

一种序列图像中运动点目标的检测方法

郝晓冉,张有志

(山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

摘要:序列图像中运动点目标的检测按图像的成像系统不同,可分为红外图像中运动点目标的检测和可见光图像中运动点目标的检测,而现有检测算法多是针对前者。为寻找一种适用于两种类型图像的运动点目标的检测方法,以多云天空为研究背景,提出了一种新的运动点目标检测算法。采用高通滤波和形态学滤波相结合的方法进行背景抑制,基于检测前跟踪(TBD)的基本思想,根据相邻三帧进行目标分割,利用轨迹能量累积方法完成目标检测。理论分析和仿真结果表明,该算法简单易行,既适用于红外图像又适用于可见光图像的运动点目标,而且对目标的运动速度和方向无任何限制。

关键词:目标检测; 目标分割; 背景抑制; 点目标

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)06-0709-05

Method of moving point target detection in image sequences

HAO Xiao-ran, ZHANG You-zhi

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: According to different imaging system, moving point target detection in image sequences can be divided into two categories: moving point target detection in infrared image sequences and moving point target detection in visible image sequences. Most of existing arithmetics are aimed at infrared image sequences, so the main purpose of this article is to look for a new detection method which can be used in the two kinds of image sequences. A new arithmetic of moving point target detection for cloudy sky background is proposed. In the stage of background suppressing, a method that combines high-pass filter with mathematic morphology filter is applied. Based on the idea of TBD, three frames are conjoined to accomplish target segmentation. Track energy cumulation is used to detect the targets. Theoretic analysis and simulation results prove that this arithmetic is simple and easy to be realized, it can be used in infrared image and visible image, furthermore it has no restriction on target's velocity and direction.

Key words: Target detection; Target segmentation; Background suppressing; Point target

收稿日期:2005-04-07; 修订日期:2005-07-20

作者简介:郝晓冉(1980-),女,山东聊城人,硕士生,主要从事多媒体通信与信息技术的研究工作。

0 引言

红外点目标、弱小目标的检测在现代军事中起着重要的作用。多年来,许多研究者一直致力于此方面的研究,并相继提出了若干有效方法。这些方法概括起来包含三个步骤:背景抑制、目标分割、目标检测。

背景抑制是整个算法中最重要的步骤,其目的是提高信噪比,尽可能多抑制背景杂波,其处理结果的好坏直接影响到算法的检测率和实时性;目标分割的目的是从背景抑制后的图像中分割出候选目标点;目标检测是从候选目标中检测出真正的目标。目前,针对点目标,主要的背景抑制法有高通滤波法^[1],数学形态学滤波法^[2],小波变换法^[3],自适应门限背景抑制法^[4]等,这些方法的基本思想是利用背景杂波的空间强相关性将其从图像中去除,与此不同,参考文献^[5]提出了一种利用背景像素点和目标像素点时间模型的不同来抑制背景的方法。目标分割有两大主要思路:先检测后跟踪(DBT),和先跟踪后检测(TBD),DBT利用单帧图像的灰度信息分割可能的目标点^[6],TBD则是利用相邻几帧中点目标的运动信息来分割可能目标^[7],在低信噪比情况下,TBD的检测性能优于DBT^[8]。目标检测是从候选目标中检测出真正的目标,主要方法有光流法^[9],卡尔曼滤波法^[1]等。

由于种种原因,现有检测算法尚有不足之处,主要表现在:

- (1) 仅适用于红外图像;
- (2) 对点目标的运动速度、运动方向有一定要求;
- (3) 算法复杂度高,难以满足实时性要求。

本文提出了一种简单、对目标运动速度和方向无任何约束、既适用于红外图像又适用于可见光图像的运动点目标的检测算法。

1 算法描述

1.1 背景抑制

一幅图像可由公式(1)表示:

$$f(i,j)=f_b(i,j)+f_t(i,j)+n(i,j) \quad (1)$$

式中 $f_b(i,j)$ 为背景图像; $f_t(i,j)$ 为点目标; $n(i,j)$ 为高频噪声。背景抑制就是要滤除背景图像,将点目标和

高频噪声点从图像中分离出来,如公式(2)所示。

$$f(i,j)-f_b(i,j)=f_t(i,j)+n(i,j) \quad (2)$$

红外图像中运动点目标的灰度值远大于背景的平均灰度值,对红外图像的背景抑制常利用这一特点,但是可见光图像中的点目标一般不具备这一特点。然而,两种类型图像中的点目标具备一个共性:灰度奇异性,即目标灰度值与其背景邻域内的灰度均值存在差异。用对比度 $C(i,j)$ 表示像素点 $f(i,j)$ 与其邻域灰度均值的差异程度,即:

$$C(i,j)=f(i,j)/\left(\frac{1}{24}\sum_{m=-2}^2\sum_{n=-2}^2f(i+m,j+n)\right) \quad (3)$$

若 $C(i,j)\geq 1$,表明该点灰度值大于等于其邻域灰度均值;若 $C(i,j)< 1$,表明该点灰度值小于邻域灰度均值, $|C(i,j)-1|$ 越大,表明目标灰度的奇异性越强。要从缓慢变化的背景中分离出灰度具有奇异性的点,高通滤波和数学形态学滤波是两种较为有效的方法。通过对这两种方法的分析,本文提出一种高通滤波和形态学滤波相结合的背景抑制法。

1.1.1 高通滤波法原理

空间域高通滤波法是将原始图像 f 与高通模板 H 相卷积,为使高通滤波可同时突显亮奇异点和暗奇异点,在此应取卷积结果的绝对值。卷积结果 \bar{f} 为 f 中的高频成分。假设模板大小为 $(2L+1)\times(2L+1)$,则:

$$\bar{f}(i,j)=|f(i,j)\otimes H|= \left| \sum_{m=-L}^L \sum_{n=-L}^L f(i+m,j+n)H(L+m+1,L+n+1) \right| \quad (4)$$

\bar{f} 中高灰度值点代表 f 中与其邻域灰度均值相差大,即 $|C(i,j)-1|$ 大的点,因此高通滤波具有突显灰度奇异点的作用。对点目标,有以下三种常用高通模板:

$$H1=\frac{1}{4}\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad H3=\begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$H2=\frac{1}{24}\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 24 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

其中 $H3$ 被称为 Laplacian 模板,是在假定图像行列方向像素的相关系数相等且均为 1 时,由白化滤波器 H 得到的^[10]。本文所选背景为多云的天空,实验结果表明, $H3$ 的滤波效果最好。

1.1.2 数学形态学滤波法原理

膨胀、腐蚀是数学形态学中两种最基本的运算,其定义如下(有关数学形态学的详细资料见参考文献[11])。

结构元素 B 对图像 f 的腐蚀定义为:

$$(f \ominus B)(x) = \min_{z \in B} f(x+z)$$

结构元素 B 对图像 f 的膨胀定义为:

$$(f \oplus B)(x) = \max_{z \in B} f(x-z)$$

由膨胀、腐蚀定义的两个重要组合运算定义为:

开运算: $f \circ B(x) = (f \ominus B(x)) \oplus B$

闭运算: $f \cdot B(x) = (f \oplus B(x)) \ominus B$

开运算可以去除比结构元素小的相对较亮的结构,闭运算可以去除比结构元素小的相对较暗的结构,这两种运算均同时保持图像原始灰度值和面积较大的背景。因此定义:

$$\tilde{f} = |f - (f \circ B(x) + f \cdot B(x)) / 2| \quad (5)$$

则 \tilde{f} 中的非零点为 f 中的灰度奇异点。取结构元素 1 1 1。

1.1.3 高通滤波与形态学滤波相结合的背景抑制法

如前所述,高通滤波法可以突显灰度奇异点,而开运算可以去除图像中小于结构元素相对较亮的点并同时保持图像灰度值,因此,可以先对原始图像 f 进行高通滤波,然后对得到的滤波结果 \tilde{f} 进行开运算,得到 \hat{f} ,则 \hat{f} 即为所需的背景抑制结果。

$$\hat{f} = \tilde{f} - \hat{f} \quad (6)$$

1.1.4 三种背景抑制法的性能比较

定义像素点 $f(i, j)$ 局部均方差 $\sigma(i, j)$:

$$\sigma(i, j) = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 (f(i+m, j+n) - f(i, j))^2} \quad (7)$$

定义 C_i 为图像中某一点背景抑制前的对比度, C_o 为背景抑制后该点的对比度。在 C_i 相同的情况下, C_o 越大,背景抑制效果越好。实验所选图像的最大局部均方差为 42.2459,平均局部均方差为 10.6486,最小局部均方差为 0.8969。因此取表 1 中三个位置点的邻域代表三种不同的邻域背景环境。对每一个位置点,通过向该点加入对比度 C_i 不同的目标点,经某种背景抑制方法处理后就可以得到与 C_i 相对应的 C_o 。这样,对于某个位置点采用每种背景抑制算法都会得到一组 C_i - C_o 数据。分别绘制每个位置点处三种背景抑制方法的 C_i - C_o 曲线图,如图 1 所示。

表 1 三点及其局部均方差

Tab.1 Three points and their local mean square error

(i, j)	$\sigma(i, j)$
(10, 10)	0.8969
(29, 110)	10.0886
(29, 90)	42.2459

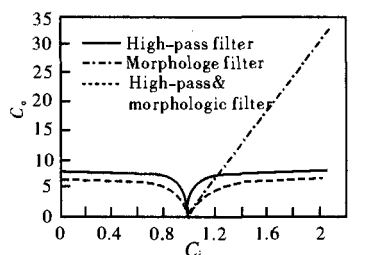
图 1 体现了在不同邻域背景环境下,三种背景抑制算法的背景抑制性能。从图中可以得到以下结论:

- (1) 当 $|C_i - 1| \rightarrow 0$ 时,三种算法失效;
- (2) 当 $|C_i - 1| \leq 0.2$ 时,高通滤波和高通+形态学滤波的背景抑制性能优于形态学滤波;
- (3) 当 $|C_i - 1| > 0.2$ 时,形态学滤波背景抑制性能优于其他两种算法。
- (4) 高通滤波、高通+形态学滤波两者的背景抑制性能相当。

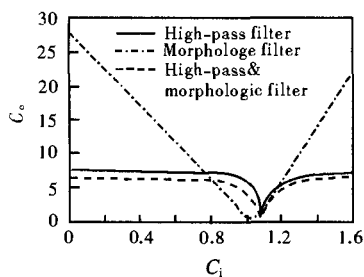
因此,当已知点目标的对比度较大时(如红外图像),应选择形态学滤波;当已知点目标的对比度较小或无法预测点目标对比度时(如可见光图像),应选择另外两种算法,但经高通+形态学滤波处理后,图像的非零点数远小于经高通滤波处理后的非零点数。因此,选择高通+形态学滤波作为背景抑制算法。根据图 1 的输出对比度选择合适的系数 k ,利用公式(8)对背景抑制后的图像做进一步处理,以减少噪声点个数。

$$\hat{f}(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & \text{若 } f(i,j) \geq k \times E \\ 0 & \text{若 } f(i,j) < k \times E \end{cases} \quad (8)$$

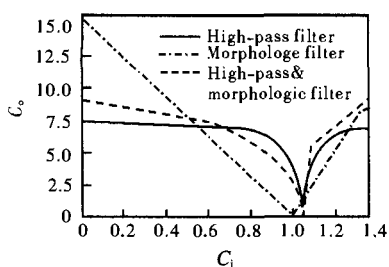
$$E = \frac{1}{24} \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \hat{f}(i+m, j+n) \quad |m|+|n| \neq 0$$



(a) 位置点(10,10)
(a) Local point(10,10)



(b) 位置点(29,110)
(b) Local point(29,110)



(c) 位置点(29,90)
(c) Local point(29,90)

图 1 三种算法性能比较

Fig.1 Performance comparison of three arithmetics

1.2 目标分割

将图像序列逐帧进行背景抑制后,就成为一个只包含目标点和高频噪声点的图像序列。当传感器以适当的采样率对一段视频进行采样时,点目标在相邻帧间的运动不会有大的跳跃,且点目标的灰度值也不会发生大的变化,即运动点目标具有轨迹的连续性和灰度的局部连续性,但高频噪声点却不具备这种特性。因此利用点目标的特性就可将候选目标点分割出来。

假设点目标运动速度 ≤ 2 帧/s, 其原理如图 2 所示(若速度 > 2 帧/s, 则可以通过改变搜索窗口的大小来实现目标的分割)。

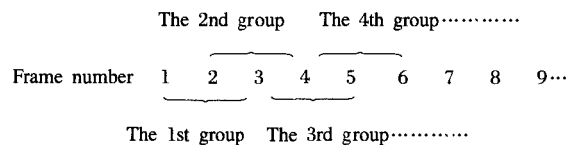


图 2 分组

Fig.2 Grouping

下面以第 l 帧为例说明相邻三帧目标分割法的步骤:

(1) 设第 l 帧中有一非零像素 $f(i,j,l)$, 则在第 $l-1$ 帧中以像素 $f(i,j,l-1)$ 为中心的 5×5 邻域内进行搜索, 若搜索到非零像素 $f(i',j',l-1)$ 使得:

$$|f(i,j,l) - f(i',j',l-1)| \leq 2 \quad (9)$$

则进入下一步; 否则选取第 l 帧中下一个非零像素重复第一步;

(2) 在满足公式(9)的条件下, 再在第 l 帧中以像素 $f(i,j,l+1)$ 为中心的 5×5 邻域内进行搜索, 若又搜索到非零像素 $f(i'',j'',l+1)$ 使得:

$$|f(i,j,l+1) - f(i'',j'',l+1)| \leq 2 \quad (10)$$

则点 $f(i,j,l)$ 为候选目标点, 记录该点出现的时间、位置和灰度信息, 选取第 l 帧中下一非零元素返回第一步; 否则 $f(i,j,l)$ 为噪声点, 直接选取第 l 帧中下一非零元素并返回第一步;

(3) 处理完所有非零点后结束。

1.3 目标检测

目标检测阶段采用轨迹能量累积法^[12]。当对连续的 N 帧图像完成目标分割后, 统计每一条候选轨迹的长度 $track(i)$, i 表示第 i 条候选轨迹。判断如下:

$$\begin{cases} \text{若 } \frac{track(i)}{N} > \lambda, \text{ 则轨迹为目标轨迹} \\ \text{若 } \frac{track(i)}{N} \leq \lambda, \text{ 则轨迹为噪声轨迹} \end{cases}$$

这样就可以将真正的点目标从候选目标中检测出来。

2 算法仿真

2.1 背景抑制

本文模拟了长度 $N=30$ 帧的数字图像序列, 图像大小为 85×131 , 图像序列中加入了 3 条目标轨迹, 每

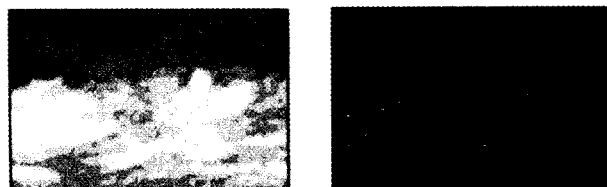
条轨迹的 $C_{\max} = \max_{(i,j) \in \text{轨迹}} |C(i,j)-1|$, $C_{\min} = \min_{(i,j) \in \text{轨迹}} |C(i,j)-1|$, 如表 2 所示, 结合图 1, 取 $k = 2.5$ 。

表 2 轨迹参数

Tab.2 Track parameters

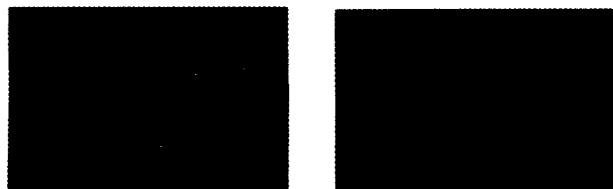
Track number	1	2	3
C_{\min}	0.0902	0.0677	0.0551
C_{\max}	0.1062	0.1708	0.3735

图 3(a) 为第 16 帧图像, 图 3(b) 是第 16 帧图像的背景抑制结果。背景抑制后 3 个点目标均被保留下来, 非零噪声点数为 227, 占图像像素总数的 2.04%。



(a) 第 16 帧
(a) The 16th frame

(b) 第 16 帧背景抑制结果
(b) Background suppression result of the 16th frame



(c) 第 16 帧目标分割结果
(c) Target segmentation result of the 16th frame

(d) 目标检测结果
(d) Target detection result

图 3 仿真结果

Fig.3 Simulation results

2.2 目标分割

第 16 帧目标分割结果如图 3(c) 所示, 3 个点目标均被分割出来, 非零噪声点数为 57, 占图像像素总数的 0.51%。

2.3 目标检测

目标轨迹检测结果如图 3(d) 所示, 实验取 $\lambda = 0.1$ 。3 条轨迹包含了运动速度、运动方向和目标灰度变化的情况, 且均被完整地检测出来。

3 性能分析

算法的检测率、检测速度关键在于背景抑制阶段

系数 k 的选择。 k 选得过高会使检测率下降, 选得过低会使检测速度减慢。实验中, 在第 1 帧图像中随机加入 20 个对比度相等且都等于 C 的目标点, 目标检出数与 $|C-1|$ 和 k 的关系如表 3 所示。

表 3 部分实验结果

Tab.3 Some simulation results

k	$ C-1 $				
	0	0.05	0.1	0.15	0.2
1	13	19	20	20	20
2	-	18	19	20	20
3	-	16	19	20	20
4	-	-	17	19	20
5	-	-	15	17	17

由表 3 可以看出, 对于实验所选图像, 当 $|C-1| = 0$ 时, 检测算法性能下降; 当 $0 < |C-1| \leq 0.05$ 时, 取 0~1 比较合适; 当 $0.05 \leq |C-1| \leq 0.1$ 时, k 取 0~2 较合适; 当 $0.1 \leq |C-1| \leq 0.15$ 时, k 取 1~3 较合适; 当 $0.15 \leq |C-1| \leq 0.2$ 时, k 取 3~4 较合适; 当 $|C-1| > 0.2$ 时, 由图 1 可知, 背景抑制阶段应选用形态学滤波法。综上所述, 当 $|C-1| > 0.05$ 时, 检测概率可达 100%。

4 结论

本文提出的点目标检测算法用对比度 $C(i,j)$ 代替传统的信噪比采用高通滤波和形态学滤波相结合的方法进行背景抑制, 采用相邻三帧目标分割法分离候选目标点, 最后利用轨迹能量累积法检测出真正的运动目标。该算法简单易于实现, 对目标运动速度和运动方向无任何约束, 适用范围广。仿真结果表明, 该算法具有良好的检测效果和一定的实际应用价值。

参考文献:

[1] ZHANG Hong, ZHAO Bao-jun, MAO Er-ke. A real-time effective method for infrared point-target detection in spatially varying clutter[A]. IEEE, CIE International Conference on radar, Proceedings [C]. 2001. 461-464. (下转第 718 页)

- 1999, 3809.95-106.
- [4] Reed I S, Gagliardi R M, Shao H M. Application of three-dimensional filtering to moving target detection [J]. IEEE Trans AES, 1983, 19(6): 898-905.
- [5] Yair Barniv. Dynamic programming solution for detecting dim moving targets [J]. IEEE Trans Aerospace and Electronic Systems, 1985, 21(1): 144-156.
- [6] Holger Lange. Real-time contrasted target detection for IR imagery based on a multiscale tophat filter [A]. SPIE Proceedings [C]. 1999, 3720. 214-226.
- [7] ZHANG Fei, LI Cheng-fang, SHI Li-na. Algorithm based on mathematical morphology for dim moving point target detection [J]. Optical Technique (张飞, 李承芳, 史丽娜. 基于数学形态学的弱点状运动目标的检测. 光学技术), 2004, 30(5): 600-602.
- [8] SU Xin-zhu, JI Hong-bing, GAO Xin-bo. Detection method for dim small IR targets based on mathematical morphology [J]. Infrared and Laser Engineering (苏新主, 姬红兵, 高新波. 一种基于数学形态学的红外弱小目标检测方法. 红外与激光工程), 2004, 33(3): 307-310.
- [9] CUI Yi. Image Processing and Analysis: Mathematical Morphology Method and Application [M]. Beijing: Science Press (崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用. 北京: 科学出版社), 2000.
- [10] YANG Wei, ZHANG Tian-wen. A new method for the detection of moving targets in complex scenes [J]. Computer Research & Development (杨威, 张田文. 复杂景物环境下运动目标检测的新方法. 计算机研究与发展), 1998, 35(8): 724-728.

(上接第 713 页)

- [2] LIU Shi-jian, GUO Li, DUAN Bo, et al. Real-Time detection algorithm of infrared image and its implementation on CPLD [J]. Journal of University of Science and Technology of China (刘士建, 郭立, 段勃, 等. 基于数学形态学的红外点目标实时检测算法及其 CPLD 实现. 中国科学技术大学学报), 2004, 34(3): 366-370.
- [3] XIONG Hui, SHEN Zhen-kang, WEI Ji-bo, et al. Moving infrared low SNR target detection algorithm [J]. Acta Electronica Sinica (熊辉, 沈振康, 魏急波, 等. 低信噪比运动红外点目标的检测. 电子学报), 1999, 27(12): 26-29.
- [4] PENG Jia-xiong, ZHOU Wen-lin. Infrared background suppression and small target segmentation and detection [J]. Acta Electronica Sinica (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, 12(27): 47-51.
- [5] Alexis P Tzannes, Dana H Brooks. Detection of point targets in image sequences by hypothesis testing: a temporal test first approach [A]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing [C]. 1999, 6.3377-3380.
- [6] LI Ji-cheng, SHEN Zhen-kang. Small moving target detection in clutter infrared background [J]. Infrared and Laser Engineering (李吉成, 沈振康. 红外起伏背景下运动点目标的检测方法. 红外与激光工程), 1997, 26(6): 8-13.
- [7] Askar H, LI Xiao-feng, LI Zai-ming. Background clutter suppression and dim moving point targets detection using nonparametric method [A]. IEEE 2002 International Conference on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions [C]. 2002, 2.982-986.
- [8] Askar H, LI Xiao-feng, LI Zai-ming. Performance analysis of dim moving point target detection algorithms [A]. IEEE 2002 International Conference on Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions [C]. 2002, 1.605-609.
- [9] YE Bin, PENG Jia-xiong. Moving point target detection based on order morphology filtering [J]. Infrared and Laser Engineering (叶斌, 彭嘉雄. 基于顺序形态滤波的运动点目标检测. 红外与激光工程), 2001, 30(1): 25-29.
- [10] HAN Ke-song. Pretreatment of infrared point target in complicated background [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics (韩客松. 复杂背景下红外点目标检测的预处理. 系统工程与电子技术), 2000, 22(1): 52-54.
- [11] GONG Wei, SHI Qing-yun, CHENG Min-de. Mathematic Morphology in Digital Space - Theory and Application [M]. Beijing: Science Press (龚伟, 石青云, 程民得. 数字空间中的数学形态学—理论与应用. 北京: 科学出版社), 1997.
- [12] LI Zheng-zhou, DONG Neng-li, JIN Gang. Method of quickly detecting and tracking dim moving point target in image sequences [J]. Infrared and Laser Engineering (李正周, 董能力, 金钢. 序列图像运动点目标快速检测与跟踪算法. 红外与激光工程), 2002, 31(6): 473-477.