

## 利用边界运动显著性的红外运动目标分割方法

闵超波 张俊举 常本康 孙斌 李英杰 刘磊  
(南京理工大学电光学院 南京 210094)

**摘要:** 针对传统算法无法对短暂静止的红外运动目标进行准确有效地分割, 该文提出了一种利用边界运动特征的红外运动目标分割方法。首先, 定义了一种新指标——边界运动显著性, 该指标利用边界点时空域特性, 可以准确反映图像中边界点的运动特征, 显著性越高, 则该边界点属于运动目标的可能性越大。然后, 通过 Otsu 阈值法提取出显著性高的边界点, 并利用历史数据对其进行修正, 修正之后的运动边界点作为运动目标种子。最后, 通过一种“逐层生长”的区域生长方法, 在运动目标种子上分割出完整的运动目标掩膜。该方法在多组红外图像序列中进行测试与对比, 结果证明该方法运动目标分割效果良好, 目标背景的错分率低, 可以准确检测并分割出短暂静止的运动目标。

**关键词:** 运动检测; 红外视频; 视频分割; 边界特征

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2013)10-2384-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2013.00417

## A Method for Segmentation of Moving Object in Infrared Videos Based on Motion Saliency of Edge

Min Chao-bo Zhang Jun-ju Chang Ben-kang Sun Bin Li Ying-jie Liu Lei  
(School of Electronic Engineering and Optic-electronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** A novel method is proposed for segmentation of moving object using motion feature of edge in infrared videos. At first, a new index — Motion Saliency of Edge (MSE) is defined. MSE can reflect the motion feature of edge points of an image based on the spatial-temporal characteristic. The higher the MSE of an edge point is, the more likely it belongs to a moving object. The edge point with a high MSE value is extracted by using Otsu's thresholding. The results obtained by Otsu are updated by using historical data. The edge points which are extracted and updated can be considered to be the seed of moving objects. At last, the segmented masks of moving objects are grown from the seeds by using a region growing method of "layer-by-layer". The proposed method is successfully tested over three infrared image sequences and compared with the other two methods. The experiment results demonstrate that the proposed method has better performance of moving object segmentation with less effect of object-background misclassification in infrared videos.

**Key words:** Motion detection; Infrared video; Video segmentation; Edge feature

### 1 引言

运动目标检测是智能视频系统中各种智能分析处理的基础<sup>[1]</sup>。由于红外热像仪对热辐射目标敏感, 能穿透雾霾烟雨识别可见光无法发现的目标<sup>[2]</sup>, 因此在许多视频应用中扮演重要角色<sup>[3]</sup>, 例如自动红外识别和红外目标跟踪系统等。

与此同时, 也出现了很多针对红外图像运动目标分割的方法。最常用的方法有帧差法<sup>[4]</sup>、背景差法<sup>[5]</sup>和光流法<sup>[6]</sup>。帧差法虽然实时性好, 但检测出来的运动目标掩膜不完整; 背景差法易受噪声干扰;

光流法效果不错, 但计算量大, 且需满足运动物体表面亮度不变的假设<sup>[7]</sup>。还有一些基于阈值的分割方法, 例如1维Otsu<sup>[8]</sup>、2维熵<sup>[9]</sup>等, 基于阈值的分割方法在图像灰度直方图为“单峰双谷”形状时十分有效, 但在红外图像中很难出现这种情况<sup>[10]</sup>。高斯混合建模方法<sup>[11]</sup>在每个像素位置使用多个高斯模型进行建模, 并且利用时间序列上的像素值不断进行模型参数更新, 以期克服背景和光照变化等因素给运动目标检测带来的不利影响。但是, 这些传统算法无法对图像序列中处于短暂静止状态下和低速的运动目标有较好的检测效果, 因此已经无法满足实际的需要。

针对动态背景的运动前景检测, Lim 等人<sup>[12]</sup>提出了一种基于时空域模型结合的检测方法。该方法

2013-04-01 收到, 2013-06-13 改回

国家自然科学基金(61101195)资助课题

\*通信作者: 张俊举 zj\_w1231@163.com

利用时空域模型对前景和背景进行建模，然后运用能量最小化技术得到模型的似然比映射图，进而得到运动目标分割结果。但是，该方法也无法对处于短暂静止的运动目标和低速目标进行鲁棒地检测分割。文献[13]提出了一种基于马尔卡夫随机场(MRF)变化信息的时空域运动目标分割方法，利用先前帧的 MRF 模型对当前帧进行重新估计，然后利用估计帧进行时域分割，并利用先前帧对分割结果进行补偿和修正。由于该方法其本质与帧差法类似，因此受噪声影响比较大。且 MRF 建模过程计算量很大，不适合实际运用。

本文提出了一种利用边界运动特征的红外运动目标分割方法。首先，定义了一种新指标——边界运动显著性，该指标利用边界点时空域特性，可以准确反映图像中边界点的运动特征。由于 Sobel 算子边缘检测效果好，且运算复杂度小<sup>[14]</sup>，我们选用 Sobel 算子对一帧图像进行边缘检测，再计算每个边界点的运动显著性，将图像序列中的时空域信息融合在一幅边界运动显著性映射图中，显著性越高，则该边界点属于运动目标的可能性越大。然后，通过 Otsu 阈值法提取出显著性高的边界点，并利用历史数据对其进行修正，修正之后的运动边界点作为运动目标种子。最后，通过一种“逐层生长”的区域生长方法，在运动目标种子上分割出完整的运动目标掩膜。本文方法在多组红外图像序列中进行测试与对比，结果证明该方法运动目标分割效果良好，目标背景的错分率低，可以准确检测并分割出短暂静止和低速的运动目标，且结构简单，计算量较小。

## 2 边界运动显著性

在红外图像中，图像的边界是反映图像特征的重要信息，其中包含了静态物体的边界，也包含了运动目标的边界。根据运动目标检测的需求，若从图像的边界中提取出运动目标的边界，那么就可以根据运动目标边界来进行运动目标的检测和分割。因此，我们提出一种反映边界运动特征的指标——边界运动显著性。

首先，我们利用边界检测算子 Sobel 算子<sup>[15]</sup>得到第  $t$  帧红外图像  $I_t$  的边界映射图  $E_t$ ，边界点集为  $L = \{z_k : z_k \in R^2\}_{k=1}^N$ ，其中  $z_k$  表示一个边界点的 2 维位置坐标， $N$  为边界点个数。根据边界点的空间邻域和时间邻域模型，我们可以定义边界点的运动显著性  $S(z_k)$ ：

$$S(z_k) = \frac{1}{N_k} \sum_{q \in V_k} r(q) \cdot |I_t(z_k + q) - I_{t-d}(z_k + q)| \quad (1)$$

其中  $V_k$  为以  $z_k$  为中心、 $R$  为半径的圆形邻域， $q$  为

在  $V_k$  区域中的径向向量， $N_k$  为  $V_k$  区域中像素点的个数， $I_{t-d}$  为第  $t-d$  帧的红外图像， $r(q)$  为权重函数，定义为

$$r(q) = \exp \left\{ -\frac{\|q\|^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (2)$$

权重函数也称为支持度函数，反映了邻域  $V_k$  中不同位置像素点对  $z_k$  边界点运动显著性的贡献程度。图 1 给出了边界点空间邻域  $V_k$  和时间邻域的模型，其中颜色饱和度代表权重函数值的分布，颜色越深，权重函数值越大。

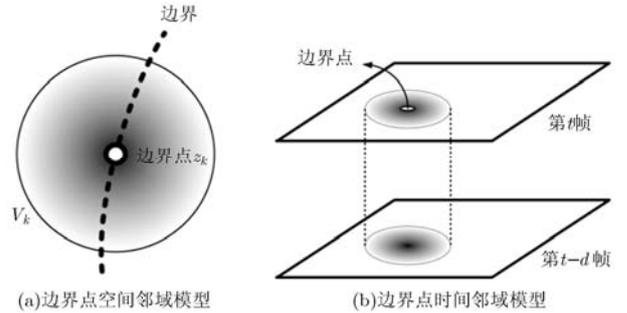


图 1 边界点空间邻域和时间邻域模型

利用式(1)，我们可以得到  $E_t$  中每个边界点的运动显著性值，并将  $E_t$  中每个边界点的值替换为其相应的运动显著性值，就得到了红外图像  $I_t$  的边界运动显著性映射图  $M_t$ 。边界运动显著性映射图是对空域的边界图像赋予时域信息的结果，既包含空域特征，又包含时域特征。边界点的运动显著性越高，说明该边界点邻域内的像素在图像序列中有明显的变化，因此越有可能是运动目标的边界；显著性越低，则越有可能是静态物体的边界。因此，我们采取 Otsu 自适应阈值分割法，对边界运动显著性映射图  $M_t$  进行分割，提取出显著性较高的边界点作为运动目标的边界点，分割出的运动目标边界映射图记为  $M_t^n$ ，其中 1 代表改点是运动目标边界点，0 代表否。具体方法如下：设  $t$  为分割阈值，运动显著性高于  $t$  的边界点占图像比例为  $W_0$ ，平均值为  $U_0$ ；低于  $t$  的边界点占图像比例为  $W_1$ ，平均值为  $U_1$ ，总的显著性平均值为  $u$ ，从显著性的最小值到最大值遍历  $t$ ，当  $v = W_0 \times (U_0 - u)^2 + W_1 \times (U_1 - u)^2$  最大时，对应的  $t$  即为最佳阈值，依次阈值来分割  $M_t$ ，就可以得到运动目标边界映射图  $M_t^n$ 。

## 3 利用历史数据的修正

当场景中运动目标短暂停止或者转身时，传统的运动检测算法无法准确地检测运动目标。运动目标处于短暂静止状态时，其边界也同样处于静止，

其运动显著性很低,无法将其提取,可能会出现错分现象。假设图像中在短时间内运动目标灰度不变,那么在短暂静止过程中,其运动目标静止边界的灰度也同样不变。因此,在上一帧中短暂静止的运动目标边界点,若与当前帧相比满足灰度不变特性,也可以认定其为当前帧图像中运动目标的边界点。在本文中,我们利用历史数据对  $M_t^n$  进行修正,以改善运动目标检测效果。定义  $H$  为

$$H = \{u_{i,j} \mid 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\} \quad (3)$$

其中  $H$  为与红外图像相同大小的矩阵,  $m$  与  $n$  分别表示图像的行数和列数,  $u_{i,j}$  表示在位置  $(i, j)$  的元素的值,  $(i, j)$  表示第  $i$  行, 第  $j$  列。如果一个点的  $u_{i,j} = 1$ , 说明该点在前一帧中为运动目标边界点; 否则, 则说明在前一帧中不是运动目标边界点。实际上,  $H$  为前一帧图像中运动目标的边界映射图。然后, 我们按以下准则对  $M_t^n$  进行修正: 若一个点在前一帧中是运动目标边界点, 且该点在前一帧中的灰度值与在当前帧中相同, 则认为该点也是当前帧运动目标边界, 在  $M_t^n$  中将该点的值标记为 1。经过历史数据修正过的  $M_t^n$  代表最终的运动目标边界映射图, 记为  $S_t$ 。

## 4 区域生长

得到运动目标边界映射图  $S_t$ , 意味着检测到了运动目标并且得到了运动目标的大体轮廓。如何根据运动目标边界得到完整的运动目标区域, 也是本文的重点之一。我们将运动目标边界映射图  $S_t$  作为种子, 利用一种“逐层生长”的区域生长方法, 得到完整的运动目标分割掩膜。本文算法以每个种子点为中心的 8 邻域为计算区域, 根据 8 邻域的方差和生长阈值来确定新的生长种子点, 该生长过程不断进行直到再也没有新的生长种子点出现。设生长阈值为  $T$ , 算法步骤如表 1 所示。

当循环结束时, 所得到的  $S_t$  则为图像场景中运动目标最终的分割掩膜。“逐层生长”的区域生长方法与传统区域生长方法相比, 更加精确地控制了种子生长的方向与范围, 并根据每层生长的情况实时调整生长阈值, 使得最后的分割结果更加精确, 有效避免出现明显的过生长或欠生长现象。

## 5 实验结果与讨论

### 5.1 实验结果分析

在本文中, 我们利用 3 组红外图像序列对提出的方法进行测试, 并与其它两种算法进行比较(如图 2~图 4 所示)。其它两种算法分别为 Lim 的运动目标时空域分割方法<sup>[12]</sup>和基于 MRF 变化信息的运动目标分割方法<sup>[13]</sup>。这两种算法都是公认效果较好的方法。

表 1 “逐层生长”的区域生长方法

```

do
  令  $Q = S_t$ ;
  for  $x = R: m - R$ 
    for  $y = R: n - R$ 
      if  $S_t(x, y) \neq 1$ 
        令  $A$  为  $S_t$  中以  $S_t(x, y)$  为中心的 8 邻域矩阵;
        令  $B$  为  $I_t$  中以  $I_t(x, y)$  为中心的 8 邻域矩阵;
        令  $N_A$  表示  $A$  中标记为 1 的元素的个数;
        if  $1 \leq N_A \leq 7$ 
          for  $ii = 1: 3$ 
            for  $jj = 1: 3$ 
               $C(ii, jj) = A(ii, jj) \cdot B(ii, jj)$ ;
               $D(ii, jj) = |I_t(x, y) - C(ii, jj)|$ ;
            end
          end
          令  $D_m$  表示  $\{D(ii, jj)\}$  中最小值;
          计算矩阵  $C$  的平均值, 记为  $\text{mean}(C)$ ;
          令  $D_z = |I_t(x, y) - \text{mean}(C)|$ ;
          计算矩阵  $C$  的标准差, 记为  $\text{std}(C)$ ;
          if  $D_m \leq T$  and  $D_z \leq \text{std}(C)$ 
             $Q(x, y) = 1$ ;
          end
        end
      end
    end
  end
end
 $S_t = S_t \cup Q$ ;
While  $S_t$  中标记为 1 的元素个数不断增加

```

为了客观定量地衡量各种算法的性能, 我们利用错分率(ME)对算法结果进行客观评价。ME 定义为

$$ME = 1 - \frac{|B_o \cap B_r| + |F_o \cap F_r|}{|B_o| + |F_o|} \quad (4)$$

其中  $B_o$  和  $F_o$  分别表示实际背景与实际目标,  $B_r$  和  $F_r$  分别表示分割背景和分割目标。ME 是一种需要先验知识的分割评价准则, 表示的是错误分割的像素的比例, 显然 ME 越小, 分割效果越好。表 2 显示了图 2~图 4 各算法分割结果的 ME 详细对比情况, 表 2 分别显示了 3 种算法对不同图像序列处理之后所得分割掩膜的平均 ME, 共有 600 帧图像参与测试。

从图 2 中可以看出, Lim 方法的分割掩膜存在较多的空洞, 完整度不高; 相比之下, MRF 方法的分割掩膜完整度要有所改善, 但同样存在较多空洞和欠分割的地方; 本文方法的分割结果比较完整准确, 且内部没有空洞。在图 3 中, Lim 方法和 MRF

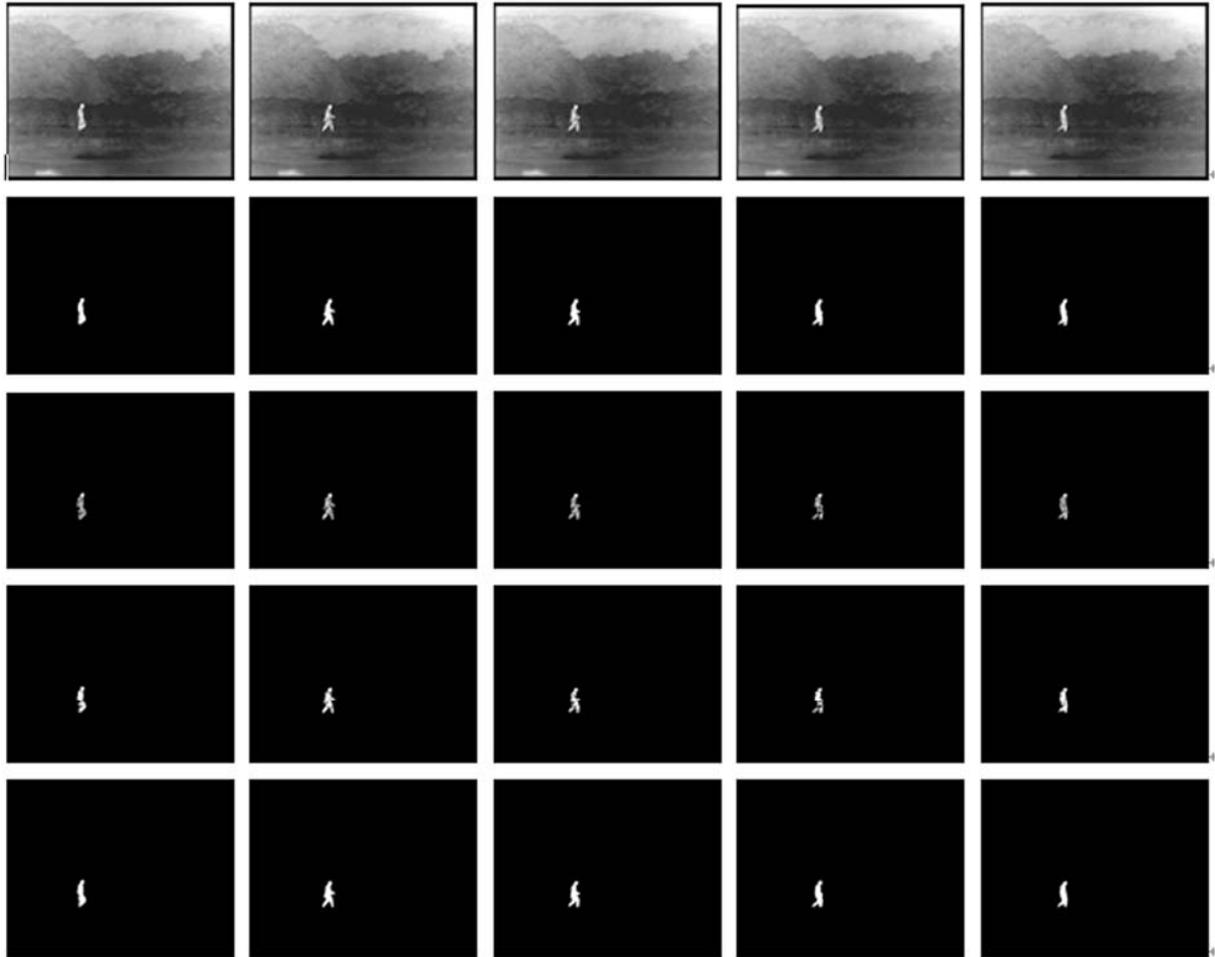


图 2 实验 1：第 1 行为原图；第 2 行为人工分割的真实运动目标；第 3 行为 Lim 方法结果；第 4 行为 MRF 方法结果；第 5 行为本文方法结果

表 2 ME 对比详细结果(%)

实验	帧号	Lim 方法	基于 MRF 的方法	本文方法
实验 1	76	1.0234	1.1963	<b>0.0123</b>
	77	1.0443	0.9812	<b>0.0058</b>
	78	1.0078	1.2041	<b>0.0054</b>
	80	1.0469	1.2104	<b>0.0197</b>
	81	1.0612	1.1904	<b>0.0096</b>
实验 2	255	0.2578	0.3997	<b>0.0225</b>
	265	0.2080	0.3581	<b>0.0107</b>
	275	0.2705	0.2943	<b>0.0049</b>
	285	0.2529	0.3359	<b>0.0127</b>
	295	0.2485	0.3255	<b>0.0119</b>
实验 3	149	3.6523	1.3320	<b>0.0119</b>
	150	3.8034	1.4180	<b>0.0049</b>
	151	5.4987	1.3802	<b>0.0188</b>
	152	2.6250	1.4010	<b>0.0095</b>
	153	2.5911	1.3672	<b>0.0176</b>

方法的分割结果仍旧存在分割目标不完整、分割掩膜有空洞的情况，有些地方还出现了过分割的问题，而本文方法的结果比较准确、分割掩膜比较平滑完整。图 4 是一种较为特殊的情况。在这两帧图像中，运动目标正处于转身的过程，因此，目标身体有一部分处于短暂静止的状态。所以，如图 4 所示，Lim 的方法无法检测运动目标中处于短暂静止状态下的部分；MRF 方法由于使用了历史数据对结果进行修正，可以检测出部分处在短暂静止状态下的运动目标，但分割结果不完整，出现了比较严重的欠分割现象。本文方法结果不仅可以准确地检测出短暂静止下的运动目标，而且相比之下，分割掩膜更加完整精确。

综上所述，从表 3 和图 2~图 4 中可以看出，无论场景中是单目标、多目标还是短暂静止运动目标，本文所提出的算法在运动目标分割掩膜的完整性、运动目标的准确性上都要优于其它两种算法。

### 5.2 讨论

由于算法运行时间与运行的环境配置有很大关

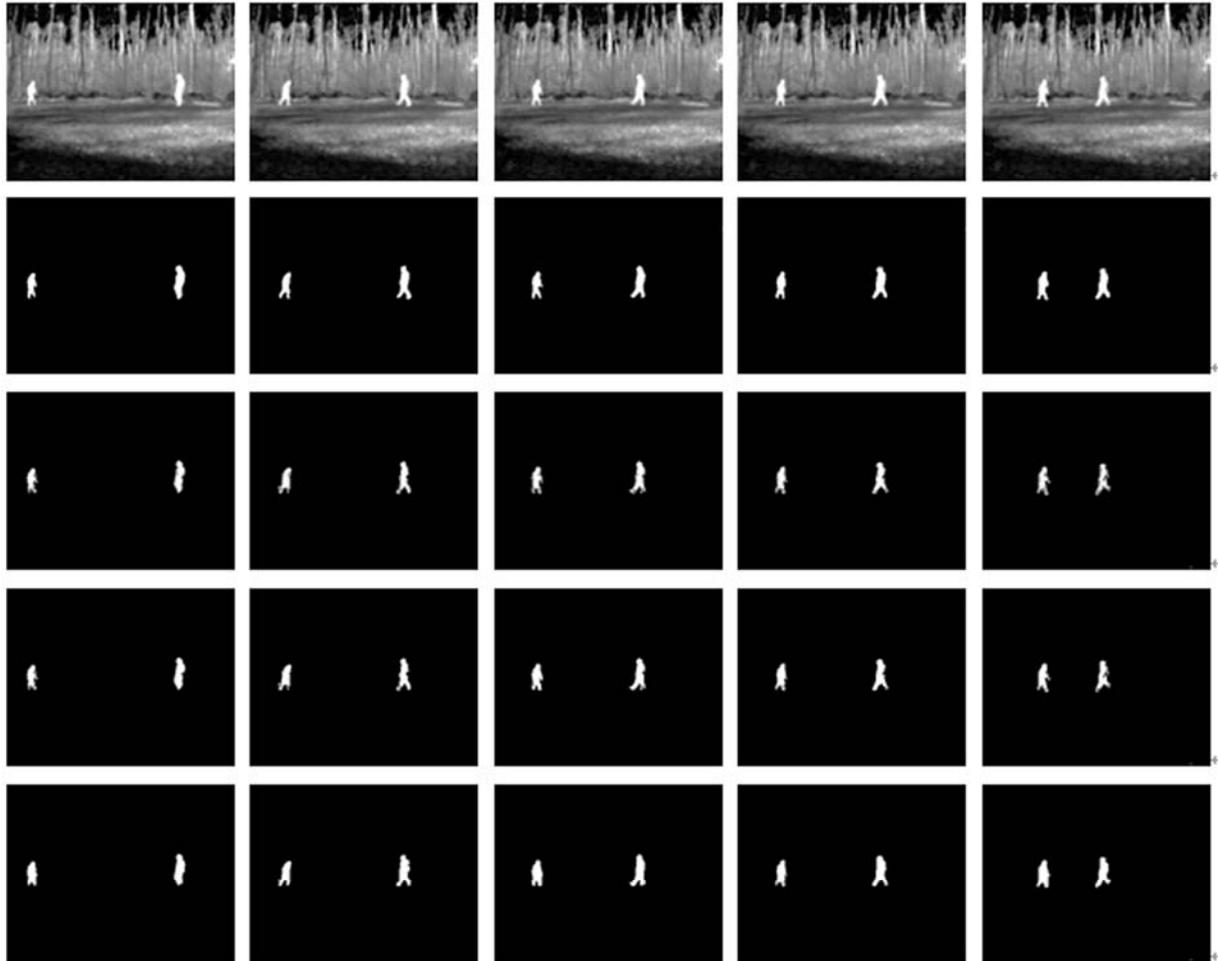


图3 实验2: 第1行为原图; 第2行为人工分割的真实运动目标; 第3行为Lim方法结果;  
第4行为MRF方法结果; 第5行为本文方法结果

表3 各算法的平均ME(%)

	Lim	MRF	本文方法
实验1	1.7791	1.1524	<b>0.0078</b>
实验2	0.2233	0.2805	<b>0.0104</b>
实验3	2.6781	1.5176	<b>0.0093</b>

表4 各算法一帧图像的平均计算时间(s)

	Lim	MRF	本文方法
实验1	161.76	478.59	<b>6.13</b>
实验2	135.10	309.27	<b>3.08</b>
实验3	132.41	298.13	<b>3.12</b>

系, 因此单纯考虑算法运行时间不客观。Lim的方法需要利用似然比模型对每个像素进行不断地迭代得到最小能量的分割图像, 迭代过程需要很长时间; MRF的方法需要利用MRF模型对图像每个像素利用模拟退火迭代算法重新标记, 迭代过程共有 $255 \times m \times n$ 种可能性, 其运算量要大于Lim的方法。而本文提出算法只需对静态图像中边界点进行处理, 然后在运动边界的范围内进行区域生长, 所涉及到的可能性远小于 $m \times n$ 种, 因此, 其运算量远小于其它两种算法。本文试验计算机配置为: 英特尔酷睿 i3-2.01 GHz 处理器, 4 G 内存。各算法对一帧图像的平均计算时间如表4所示。

另外, 在本文实验中我们选取以一组参数:  $R = 5$ ,  $\sigma = 0.35$ ,  $T = 10$ 。在进行所有实验中都没有进行过参数的调整。

## 6 结论

本文提出了一种利用边界运动特征的红外运动目标分割方法。通过计算图像边界的边界运动显著性, 使得原本仅含有空域信息的边界图像拥有了时域的特征, 并利用历史数据进行修正。然后利用“逐层生长”的区域生长方法, 在边界运动显著性较高的边界点上生长出完整的运动目标掩膜。最后, 本文方法在多组红外图像序列中进行测试与对比。结果证明该方法运动目标分割效果良好, 可以准确检

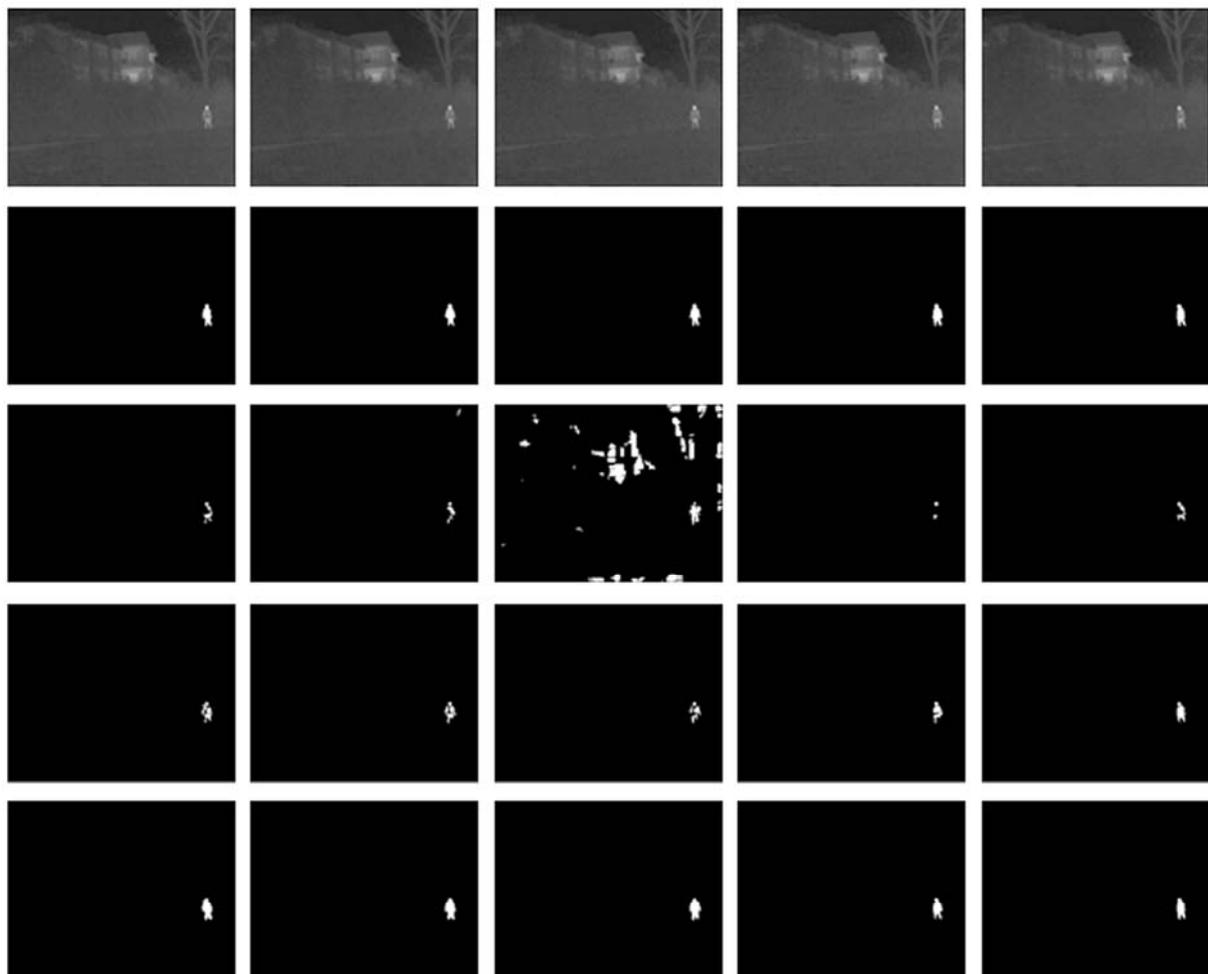


图 4 实验 3: 第 1 行为原图; 第 2 行为人工分割的真实运动目标; 第 3 行为 Lim 方法结果;  
第 4 行为 MRF 方法结果; 第 5 行为本文方法结果

测并分割出短暂静止和低速的运动目标, 且结构简单, 计算量小。

### 参考文献

- [1] 张超, 吴小培, 周建英, 等. 基于改进高斯混合建模和短时稳定度的运动目标检测算法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(10): 2402-2408.  
Zhang Chao, Wu Xiao-pei, and Zhou Jian-ying, *et al.*. A moving object detection algorithm based on improved GMM and short-term stability measure[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, 34(10): 2402-2408.
- [2] 张俊举, 常本康, 张宝辉, 等. 远距离红外与微光/可见光融合成像系统[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(1): 20-24.  
Zhang Jun-ju, Chang Ben-kang, and Zhang Bao-hui, *et al.*. Long-distance image fusion system for infrared and LLL/visible bands[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(1): 20-24.
- [3] Fei W and Zhu S. Mean shift clustering-based moving object segmentation in the H.264 compressed domain[J]. *IET Image Processing*, 2010, 4(1): 11-18.
- [4] McKenna S, Jabri S, Duric Z, *et al.*. Tracking groups of people[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2000, 80(1): 42-56.
- [5] Lipton A J, Fujiyoshi H, and Patil R S. Moving target classification and tracking from real-time video[C]. *Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Princeton, NJ, 1998: 8-14.
- [6] Meyer D, Denzler J, and Niemann H. Model based extraction of articulated objects in image sequences for gait analysis[C]. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, Santa Barbara, CA, 1998: 78-81.
- [7] Barron J J L, Fleet D J, and Beauchemin S S. Performance of optical flow techniques[J]. *International Journal of Computer Vision*, 1994, 12(1): 43-77.
- [8] Shen J H, Liu S Q, and Ma Y X. Fast infrared image segmentation algorithm[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2005, 24(3): 224-226.
- [9] Du F and Shi W K. Infrared image segmentation with 2-D maximum entropy method based on particle swarm

- optimization[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, 26(5): 597-603.
- [10] Chen Yong, Liu Xia, and Huang Qi. Real-time detection of rapid moving infrared target on variation background[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2008, 51(3): 146-151.
- [11] Stauffer C and Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, CO, 1999: 246-252.
- [12] Lim Taegy, Han Bo hyung, and Han Joon. Modeling and segmentation of floating foreground and background in videos[J]. *Pattern Recognition*, 2012, 45(4): 1696-1706.
- [13] Badri Narayan Subudhi, Pradipta Kumar Nanda, and Ashish Ghosh. A change information based fast algorithm for video object detection and tracking[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2011, 21(7): 993-1004.
- [14] 张鹤, 吴谨, 吴雪垠. 结合对称差分 and 边界信息的运动目标检测方法[J]. *信息技术*, 2011, (11): 138-141.  
Zhang He, Wu Jin, and Wu Xue-yin. Method of motion detection based on symmetrical differencing and edge information[J]. *Information Technology*, 2011, (11): 138-141.
- [15] 张小琳. 图像边缘检测技术综述[J]. *高能密度物理*, 2007, (3): 37-40.  
Zhang Xiao-lin. The summary of image edge detection technology[J]. *High Energy Density Physice*, 2007, (3): 37-40.
- 闵超波: 男, 1987 年生, 博士生, 研究方向为图像处理、运动检测、光电系统设计等.
- 张俊举: 男, 1979 年生, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为光电信息处理、图像融合、光电系统设计等.
- 常本康: 男, 1950 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为光电信息处理、光电系统设计、物理电子发射理论等.