

## 天空背景下红外目标的检测

王保曾, 万晓冬, 付琳  
(南京航空航天大学, 南京 210016)

**摘要:** 在噪声和云层背景的干扰下,为了有效地从红外图像序列中检测到低信噪比的运动小目标,采用形态学 Tophat 滤波滤除低频背景部分以增强目标;并通过混合高斯背景模型进行背景估计和自适应背景更新,将前景部分和背景部分差分。实验表明,Tophat 滤波和混合高斯模型算法相结合能够准确实现天空背景下红外目标的检测。

**关键词:** 红外目标; 目标检测; 天空背景; Tophat; 混合高斯背景模型

**中图分类号:** V271.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2015)06-0044-03

## Infrared Target Detection Under Sky Background

WANG Bao-zeng, WAN Xiao-dong, FU Lin  
(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to detect small moving targets effectively from the low SNR infrared image sequence under the interference of cloud background and noise, morphology Tophat filter was used to enhance the target by filtering out the low frequency background. Then, the Gaussian mixture background model was used for background estimation and adaptive background updating, to separate the foreground part from the background. Experimental results showed that: The Tophat filtering used together with Gaussian mixture background model can detect infrared targets accurately from the dynamic cloud background.

**Key words:** infrared target; target detection; sky background; Tophat; Gaussian mixture background model

### 0 引言

从20世纪70年代开始,红外成像技术应用于军事领域,尤其是红外成像制导和目标侦察等方面。红外图像的特点是噪声的复杂性和背景的复杂性。噪声的主要来源包括探测器本身的噪声和扫描系统的扫描噪声;背景的复杂性是由自然界事物的复杂性造成的,尤其是动态背景。在实际应用中,远距离的成像使得目标的成像信噪比较低,这样的红外目标成像没有足够的形状信息、颜色信息可加以利用。针对不同的背景变化趋势、不同的信噪比,适用的最佳图像处理算法也不一样,国内外学者提出了利用三帧差分法和高斯结合算法的目标检测算法<sup>[1]</sup>,采用分块高斯建模的检测算法等<sup>[2]</sup>。

### 1 形态学处理

为有效地从红外序列图像中检测到低信噪比的运

动小目标,针对红外系统要求算法检测概率高、虚警概率小、实时性好。空域上通过形态学方法增强目标<sup>[3-4]</sup>,时域上通过混合高斯模型分离前景与背景图像。

数学形态学是由一组形态学的代数运算符组成的,基于探测的思想,可直接携带知识(形态、大小、甚至加入灰度和色度信息)来探测、研究图像的结构特点<sup>[5-6]</sup>。

开运算为

$$f \cdot g = (f \ominus g) \oplus g \quad (1)$$

闭运算为

$$f \circ g = (f \oplus g) \ominus g \quad (2)$$

Tophat 为

$$\text{Hat}(f) = f - (f \circ g) \quad (3)$$

式中: $f \oplus g$  为膨胀; $f \ominus g$  为腐蚀。通过 Tophat 滤除图像中低频成分,保留包含目标的高频部分,从图 1b 和图 1c 对比可以看出,使用  $3 \times 3$  的结构元素对背景滤除效果好于  $5 \times 5$  的结构元素,但是结构元素过小会滤除高频目标,而图 1d 中  $7 \times 7$  的结构元素对目标保留完整性效果最好。对低频背景的滤除和目标的保留与结构元素大小有直接关系。

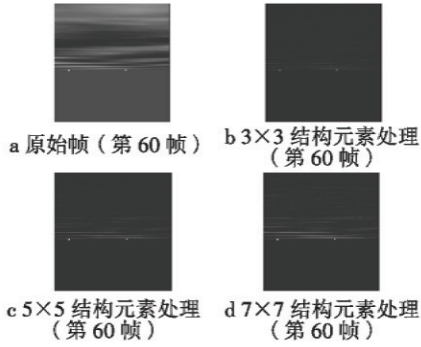


图1 不同大小结构元素处理效果对比

Fig. 1 Processing effect of different size structures

## 2 混合高斯背景建模

假设背景中的每个像素点的取值都服从独立随机过程,对于图像的每个像素点可以用高斯分布来描述<sup>[7]</sup>。 $t$ 时刻某像素点的高斯概率密度函数为

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K w_{i,t} \cdot \eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (4)$$

式中: $w_{i,t}$ 为第*i*个高斯模型在*t*时刻的权值,满足 $\sum_{i=1}^K w_{i,t} = 1$ ;  $\eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t})$ 为当前时刻第*i*个高斯分布, $\mu_{i,t}$ 为均值, $\Sigma_{i,t}$ 为协方差。对灰度图像取 $n = 1$ ;处理彩色图像时,为了提高算法的实时性,假定图像中各像素点的RGB三颜色通道相互独立,具有相同的方差,协方差矩阵取值为 $\Sigma_{i,t} = I \cdot \sigma_{i,t}^2$ <sup>[8]</sup>。

### 2.1 初始化模型

将第一幅图像每个像素点的值作为均值 $\mu$ ,给定方差 $\sigma_{\text{init}}$ 和 $\omega_{\text{init}}$ 权值,将其作为第一个高斯混合背景模型,其中,方差 $\sigma_{\text{init}}$ 应较大,权值 $\omega_{\text{init}}$ 应较小<sup>[9]</sup>。

### 2.2 混合高斯模型的参数更新

将当前帧各点的像素值 $I(x, y)$ 与*K*个高斯分布进行匹配,若满足式(5),则高斯分布匹配,否则为不匹配。

$$|I_t - \mu_{i,t-1}| < D \cdot \sigma_{i,t-1} \quad (5)$$

式中, $D$ 为置信参数,一般取2.5。

1) 如果匹配成功,则对与之相匹配的高斯分布的参数进行更新,即

$$\omega_{i,t} = (1 - \alpha) \cdot \omega_{i,t-1} + \alpha \quad (6)$$

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho) \cdot \mu_{i,t-1} + \rho \cdot X_t \quad (7)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho) \cdot \sigma_{i,t-1}^2 + \rho (X_t - \mu_{i,t-1})^T (X_t - \mu_{i,t-1}) \quad (8)$$

式中: $\rho$ 为参数学习率, $\rho \approx \alpha / \omega_{i,t-1}$ ;  $\alpha$ 为学习率。

2) 如果匹配不成功,则建立一个新的高斯模型,去掉最不可能的高斯模型分布。其他高斯分布均值和方差不变,权值更新为

$$\omega_{i,t-1} = (1 - \alpha) \cdot \omega_{i,t-1} \quad (9)$$

## 2.3 背景模型生成及运动目标提取

每个像素建立混合高斯模型时,只有一个或者几个高斯分布代表背景。背景出现的时间一般较长,权重较大,所以高斯混合模型中代表背景的高斯分布权重较大。将高斯分布按 $\omega/\sigma$ 的值降序排列,取前*B*个分布,下一步就是要确定混合高斯模型中哪些高斯分布能最佳描述背景过程<sup>[7]</sup>。

$$B = \text{argmin}_b \left( \sum_K^b \omega_k > T \right) \quad (10)$$

式中, $T$ 表示出现在像素范围内属于背景像素的概率(一般取0.8)。将当前帧的像素值 $I(x, y)$ 与已经选取的背景分别进行匹配。如果 $I(x, y)$ 与背景模型不匹配,则判定此像素点为前景点,否则为背景点。

## 3 混合高斯背景模型的改进

传统混合高斯模型中高斯模型个数*K*的取值固定,由于混合高斯模型中长时间与场景匹配的高斯成分的权重会越来越大,那些权重逐渐变小的高斯成分会逐渐落入表示前景的部分<sup>[8,10]</sup>。这些多余的高斯成分,既影响了模型的学习收敛速度,又浪费系统的计算资源,应该在背景模型更新时删除。判断高斯成分是否多余的条件为

$$\omega_{i,t} < \omega_{\text{init}} \quad (11)$$

$$\omega_{i,t} / \sigma_{i,t} < \omega_{\text{init}} / \sigma_{\text{init}} \quad (12)$$

将传统混合高斯算法和改进高斯算法实验对比,初始化学率 $\alpha = 0.005$ ,初始化方差 $\sigma_{\text{init}} = 15$ ,初始化权值 $\omega_{\text{init}} = 0.1$ 。图像分辨率为 $512 \times 512$ ,处理器为Pentium 2.6 GHz,内存2G,实验效果对比如表1和图2所示。

表1 传统算法和改进算法对比

Table 1 Comparison of traditional algorithm with the improved algorithm

	执行效果	执行时间/ms
传统高斯( $K=3$ )	一般	60.32
传统高斯( $K=5$ )	较好	106.47
本文改进高斯( $K=3$ )	好	31.23
本文改进高斯( $K=5$ )	好	58.45

由表1可知,混合高斯算法随着高斯数*K*的增加执行时间增加明显,本文改进算法在执行时间上有明显提高。对比图2a和图2c可以看出,图2a中存在背景干扰,检测效果一般。对比图2b和图2c可以看出,增大*K*值能达到较好的检测效果,但是运行时间增加,不利于实时性检测。图2c和图2d为本文改进算法,当 $K=3$ 时可以看出背景和前景差分明,能准确检测出目标。

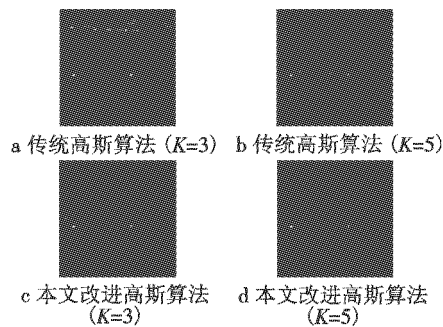


图 2 传统高斯算法和本文改进算法效果对比

Fig.2 Results of traditional algorithm and the improved algorithm

#### 4 实验结果与分析

选择合理的 Tophat 结构元素,改进混合高斯算法中高斯数的自适应,从实验效果来看(如图 3 所示),可以在复杂云层背景下准确地检测出红外小目标。

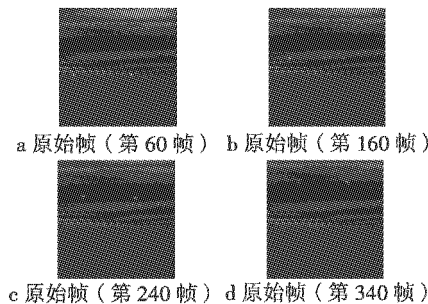


图 3 红外目标检测标记

Fig.3 Infrared target mark

#### 5 结束语

实验程序代码均基于 OpenCV,利用 Tophat 滤波滤除低频背景增强目标,降低图像复杂度,Tophat 滤波的结构元素大于等于目标大小时,对目标保留最好;混合高斯模型适合动态复杂背景下的目标检测,且实时性好于光流法,主要过程为高斯建模过程,改进高斯建模中高斯数的自适应,提高了算法实时性,为红外系统目标跟踪奠定了基础。

#### 参考文献

[1] 魏建猛,陈松,庞首颜.改进的混合高斯模型视频移动目标检测算法[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2013,32(2):365-368.(WEI J M, CHEN S, PANG S Y. Moving objects detection algorithm in video[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2013, 32(2):365-368.)

[2] 陈明生,梁光明,孙即祥.利用时空背景模型的快速运

动目标检测方法[J].中国图象图形学报,2011,16(6):1002-1007.(CHEN M S, LIANG G M, SUN J X. Fast moving object detection method using temporal-spatial background model[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(6):1002-1007.)

[3] NONAKA Y, SHIMADA A, NAGAHARA H. Evaluation report of integrated background modeling based on spatio-temporal features[C]//Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Providence, RI:IEEE, 2012:9-14.

[4] LIU P, LEE B. Fast background modeling object detection PCA and temporal difference[C]//Proceedings of IEEE National Conference on Advance in Engineering, Science Management, Nagapattinam, Tamil Nadu: IEEE, 2012:234-238.

[5] 张文超,王岩飞,陈贺新.基于 Tophat 变换的复杂背景下运动点目标识别算法[J].中国图象图形学报,2007,12(5):871-874.(ZHANG W C, WANG Y F, CHEN H X. Moving point target detection in complex background based on Tophat transform[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(5):871-874.)

[6] 叶斌,彭嘉雄.基于形态学 Top-Hat 算子的小目标检测方法[J].中国图象图形学报,2002,7(7):638-642.(YE B, PENG J X. Small target detection method based on morphology Top-Hat operator[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(7):638-642.)

[7] 王卫华,何艳,陈曾平.光电图像序列运动弱目标实时检测算法[J].光电工程,2006,33(4):14-18.(WANG W H, HE Y, CHEN Z P. Real-time algorithm for small moving target detection in photo electric image sequences[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(4):14-18.)

[8] ZIVKOVIC Z. Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction[C]//Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, IEEE, 2004. doi:10.1109/ICPR.2004.1333992.

[9] 焦波,李国辉,涂丹,等.一种用于运动目标检测的快速收敛混合高斯模型[J].中国图象图形学报,2008,13(11):2140-2143.(JIAO B, LI G H, TU D, et al. A fast convergent Gaussian mixture model for moving object detection[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(11):2140-2143.)

[10] LEE D S. Effective Gaussian mixture learning for video background subtracttion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(5):827-832.