,并注明征文专题号.

摘要投稿信箱:photonics2012@jxnu.edu.cn

2. 论文全文

请从《光子学报》网站:www.photon.ac.cn“作者投稿查稿”上传,“稿件类型”请选择“第八届全国光子学学术会议”.由《光子学报》编辑部组织评审,不收审理费.根据评审结果,文章将发表在《光子学报》正刊或增刊上,代表可在会议报到时领取论文录用通知并交纳论文版面费.2012-8-30号之前投稿可在2012-10-15号前收到审稿结果;2012-9-1之后投稿,会议后将会收到审稿结果.所有通过正刊评审的论文将于收稿之日起6个月左右刊出;增刊论文于2012年12月底刊出.具体事宜见《光子学报》网站通告.

报告类型:邀请报告(30分钟);一般口头报告(15分钟);张贴报告(半日)

参展征集:会议期间将举办光电子器件、仪器仪表和特种材料的展销、信息发布及产品介绍.欢迎有关公司、工厂、研究所、高校报名参加,会议将适当收取服务费,具体事宜请与秘书组联系.

其他活动:会议结束后,会务组将组织去江西省三清山、龙虎山等地参考察.

会议秘书组:

联系人:袁文(15070069109),贾芳(13870867280)

地址:江西师范大学物理与通信电子学院

邮编:330022 **电话:**(0791)88120370

邮箱:photonics2012@jxnu.edu.cn;

yuanwen@jxnu.edu.cn