



# 顺序形态滤波在小目标和点目标检测中的应用研究<sup>1)</sup>

叶 斌<sup>1</sup> 彭嘉雄<sup>1</sup> 卢汉清<sup>2</sup>

<sup>1)</sup>(华中理工大学图像识别与人工智能研究所图像信息处理与智能控制教育部重点实验室 武汉 430074)

<sup>2)</sup>(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室 北京 100080)

(E-mail: binyee@sina.com)

**摘 要** 为解决复杂背景图像中低信噪比小目标和点目标检测问题,提出了基于顺序形态滤波的目标检测方法,同时给出了具体算法.通过实验比较了这种方法与传统高通滤波检测方法在抗噪声性能、背景抑制性能以及抑制虚警目标性能方面的差异.实验结果表明顺序形态滤波法在这三个方面都优于高通滤波法,它能够快速可靠地测出低信噪比的运动小目标和点目标.

**关键词** 小目标,点目标,高通滤波,顺序形态滤波

**中图分类号** TP391

## STUDY ON APPLICATION OF ORDER MORPHOLOGY FILTERING FOR DETECTION OF SMALL TARGET AND POINT TARGET

YE Bin<sup>1</sup> PENG Jia-Xiong<sup>1</sup> LU Han-Qing<sup>2</sup>

<sup>1)</sup>(State Key Laboratory for Image Processing and Intelligent Control, Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

<sup>2)</sup>(The National Laboratory of Pattern Recognition, The Institute of Automation of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(E-mail: binyee@sina.com)

**Abstract** This paper is presented to resolve the small target and point target detection problem under the condition of low Signal Noise Ratio(SNR). The method of detection based on order morphology filtering is presented, and the algorithm is given. By means of experiments the performances of anti-noise and background suppression and false target suppression are compared between order morphology filtering and high-pass filtering. The experiment results show that the method of order morphology filtering is better than the high pass filtering in the performances of target detection and it can effectively and reliably detect the moving point target with low SNR.

1) 中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室开放课题基金资助

收稿日期 2000-09-15 收修改稿日期 2001-03-01

**Key words** Small target, point target, high pass filtering, order morphology filtering

## 1 引言

图像中的小目标、点目标检测在军事上有着重要意义. 针对红外图像中的小目标检测目前常采用的方法是把小目标看作图像的高频成分, 先对单帧图像进行高通滤波(HPF, High Pass Filtering)得到一定数目的候选目标集, 然后利用序列图像中目标运动的连续性和轨迹的一致性最后筛选出真正的目标<sup>[1]</sup>. 文献[2]给出了六种高通滤波器, 并证明了这种方法对于背景不太复杂、没有受到噪声污染的红外小目标图像是成功的, 但对于背景复杂、受噪声污染的图像特别是点目标图像往往会得到大量的虚假目标点, 这给后面的进一步处理检测带来很大的困难. 因此, 寻找一种能普遍适用的小目标、点目标检测算法一直是人们研究的课题.

数学形态学(Mathematical Morphology)具有并行快速、易于硬件实现的特点, 作为一种有效的图像处理的非线性方法和理论, 已成为图像学的一个重要分支. 顺序形态学(Order Morphology)是将“顺序统计学”的思想注入数学形态学发展起来的一般图像形态学<sup>[3]</sup>, 将顺序形态学应用到小目标、点目标检测中可以取得非常满意的结果.

## 2 顺序形态滤波

### 2.1 基本概念

**定义 1.** 设  $f(x, y)$  为定义在两维离散空间  $Z^{(2)}$  上的灰度图像,  $0 \leq f(x, y) \leq M$ ; 结构元素  $B$  为  $Z^{(2)}$  上的有限子集,  $0 < \mu(B) = k < +\infty$  (测度  $\mu(\cdot)$  为点计数), 设  $\mathbf{x} \triangleq (x, y) \in Z^{(2)}$ ,  $B = \{\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_k\}$ .  $f(\mathbf{x})$  在  $B$  上的  $k$  个值依次从小到大排列:

$$f(\mathbf{x}_1^*) \leq f(\mathbf{x}_2^*) \leq \dots \leq f(\mathbf{x}_k^*)$$

那么,  $f(\mathbf{x})$  在  $B$  上的  $d$  阶顺序量定义为

$$\text{ord}\{d; f|B\} \triangleq f(\mathbf{x}_d^*), d = 1, \dots, k \quad (1)$$

**定义 2.** 如定义 1 假设. 那么, 灰度图像  $f(\mathbf{x})$  关于结构元素  $B$  的顺序形态变换  $f(p)B$ ,  $\left(p = 0, \frac{1}{k-1}, \dots, 1\right)$  定义为  $f(\mathbf{x})$  在  $B_x(\mathbf{x} - \mathbf{b}; \mathbf{b} \in B)$  上的  $(k-1)p+1$  阶顺序量, 即

$$(f(p)B)(\mathbf{x}) = \text{ord}\{(k-1)p+1; f|B_x\}, p = 0, \frac{1}{k-1}, \dots, 1 \quad (2)$$

令

$$d = (k-1)p + 1$$

那么, 对应于百分位  $p = 0, \frac{1}{k-1}, \dots, 1$ , 有  $d = 1, 2, \dots, k$  ( $d$  称为顺序形态变换的阶数).

**定义 3.** 灰度图像的复合顺序形态变换

令

$$f(p, q)B \triangleq (f(p)B)(q)B, \left(p, q = 0, \frac{1}{k-1}, \dots, 1\right) \quad (3)$$

称之为图像  $f$  关于结构元素  $B$  的二重对称混合顺序形态变换.

顺序形态变换实际上是一种顺序滤波,使用不同的百分位  $p$  值对灰度图像进行不同的顺序形态变换,并将它们进行线性或非线性运算,可以实现灰度图像的多种处理.

## 2.2 基于顺序形态滤波的边缘提取

我们知道,对于二值图像  $X$  当结构元素  $B$  选为十字五点阵时,  $X \oplus B - X$  提取  $X$  的外部形状,  $X - X \ominus B$  则提取  $X$  的内部形状.

本文将灰度图像上的顺序形态滤波与上述二值图像的边缘提取方法结合起来,从而提出了基于顺序滤波的边缘提取方法.

现定义如下两种广义边缘

$$\partial f_p \triangleq f(p)B - f(p,0)B \quad (4)$$

$$\partial f'_p \triangleq f(p,1)B - f(p)B \quad (5)$$

分别称为广义内、外边缘.

选用不同的百分位可有效的检测出复杂背景中的小目标或点目标.

## 3 顺序形态滤波在小目标、点目标检测上的应用

由于在小目标、点目标检测中高通滤波法对噪声过于敏感,为此结合顺序形态学技术,本文提出了基于顺序形态滤波(OMF)的复杂背景中小目标、点目标的检测方法.

a). 设目标图像为  $I$ , 结构元素  $B$  选为十字五点阵,对于小目标应用式(4)或(5)对图像进行百分位  $p=0$  的顺序形态滤波提取目标广义边缘,而对于点目标采用公式(4)对图像进行百分位  $p=1$  的顺序形态滤波提取目标广义边缘. 得到的图像设为  $I_e$ , 即

$$I_e = I(0)B - I(0,0)B \quad (6)$$

$$I_e = I(0,1)B - X(0)B \quad (7)$$

$$I_e = I(1)B - I(1,0)B \quad (8)$$

其中式(6),(7)适用于小目标,式(8)适用于点目标.

b). 利用 Otsu 方法<sup>[4]</sup>(以最佳门限将图像灰度直方图分割成两部分,使两部分类间方差取最大值),在  $I_e$  图像上自适应地找出阈值,设为  $T$ . 对  $I_e$  进行分割,得到目标的广义边缘二值图像  $I'_e$ , 即

$$I'_e(x,y) = \begin{cases} 0, & I_e(x,y) < T \\ 1, & I_e(x,y) \geq T \end{cases} \quad (9)$$

c). 对  $I'_e$  进行形态膨胀,结构元素选为  $B$ ,将目标可能断开的边缘点连成一体. 设处理后得到的图像为  $I_p$ , 即

$$I_p = I'_e \oplus B \quad (10)$$

计算  $I_p$  中各可能目标的几何中心  $O_i (i=1, \dots, n)$ .

这样就完成了候选小目标、点目标的粗定位工作. 接下来需要对各候选目标进行精确定位.

d). 对于小目标,以  $O_i$  为中心,在各候选目标上开一个合适大小(本文选  $7 \times 7$ )窗口,对窗口内的子图像采用 Otsu 方法进行分割. 得到候选目标的精确位置和几何特征(周长、面

积等).

对于点目标,以  $O_i$  为中心在小范围内 ( $3 \times 3$ ) 找出灰度值最大的点,即为各候选点目标.

e). 接下来利用序列图像中目标运动的连续性和轨迹的一致性采用成熟的图像流法、分层投票表决法等最后筛选出真正的目标.

下面讨论为什么对于点目标采用百分位为 1 而小目标采用百分位为 0 的顺序形态滤波检测目标.

在点目标检测中,考虑到点目标只有一个像素,单对一个像素进行检测是很困难的,如果能以这个点目标为中心向四周扩充一个同灰度的像素,形成一个等灰度的小目标,那么检测这个小目标比检测点目标要容易一些.由于小目标与周围的背景在灰度上有差异,这种差异能通过边缘很好的表现出来,所以只要能找到目标的边缘,进而找到小目标的中心点,即点目标的位置,即可完成点目标检测的第一步.当选择十字五点阵的结构元素,采用百分位  $p$  为 1 的广义内边缘算法,即  $\partial f_1 \triangleq f(1)B - f(1,0)B$  检测点目标时,正好可以达到上述要求.在小目标检测中,由于它具有一定的面积,我们希望的是能拉大它与背景之间的灰度值的差距,以利于检测.采用百分位  $p$  为 0 的广义内、外边缘算法都能达到此种目的.

另外,顺序形态滤波具有并行、局部、实时、快速、易于硬件实现等特点,这在要求实时跟踪、检测目标的系统中显得尤为重要.

## 4 实验及结论

为了检验本方法在小目标和点目标检测中抗噪声性能、背景抑制性能以及抑制虚警目标性能,我们做了对比实验.这里给出的是一个遥感图像中点目标检测的实验.

实验采用 3 组连续的  $200 \times 200$  可见光遥感图像序列.第一、二组加入了噪声,第三组没有加入噪声.现选取第二组中的一帧图像.图 1 为原始图像,从图中可以看到天空中的白色区域为云层,云层中有一点目标正朝西北方向飞行.原图的平均灰度为 112.542 5,标准差为 30.599 2,云层的平均灰度为 159.181 0,点目标的灰度值为 208,图像中最大灰度值为 239.信噪比  $SNR = (s - m) / \sigma$ ,  $s$  为单帧图像中的目标平均灰度,  $m, \sigma$  为单帧图像中背景平均灰度和标准差,则若以天空为背景  $SNR$  为 3.064 5,以白云为背景  $SNR$  为 1.580 6.顺序形态滤波法、高通滤波法处理后的结果如图 2,3 所示.图 4 是采用顺序形态滤波对单帧图像预处理后利用分层投票表决法检测到的目标.



图 1 原图

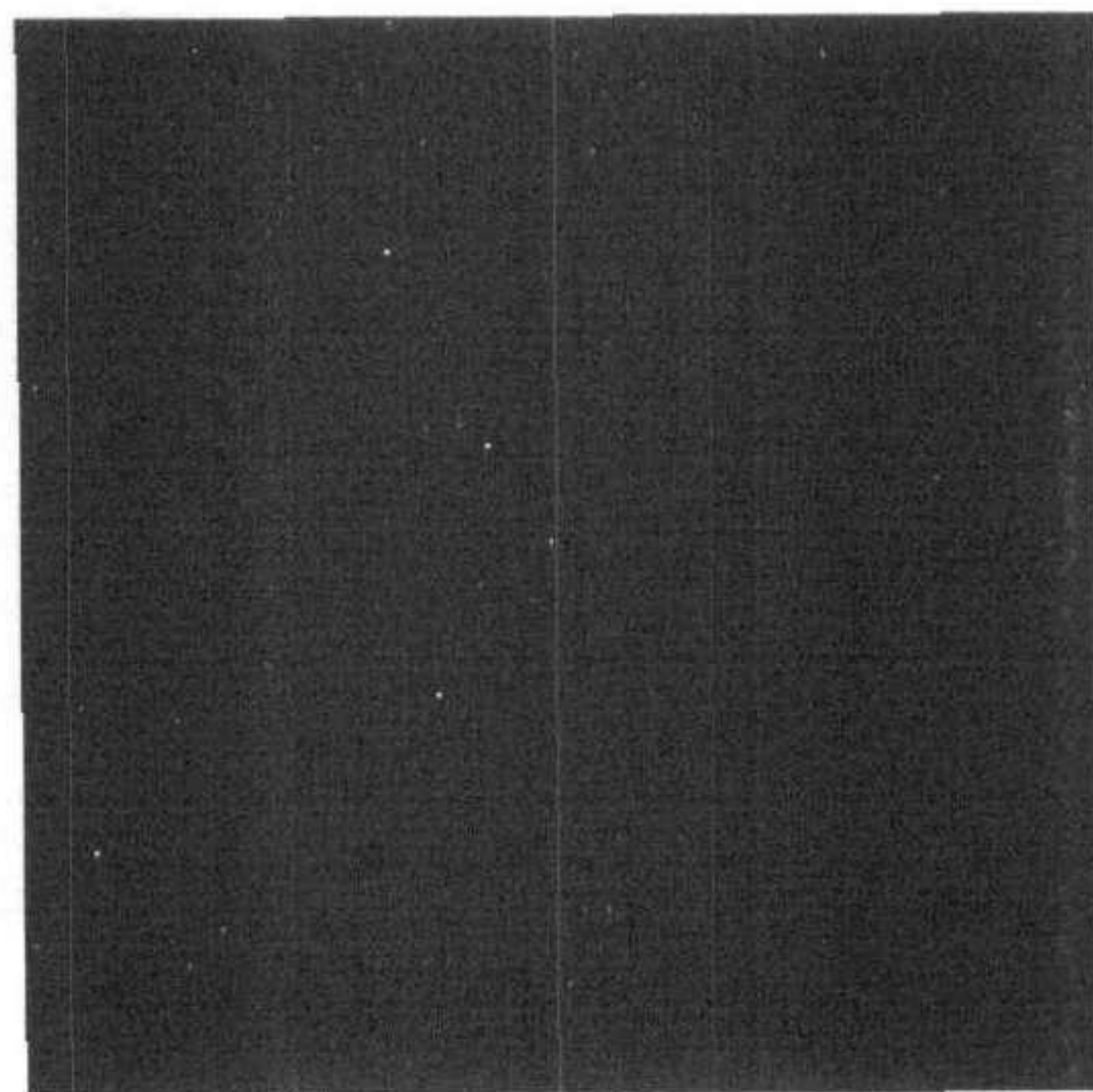


图 2 OMF 得到的候选点目标

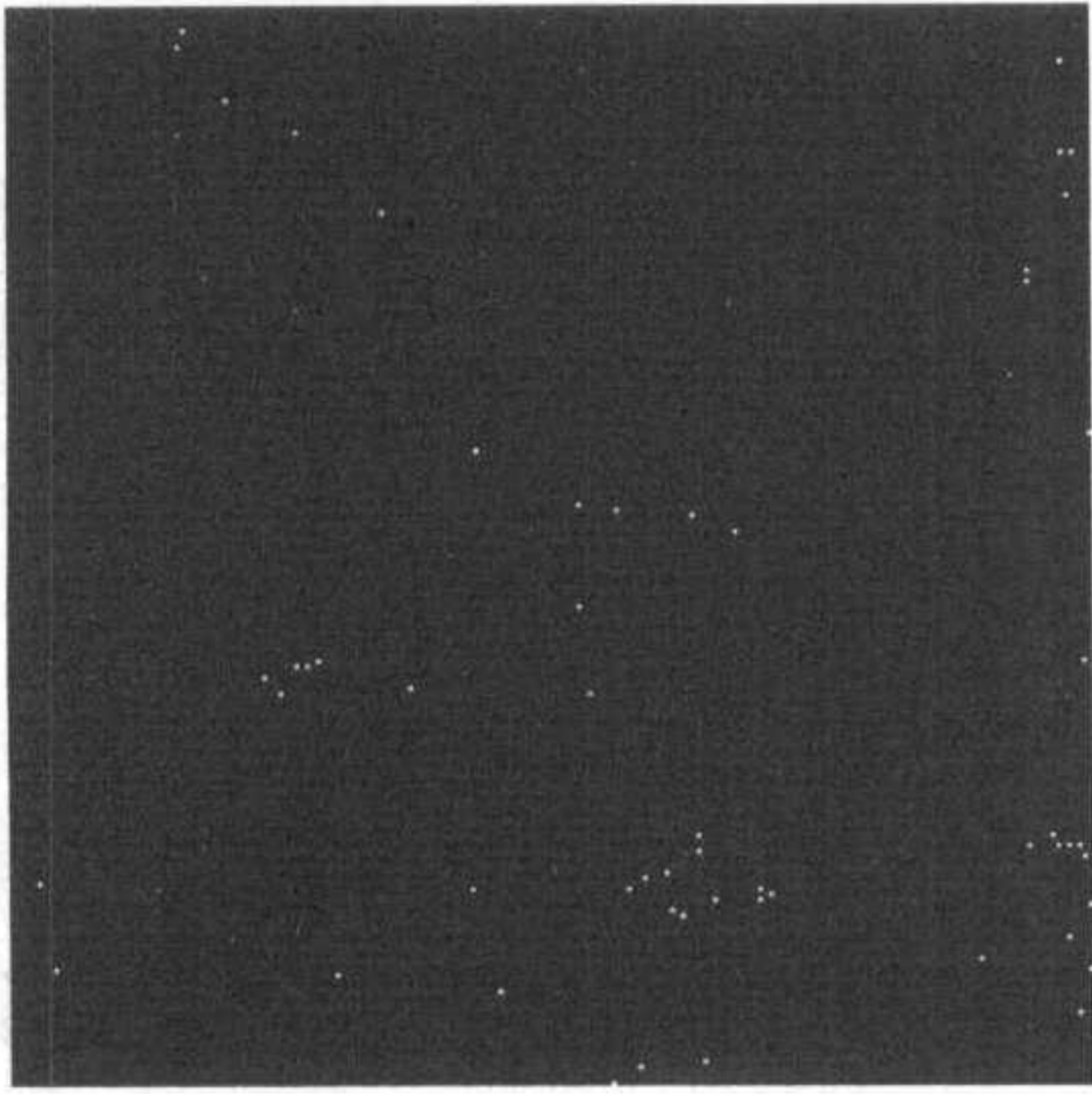


图 3 HPF 得到的候选目标点(通过率为2%)

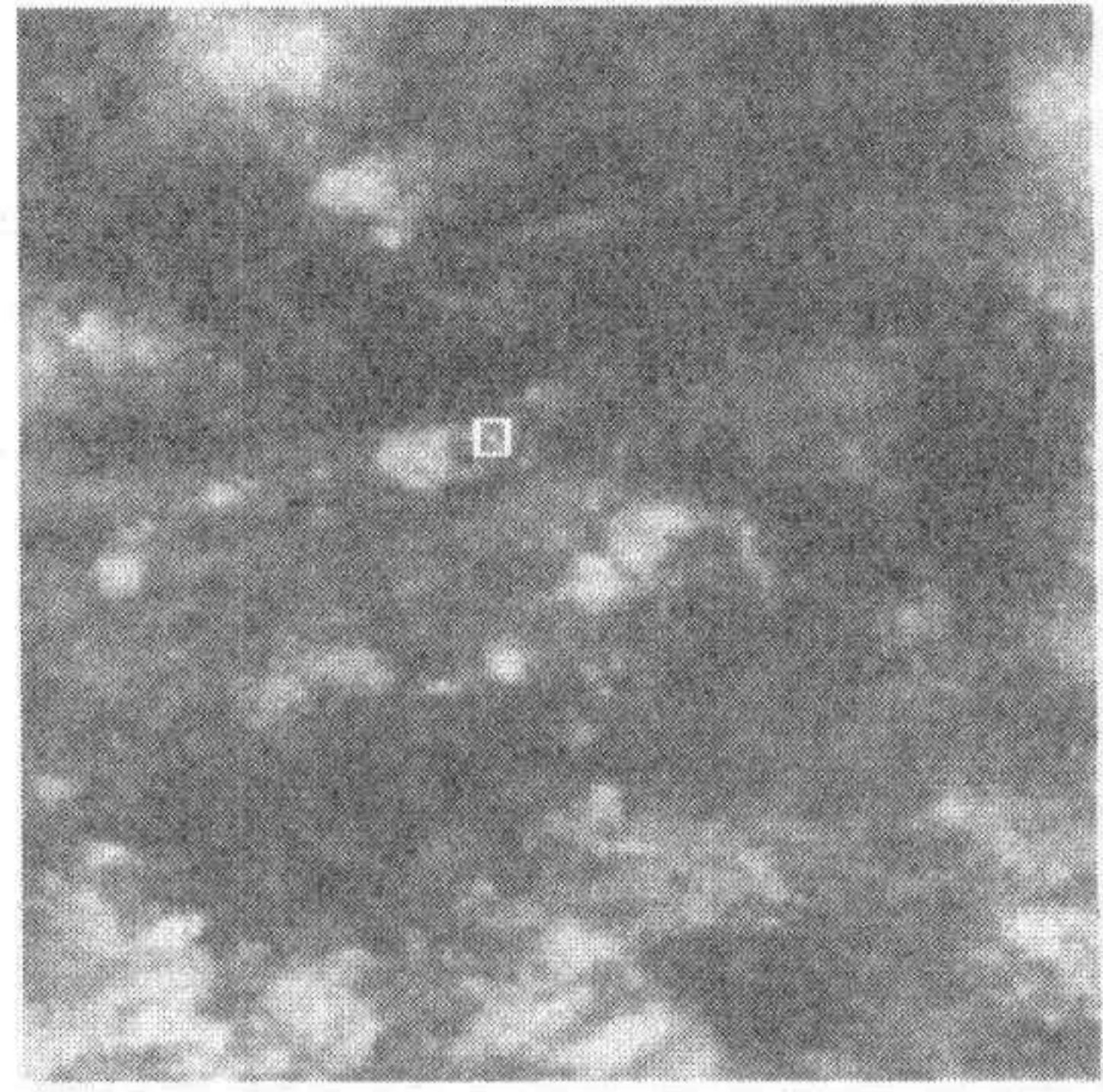


图 4 分层投票法检测到的目标

实验结果表明顺序形态滤波法在抗噪声性能、背景抑制性能以及抑制虚警目标性能这三个方面都优于高通滤波法,它能够快速可靠地测出低信噪比的运动小目标和点目标。

### 参 考 文 献

- 1 彭嘉雄,彭 铁. 弱目标检测的图像流法. 红外与激光工程,1996,25(4):34~40
- 2 彭嘉雄,周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测. 电子学报,1999,27(12):47~51
- 3 吴敏金. 图像形态学. 上海:上海科学技术文献出版社,1991. 224~235
- 4 Otsu N. A threshold selection method from gray-level histogram. *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1): 62~69

**叶 斌** 1998年3月获西安电子科技大学自动控制学硕士,现为华中理工大学图像处理与模式识别研究所博士研究生. 感兴趣的研究领域有:图像的增强、分割与目标检测、识别,运动图像编码等.

**彭嘉雄** 教授,博士生导师. 曾任国务院学位委员会、国家自然科学基金学科评审委员. 现任中国图像图形学会常任理事、湖北省学位委学科评审委员等职. 感兴趣的研究领域有图像分析、模式识别和人工智能等.

**卢汉青** 现任中国科学院自动化研究所国家模式识别重点实验室研究员,博士生导师,图像处理和图形学教研组负责人. 感兴趣的研究领域有图像处理与理解、图像分析及其应用、多媒体技术及信息系统等.