

基于 Tophat 变换的复杂背景下 运动点目标识别算法

张文超¹⁾ 王岩飞¹⁾ 陈贺新²⁾

¹⁾(中国科学院电子学研究所, 北京 100080) ²⁾(吉林大学通信学院, 长春 130025)

摘要 提出了基于 Tophat 变换复杂背景下运动小目标识别算法。对于单帧图像采取形态学上 Tophat 滤波, 进行低频背景抑制。为增强目标点, 再进行差分多帧叠加, 在最后的叠加帧上采用双向链表进行轨迹识别, 根据轨迹点的相关性以链表深度为阈值进行轨迹判决。实验结果验证此方法可以较好地复杂背景下提取运动小目标。

关键词 形态学滤波 Tophat 变换 背景抑制 轨迹识别 双向链表

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)05-0871-04

Moving Point Target Detection in Complex Background Based on Tophat Transform

ZHANG Wen-chao¹⁾, WANG Yan-fei¹⁾, CHEN He-xin²⁾

¹⁾(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080) ²⁾(Faculty of communication, Jilin University, Changchun 130025)

Abstract An algorithm for moving point target detection from complex background based on Tophat transform is presented in this paper. At first, low frequency background suppression is adopted to single frame image by morphologic Tophat filter. In order to strengthen the target points, the difference of multiple frames of filtered images is accumulated in sequences. In the final frame, bi-directional chain is adopted to detect the target point's track according to the chain's length. Experiment results show that the method in this paper is promising.

Keywords morphologic filter, tophat transform, background suppression, track recognition, bi-directional chain

1 引言

复杂背景下运动小目标的识别是一项十分有用的工作, 可以应用在航天、军事、导弹轨迹识别跟踪, 交通违章检测等众多领域。但在有些场合如红外制导中, 需要能够尽快地截获并锁定跟踪目标, 由于在红外传感器与目标之间的距离很远(通常为几十公里甚至上百公里), 目标在像平面上的成像仅为点目标。此时, 由于无法使用目标的结构信息, 基于目标结构模型匹配的运动检测方法不再适用。此外这类图像序列中存在较多的噪声, 并且噪声的尺寸和目标的尺寸接近, 这就给点状目标的识别和检测带来很大的困难^[1,2]。现在研究方法主要是匹配滤波法和序贯

假设检验算法, 二者都是基于 3 维数据的穷尽搜索算法, 且易出现组合爆炸^[3,4]。其他的方法有动态规划法、最优投影法神经网络、小波变换、图像流法等^[5,6]。这些方法大都有计算量大和运算复杂等缺点, 不能满足实时信号处理的要求。本文结合运动目标点在相邻帧之间的相关性, 提出的基于 Tophat 变换复杂背景下运动点目标识别算法具有计算量小易于实现的优点。其基本思想是对图像序列中的每一帧采用 Tophat 变换形态学高通滤波滤除每一帧图像中的大面积低频背景, 而保留点状小目标在内的高频分量, 其核心也就是设计一个高通滤波器。

对于每一帧经过 Tophat 滤波后的图像其表现为大面积的零背景和包含点状目标点状噪声在内的高频分量。然后根据相邻帧之间运动点目标的相关

收稿日期: 2005-07-08; 改回日期: 2006-03-14

第一作者简介: 张文超(1978 ~), 男, 现为中国科学院电子学研究所博士研究生。研究方向为微波成像、数字图像处理、模式识别。

E-mail: imageprocess@163.com

性,进行差分多帧叠加,目标由于其运动性,在叠加帧上表现为相关性很强的轨迹点,而高频点状噪声,则由于其随机性相互抵消一部分,未抵消部分在几何面积上表现为相关性很差的随机分布干扰点。

对于叠加帧,根据运动目标点所表现出的强相关性,采用双向链表数据结构,进行递归算法识别,链表的每一节点存储当前目标点的位置信息和灰度值信息,以当前点为心,以拍帧时间与点目标在成像平面内的投影速度的乘积为半径的前向半圆区域内,进行搜索。以链表的长度为门限,设置阈值。当链表长度达到阈值门限时,输出链表的所有点,即为要识别的运动点目标轨迹。

该算法框图如图 1 所示。

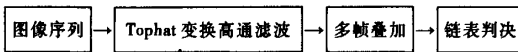


图 1 算法示意图

Fig. 1 Algorithm block

实验证明该方法对于运动点目标轨迹的识别是行之有效的。

2 基于 Tophat 变换形态学高通滤波的基本算法原理

数学形态学是一种新型的图像处理方法,它是以前腐蚀膨胀运算对为基础的。腐蚀具有收缩图像的作用,膨胀具有扩大图像的作用。由腐蚀膨胀运算对可以引申得到开闭运算对,分别定义为先做腐蚀然后再膨胀和先做膨胀再做腐蚀,开运算具有磨光图像外边界的作用,闭运算具有磨光图像内边界的作用。由开闭运算对可以定义出一种称之为 Whitehat 和 Blackhat 的变换对,又称白帽子变换和黑帽子变换对,通称 Tophat 变换。

Whitehat 变换:原图像与进行形态学开后的图像的差图像。其定义为

$$\text{Whitehat}(f) = f - f \circ g \quad (1)$$

Blackhat 变换:对原图像进行形态学闭后的图像与原图像的差图像。其定义为

$$\text{Blackhat}(f) = f \bullet g - f \quad (2)$$

式中, f 为图像灰度帧, g 为结构体, $f \circ g$ 表示对图像做开运算, $f \bullet g$ 表示对图像做闭运算。两个变换都可以检测到图像中变化较大的地方(相当于高频分量),同时能滤去图像中灰度变化相对较为平缓

的地方(相当于低频分量)。利用这两个变换就可以对一幅单帧图像进行滤波,滤掉低频成分,相当于滤掉大面积背景,留下包含点目标在内的高频部分。

由于形态学 Tophat 滤波与结构体尺寸有关,结构体尺寸的大小决定着高通滤波效果。结构体尺寸越小,滤除低频背景就越彻底,所能保留的目标尺寸就越小。最小目标尺寸与结构体尺寸近似有如下关系:

$$\max(S_{\text{object}}) \leq \frac{1}{2} \max(S_{\text{struct}}) \quad (3)$$

$\max(S_{\text{object}})$ 表示小目标在像平面的 2 维尺寸最大值。 $\max(S_{\text{struct}})$ 表示用于形态滤波的结构体 2 维尺寸的最大值。

3 差分多帧叠加及阈值化处理目标增强

以上介绍了对单帧图像的 Tophat 高通滤波,试验表明均可以有效去除大面积背景,同时保留点状高频成分。为进一步识别目标轨迹,对单帧是不够的,需要进行点状目标增强和点状干扰的抑制,由于目标点在各帧之间运动,具有很强的相关性,因此可进行多帧叠加。在最后叠加帧上,目标点表现为相关性很强的轨迹点,而随机点噪声则由于其随机性表现为一些离散的点,这样仍有可能淹没目标轨迹,因此提出采用差分多帧差分叠加。其原理是取含运动目标点在内的图像序列的奇数 k 帧叠加值,减去图像序列的偶数 k 帧叠加值。

$$f_o = \left(\sum_{i=0}^k f_{2i+1} - \sum_{i=0}^k f_{2i} \right) \quad (4)$$

式中, f_i 为图像序列中的第 i 帧, f_o (下角 o 代表 out) 为最后的叠加帧。

这样经过差分多帧叠加后,目标点得到进一步增强,大面积背景也可得到进一步抑制,但随机点状干扰同时也会得到增强,但与目标点的轨迹强相关性相比其相关性很差,因此,可以通过链表轨迹相关性进行判决。为了在保留目标点的同时尽可能减少链表判决目标候选点的个数,对叠加帧采取了阈值化处理。其方法如下:

$$f_o(i, j) = \begin{cases} f_o(i, j) & f_o(i, j) \geq T \\ 0 & f_o(i, j) < T \end{cases} \quad (5)$$

阈值门限 T 的选取可以有多种方式,但必须保证目标点。本文采用叠加帧的均值作为阈值门限 T ,即

$$T = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f_o(i, j) \quad (6)$$

M, N 为叠加帧图像的尺寸。

这样处理后,目标点得到进一步增强。图 2 为进行 Whitehat 滤波后,进行差分叠加,并经阈值化处理后的图像。由图 2 可以看到,相关性很强的目标轨迹和一些相关性很差的干扰点。

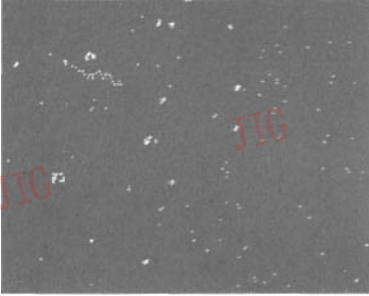


图 2 Whitehat 差分多帧叠加后以均值为门限的阈值化图像

Fig. 2 The result image of the multi-frames after difference summation and threshold Procession considering mean as threshold

4 基于双向链表的轨迹判决

在最后的叠加帧上,目标点表现为一相关性很强的轨迹。但要识别出目标点的轨迹仍非易事,主要是一些离散干扰点仍有可能存在。另外还可能出现轨迹点与干扰点相互交错。因此只能在一定的假设下从全局出发根据整体相关性进行判决。为此,提出基于双向链表的以轨迹的相关长度为门限进行轨迹判决。

其主要思想描述如下:

用一双向链表,节点上存储该点的 2 维坐标及该点的灰度值。

Struct node

```
{
```

```
int posx
```

```
int posy
```

```
int value
```

```
Struct node * Plast
```

```
Struct node * Pnext
```

```
}
```

在叠加帧上划定一起始搜索区域,先在该起始区域内顺次搜索候选点,作为目标点轨迹的起始点。然后以此按如下方法进行搜索:

以当前点为心,以 $r = \Delta t \times v_{\max}$ 为半径(转化为

对应的像素数),在运动方向的半圆邻域内进行顺次灰度搜索,如果在该邻域内搜索到候选点,则链表前移,相关计数器加一。如果在该邻域内不能搜索到候选点,则认为该点为孤立的干扰点,删除该节点,相关计数器减一,链表后退。链表每前进一步,不仅要存储该节点的坐标和灰值,还要判断相关点的个数即相关计数器是否越限,在链表上表现为对链表长度的判断。如果链表的长度超出门限值,则认为当前所选起始点为叠加帧上真正目标轨迹的起始点,该链表的点即为目标的轨迹。如果起始区域搜索完毕,还没有搜到满足条件的链表,则认为搜索失败,没有运动目标。图 3 为对叠加帧进行以 16 点为相关点门限的最后识别轨迹图像。

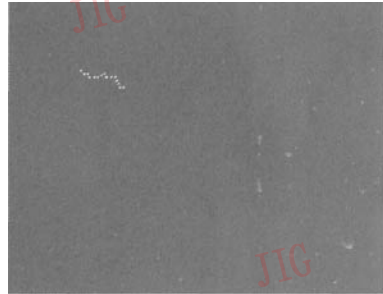


图 3 最后链表识别的轨迹图像

Fig. 3 The final recognized track by bi-directional chain

5 实验结果与分析

为了验证本文提出的关于复杂背景下运动小目标识别的一系列方法的有效性,采用 174×220 大小的 clouds 图像序列进行了试验,算法采用 C++ 语言编程。由 clouds 图像可以看到,图像中不仅有大面积的云块低频背景,也有很强的随机点状干扰。试验中运动点目标从第 1 帧左上角飞入,在帧间向前运动。框内所示为点目标。实验给出了对第 5 帧采用 Whitehat 和 Blackhat 滤波的结果,然后以 Whitehat 变换对图像序列进行滤波。之后对叠加帧以均值为门限进行阈值化处理,然后采用前面提到的双向链表法进行轨迹判决。以下是实验结果:

图 4 是图像序列的第 1 帧。

图 5 是图像序列的第 5 帧。

图 6 是第 5 帧 Whitehat 滤波效果。

图 7 是第 5 帧 Blackhat 滤波效果。

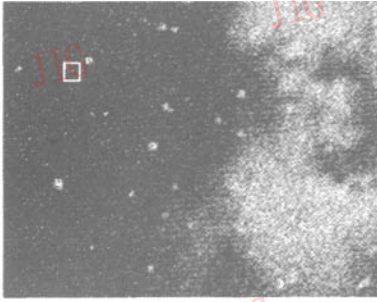


图 4 图像序列第 1 帧

Fig. 4 The 1st frame of the image series

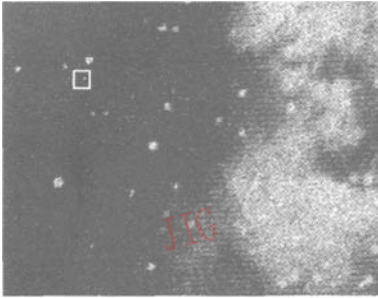


图 5 图像序列第 5 帧

Fig. 5 The 5th frame of the image series

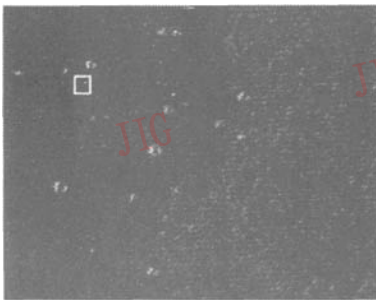


图 6 第 5 帧 Whitehat 变换后的图像

Fig. 6 Whitehat transform of the 5th frame

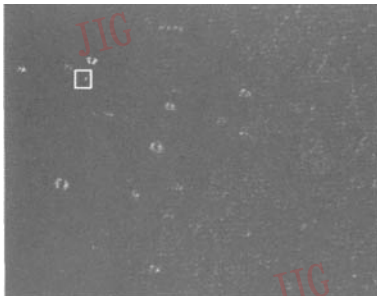


图 7 第 5 帧 Blackhat 变换后的图像

Fig. 7 Blackhat transform of the 5th frame

采用 Whitehat 对所有的图像序列进行高通滤波后,再进行差分多帧叠加后的叠加帧图像,并以均值为门限进行域值化处理后的结果。可以看到,在叠加帧上,大面积低频背景得到充分抑制,剩余的干扰只是一些点状随机噪声。

图 7 为对叠加帧以 16 点为轨迹门限进行双向链表轨迹判决后的轨迹图像。

6 结 论

本文提出采用 Tophat 变换对运动图像序列进行高通滤波,滤除大面积低频背景,然后采用差分多帧叠加,进一步增强点目标,抑制点噪声。在叠加帧上采用双向链表法以链表深度为门限,进行轨迹判决。与匹配滤波算法和序贯假设检测算法要在 3 维视频序列中进行识别相比,判决识别只在叠加帧上进行,其计算量小,易于实现。通过仿真试验说明该方法对于识别复杂背景下运动点目标是有效的。

参考文献 (References)

- 1 Yang Qing-yu, Wang Zeng-fu. Moving point target detection and tracking under the condition of complex background [J]. Pattern Recognition Artificer & Intelligence, 2004, 17(3):342~346. [杨擎宇,王增福. 复杂背景下运动点目标的检测和跟踪[J]. 模式识别与人工智能, 2004, 17(3): 342~346.]
- 2 XIONG Hui, SHEN Zhen-kang, WEI Ji-bo, et al. Moving infrared low SNR target detection algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27(12): 26~29. [熊辉,沈振康,魏急波等. 低信噪比运动红外点目标的检测[J]. 电子学报, 1999, 27(12): 26~29.]
- 3 Blostein Steven D, Huang Thomas. Detecting small, moving objects in image sequences using sequential hypothesis testing [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, 39(7): 1611~1629.
- 4 CUI Chang-wei, LIN Ying, CHEN Jing-chun. The analysis and improvement of a low-SNR slow moving point target sequential detection algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(6): 820~823. [崔常巍,林英,陈景春. 低信噪比缓动点目标的序贯检测算法的分析和改进[J]. 电子学报, 2001, 29(6): 820~823.]
- 5 ZHUO Ning, SUN Hua-yan. An algorithm of point moving target detection in low SNR [J]. Laser & Infrared, 2004, 34(6): 484~486. [卓宁,孙华燕. 一种低信噪比运动点目标检测算法[J]. 激光与红外, 2004, 34(6): 484~486.]
- 6 ZHANG Hong, ZHAO Bao-iun, MAO Er-ke, et al. Detection of infrared point target filters in varying clutter [J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(2): 96~99, 111. [张弘,赵宝军,毛二可等. 复杂背景下红外点目标的检测[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(2): 96~99, 111.]