

# 基于邻域灰度分布的 IR 弱小目标检测\*

徐 英 周金鹏

(国防科技大学理学院,湖南长沙 410073)

**摘 要** 图像中邻域内灰度起伏程度越大,各点灰度值占邻域内总灰度值的比率的平方和越大,由此提出了一种基于邻域灰度分布的弱小目标检测方法。同时考虑到复杂自然背景,特别是背景中含有大量边缘和高频点的情况,提出了目标检测的改进方法。最后,利用邻域判决法实现运动目标的进一步分离。实验表明该方法能够极大地减少候选目标点数,准确有效地检测复杂自然背景中的红外运动弱小目标,适合于实时和多目标的检测。

**关键词** 红外弱小目标检测;图像预处理;邻域灰度分布

中图分类号:TN216 文献标识码:B

## Small IR Targets Detection Based on the Distribution of Gray-Level in the Neighborhood

XU Ying, ZHOU Jin-peng

(College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract**: The bigger the undulation of gray-level in a neighborhood region, the bigger the sum square of the ratio of each gray-level to the total gray-level in the neighborhood is. Thus a method of detecting small moving targets based on the distribution of gray-level in the neighborhood is described. Considering the complex background, especially which involves a lot of edges and high-frequency motionless points, we brought forward improved methods for detecting possible targets. Finally, the neighborhood judging method is presented to pick out the moving targets. Simulation result indicates that this approach can reduce the number of possible targets and detect small moving IR targets in complex natural background with high efficiency and veracity. Furthermore, it can be used in real-time and multi-targets detection.

**Key words**: small IR targets detection; preprocessing; distribution of gray-level in the neighborhood

复杂背景中红外弱小目标的检测是红外监视和告警系统的重要组成部分。在红外图像序列中,背景中有较大面积的平缓部分,而弱小目标的成像面积远小于背景,目标与背景相关性差。此时目标的辐射分布和结构信息缺乏,可以利用的信息主要为灰度、运动状态及速度。

现有的一些方法主要针对平缓变化的单一背景,且经预处理后候选目标很多,判决和聚类的运算量大,往往不能满足实时需要。本文提出了一种新的基于邻域灰度分布的红外弱小目标检测方法,并且针对复杂的自然背景,提出了结合其它两种预处理方法的改进措施,扬长避短,有效地降低了背景干扰。

本文研究的复杂场景及目标的情况如下:凝视成像红外自然背景,包括天空(含红外亮云团)和山峦;目标距离成像系统较远,最初在像面上仅占一个或几个像素,信噪比低。

### 1 算法思想

自然背景的变化一般都比较平缓,且背景像素之间的灰度是相关的,因此弱小目标可以看作是平缓背景中的孤立奇异点,对应于背景中的高频分量。预处理的目的是抑制平缓变化的背景部分,从图像中初步提取出高频点,这些点可能是目标也可能是高频噪声或者背景中的高频点。对于整幅图像而言,弱小目标的出现影响甚微;但是对于局部邻域而言,弱小目标的出现对邻域内灰度分布的影响将非常明

\* 收稿日期:2002-04-19  
基金项目:国家部委基金资助项目(411010501)  
作者简介:徐英(1979-),女,硕士生。

显。由此,对红外图像的局部邻域进行统计分析是检测弱小目标的一种思路。

设  $f(i, j)$  为红外图像序列某一帧中的任一点  $(i, j)$  的像素灰度值。在以  $(i, j)$  为中心的  $(2r+1) \times (2r+1)$  邻域内, 设  $p_{ij}(m, n)$  为任意点  $f(i+m, j+n)$  ( $m, n = -r, -r+1, \dots, 0, \dots, r-1, r$ ) 的灰度值占邻域内总灰度值的比率, 即:

$$p_{ij}(m, n) = f(i+m, j+n) / \sum_{m_0=-r}^r \sum_{n_0=-r}^r f(i+m_0, j+n_0) \quad (1)$$

则点  $(i, j)$  邻域内所有点的  $p_{ij}(m, n)$  之和必恒为 1, 即:

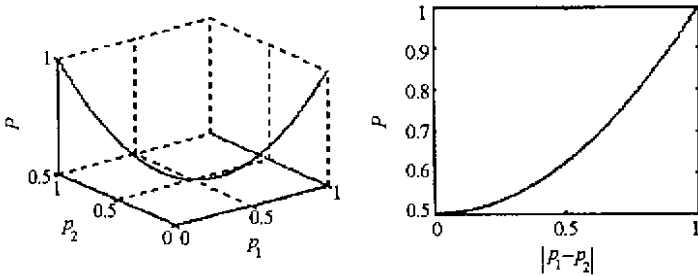
$$\sum_{m=-r}^r \sum_{n=-r}^r p_{ij}(m, n) \equiv 1 \quad (2)$$

考虑一个简单情况, 不妨设邻域内只有两点, 比率分别为  $p_1$  和  $p_2$  ( $p_1 + p_2 = 1$ ) 据不等式原理得:

$$p_1^2 + p_2^2 \geq \frac{1}{2} \quad (3)$$

当且仅当  $p_1 = p_2$  时取得最小值。

令  $P = p_1^2 + p_2^2$ , 则  $P$  和  $p_1, p_2$  的分布关系如图 1(a) 图 1(b) 为  $P$  和  $|p_1 - p_2|$  的关系图, 可以看出, 当且仅当  $p_1 = p_2 = 0.5$ , 即比率均等时,  $P$  取最小值 0.5 当  $|p_1 - p_2|$  越大,  $P$  值越大 ( $P \leq 1$ )



(a)  $P = p_1^2 + p_2^2$

(b)  $P \sim |p_1 - p_2|$

图 1  $P$  与  $p_1$  和  $p_2$  的关系曲线

Fig.1 Mathematical relationship

推广到  $(2r+1) \times (2r+1)$  邻域, 定义  $P(i, j)$  为点  $(i, j)$  邻域内各点灰度值占邻域总灰度值的比率  $p_{ij}(m, n)$  ( $m, n = -r, -r+1, \dots, 0, \dots, r-1, r$ ) 的平方和, 结合 (2) 式则有:

$$\begin{aligned} P(i, j) &= \sum_{m=-r}^r \sum_{n=-r}^r p_{ij}^2(m, n) = \left[ \sum_{m=-r}^r \sum_{n=-r}^r p_{ij}(m, n) \right]^2 - 2 \sum_{\substack{m_1, n_1=-r \\ (m_1, n_1) \neq (m_2, n_2)}}^r \sum_{\substack{m_2, n_2=-r \\ (m_2, n_2) \neq (m_1, n_1)}}^r p_{ij}(m_1, n_1) p_{ij}(m_2, n_2) \\ &= 1 - 2 \sum_{\substack{m_1, n_1=-r \\ (m_1, n_1) \neq (m_2, n_2)}}^r \sum_{\substack{m_2, n_2=-r \\ (m_2, n_2) \neq (m_1, n_1)}}^r p_{ij}(m_1, n_1) p_{ij}(m_2, n_2) \\ &\geq 1 - \sum_{\substack{m_1, n_1=-r \\ (m_1, n_1) \neq (m_2, n_2)}}^r \sum_{\substack{m_2, n_2=-r \\ (m_2, n_2) \neq (m_1, n_1)}}^r [p_{ij}^2(m_1, n_1) + p_{ij}^2(m_2, n_2)] \\ &= 1 - [(2r+1) \times (2r+1) - 1] \sum_{m=-r}^r \sum_{n=-r}^r p_{ij}^2(m, n) \end{aligned} \quad (4)$$

可推得:

$$P(i, j) = \sum_{m=-r}^r \sum_{n=-r}^r p_{ij}^2(m, n) \geq \frac{1}{(2r+1) \times (2r+1)} \quad (5)$$

当且仅当  $p_{ij}(m, n)$  对所有  $(m, n)$  都相等时  $P(i, j)$  取最小值, 此时

$$p_{ij}(m, n) = \frac{1}{(2r+1) \times (2r+1)} \quad (m, n = -r, -r+1, \dots, 0, \dots, r-1, r) \quad (6)$$

即图像中点  $(i, j)$  的邻域内灰度分布均匀。同理,  $P(i, j)$  的大小与邻域内图像灰度的起伏程度紧密相

关。邻域内各点的灰度起伏越大,其比率分布  $p_{ij}(m, n)$  差距越大,比率的平方和  $P(i, j)$  就越大。对整幅图像的各点分别计算  $P$ , 对于平缓变化的背景区域,邻域内的灰度起伏很小,各点的比率近似相等,此时  $P$  值接近最小值;当背景中有目标点出现时,邻域内灰度变化剧烈,各点的比率差距较大,此时的  $P$  值也较大。因此,  $P$  值较大的那些点即可认为是可能的目标点。

## 2 弱小目标检测及改进方法

大多数情况下,红外弱小目标图像的背景灰度起伏很小,因此可将没有目标时的背景图像的统计最大  $P$  值作为阈值,当图像中某个邻域的  $P$  值大于阈值时认为目标出现。考虑到目标点可能很弱或背景中有灰度变化剧烈的部分等情况,阈值的选取可以略小于背景的统计最大  $P$  值。对于只有一个或几个像素的点目标,这种方法可以使目标放大,中心点即为目标点的位置;对于较大的弱小目标,阈值分割后可以保留目标的边缘。由于考虑了局部邻域内的统计特性,提取出的可能目标较之一般的方法更精确,能够有效地去除背景干扰。

基于邻域灰度分布的红外弱小目标检测的算法实现如下:

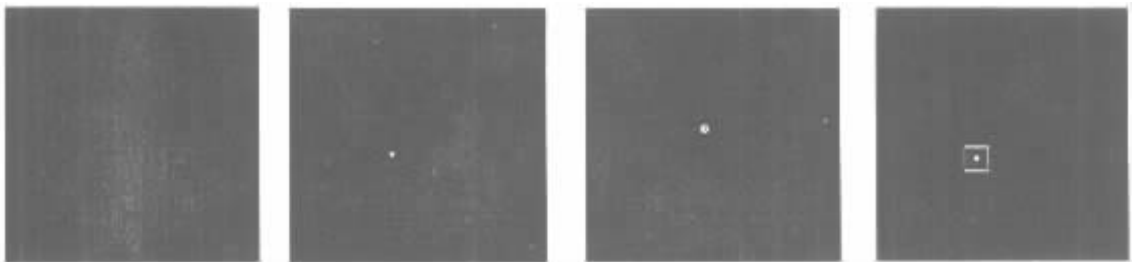
- 计算没有目标时的平缓背景图像中各点的  $P(i, j)$  取统计最大值作为阈值  $T$ 。
- 计算目标图像序列中第  $k$  帧图像中各点的  $P(i, j)$ 。
- 阈值分割:若  $P(i, j) > T$ , 该点为目标点或目标边缘,否则,该点为背景像素,置零。
- 根据目标运动的连续性和关联性,运用邻域判决的原则提取出真正的目标点;对于连续很多帧都没有移动或移动极小的候选点认为是背景高频点;对于在相邻多帧中连续出现并移动的点判断为目标点,在帧间随机出现的点视为噪声。
- 对检测出的目标点进行聚类 and 轮廓分析,标记目标区域。

考虑到静止图像中噪声的特性与目标类似都具有较大的  $P$  值,所不同的是,弱小目标通常都是含有几个像素的小区域,而噪声则是孤立的点。对于强噪声点而言,其  $P$  值往往大于目标区域点。因此,在目标区域强度很弱而噪声严重的情况下,为了提高检测效率,还可以根据试验设定上限阈值,以去除部分强噪声点,减少后续算法的运算量。

此外,当背景中存在很多较大的灰度起伏时,实验的结果会使背景中的高频点和边缘(如山峦和亮云团的边缘)突出。此时,可以结合对平缓边缘不敏感的形态学滤波<sup>[1]</sup>方法去除背景中的边缘,即将阈值分割后的图像与形态学处理后的图像作‘与’运算;当目标速度不小于 1 像素/帧时,还可以结合图像差分法去除静止的边缘和高频点,即将阈值分割后的图像进行帧间差分仅保留变化的部分。这样虽然预处理的时间稍有增加,但是经过预处理后的图像中候选目标点数却大幅度减少,可以极大地减少邻域判决算法的运算量,从整体上提高目标检测的效率,能够满足实时需要。

## 3 实验结果

对于背景灰度起伏平缓的弱小目标检测,实验通过在平缓背景中嵌入模拟点目标及高斯白噪声进行计算机仿真,图像大小  $256 \times 256$ , 目标速度 1 像素/帧,图 2(b)和图 2(c)分别为目标大小为  $1 \times 1$  和



(a)原图

(b)  $1 \times 1$  目标

(c)  $5 \times 5$  目标

图 3 目标检测结果

图 2 背景平缓的弱小目标检测预处理结果

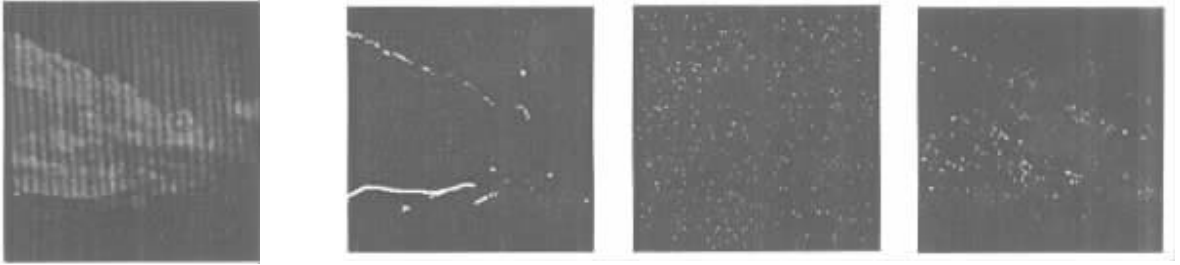
Fig. 3 Result of targets detection in smooth background

Fig. 2 Result of preprocessing smooth background

in smooth background

$\times 5$  时的预处理结果,由图 2 可以看出经预处理后的候选目标已经很少,图 3 为经判决和轮廓分析后的目标检测结果。

对于背景灰度变化复杂的弱小目标检测,实验采用嵌入模拟点目标及高斯白噪声的自然背景图像序列(包含山峦和亮云团),信噪比为 1.29,目标速度 1 像素/帧,图 4(b)、图 4(c)和图 4(d)分别为应用本文方法、差分法和形态学方法的预处理结果。可以看出,本文方法去除了大部分噪声,却不能很好地去除背景中的强边缘干扰,差分方法保留了相邻两帧中几乎所有的噪声,形态学方法对平缓的边缘不敏感,但对噪声和结构中的毛刺不能很好地去除。因此,将它们结合运用将会极大地改善预处理的效果。



(a)原图

(b)本文方法

(c)差分法

(d)形态学滤波

图 4 背景变化复杂的弱小目标检测预处理结果

Fig.4 Result of preprocessing in complex background

图 5 为本文方法和差分法结合的预处理结果,图 6 为本文方法与形态学方法结合的预处理结果,可以发现,此时剩下的候选目标已经很少,图 7 为经过邻域判决和轮廓分析后的目标检测结果,自适应窗口标记目标位置和面积。

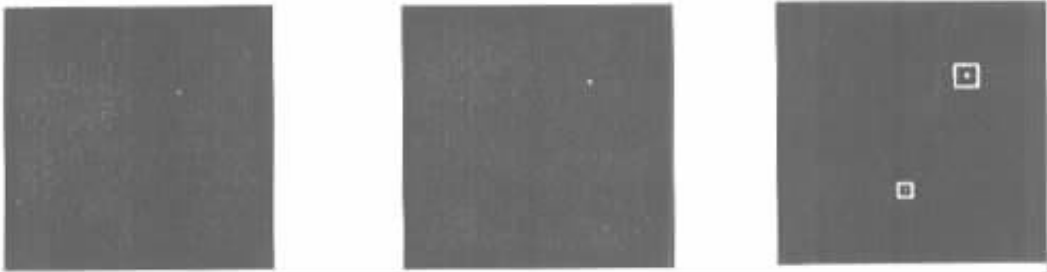


图 5 本文方法与差分法结合的预处理结果

图 6 本文方法与形态学方法结合的预处理结果

图 7 目标检测结果

Fig.5 Result of preprocessing combined our method with difference

Fig.6 Result of preprocessing combined our method with morphology

Fig.7 Result of targets detection in complex background

## 4 结论

由实验可以看出,对平缓背景中的红外弱小目标检测,经本文方法预处理后提取出的候选目标点少且效率高,优于很多其他算法,在复杂背景下,尤其是背景边缘明显和含大量静止高频点的情况下,将本文方法同对静止背景和平缓边缘不敏感的差分和形态学方法结合,扬长避短,虽然预处理的时间有所增加,但是由于提取出的候选目标点大幅度减少,节省了后续算法的运算量,使得整体的检测效率提高。实验表明,该方法不受目标尺寸的限制,适用于实时和多目标的检测。

## 参考文献:

- [1] 雷选华,王江安等.海空背景下红外点目标检测算法[J].激光与红外,2001,31(1):32-34.
- [2] 王永仲.现代军用光学技术[M].北京:科学出版社,2002.
- [3] 阮秋琦.数字图像处理学[M].北京:电子工业出版社,2001.



