

红外运动小目标的检测

李 哲 苏秀琴 杨小君 张广华

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘 要 通过分析天空背景下红外运动小目标、噪音以及背景的特征, 提出一种检测方法. 首先利用向量小波变换对运动图像进行预处理; 其次采用图像差分进行目标的粗检测, 提取出候选目标; 最后可根据运动目标和噪音的特征对候选目标进行识别, 检测出真实的运动小目标. 实验证明, 该方法可有效检测天空背景下红外运动小目标.

关键词 红外运动小目标; 向量小波; 图像差分

中图分类号 TP317.4 **文献标识码**

A

0 引言

近些年来, 国内外学者对红外序列图像小目标的检测进行了深入研究, 提出了不少方法. 例如, Paul L. Rosin 和 Tim Ellis 提出时域中值滤波器算法来抑制背景干扰^[1]; Yang 和 Levine 提出最小平方中值滤波器算法来抑制背景干扰^[1]; David Casasent 和 Anqi Ye 将数学形态学算法产生背景的方法应用于较大目标的检测^[2]. 此外人们还采用了神经网络、基于投影变换和三维搜索相结合的方法等^[3]. 然而, 这些方法都有各自的局限之处: 有的计算量大, 难以实时处理; 有的必须知道目标的一些先验知识, 这就限制其应用范围; 有的抗噪音能力差, 目标很容易淹没在噪音里, 造成目标丢失. 本文通过分析红外运动小目标、噪音以及背景特点, 首先利用向量小波变换对运动图像进行预处理; 其次采用图像差分进行目标的粗检测, 提取出候选目标; 最后根据运动目标和噪音特征对候选目标进行识别, 检测出真实的运动小目标.

1 红外运动小目标、噪音以及背景特征分析

针对天空背景下红外运动小目标的检测, 通过分析, 可以发现对于天空背景下红外运动小目标的单帧红外图像, 可以用模型来描述为

$$f(x, y) = t(x, y) + b(x, y) + n(x, y)$$

式中 $f(x, y)$ 为获取的红外外场景图像, $t(x, y)$, $b(x, y)$, $n(x, y)$ 分别为目标图像、背景图像和噪音图像.

目标在成像平面中的大小是由目标自身大小、目标到测量系统的距离以及测量系统的视场因素决定的. 在红外热像仪增益一定的工作条件下, 目标的灰度由其自身红外辐射强度、大气透过率和目标

反射太阳的红外辐射情况等因素决定的. 通过大量靶场红外测量试验可知, 运动小目标在红外序列图像中具有的特征为: 目标的灰度与其周围自然背景的灰度不相关, 在图像中表现为孤立亮斑; 在红外序列图像中, 目标具有规则的运动轨迹.

由于制冷式焦平面红外热像仪在测量工作前要进行非均匀性校正, 所以在该热像仪输出的红外序列图像中, 噪音主要为热像仪自身坏点和云层中高频成分, 如果直接对红外图像进行单帧处理并获得真实目标, 则是很困难的.

2 图像的预处理

向量小波是小波在理论上和方法上的延续. 众所周知, 向量小波具有一般标量小波所不具备的许多优点, 在实数域上, 紧支、对称、正交的标量小波 (除 Haar 小波外) 是不存在的. 在红外运动小目标的检测实际应用中, 正交能去除相关性, 对称既适应于人眼的视觉系统, 又使得图像在边界处易于处理, 而紧支性则使得图像处理简单, 计算量小^[4]. 通过基于向量小波变换的方法, 利用小波变换具有带滤波器的性质, 可以有效地除去红外图像中占大部分的背景低频成分, 从而增强小目标信息.

首先进行红外图像的预滤波处理, 预滤波方法的选取十分重要. 预滤波包含两重意义, 一是预处理功能, 先求解出后续向量小波变换所依赖的初始向量 C_k^0 , 再将标量形式的输入信号值转化为所需的向量状态; 二是滤波功能. 构造一种具有良好滤波功能的预滤波是关键^[5]. 在本文中, 设计了一个插值预滤波器

$$C_k^0 = \sum Q_l \begin{bmatrix} f(2k+2l-1) \\ f(2k+2l) \end{bmatrix} \quad (l=0, 1)$$

$$Q_0 = \frac{1}{6\sqrt{6}} \begin{bmatrix} 3 & 8 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; Q_1 = \frac{1}{6\sqrt{6}} \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 6\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix};$$

$$k=1, 2 \dots M, M = \frac{N}{2}$$

经过预滤波处理之后,获得后续向量小波变换所依赖的初始向量 C_n^0 ,然后利用向量小波变换,对红外图像进行处理,向量小波分解算法与重构算法为^[6]

$$\begin{cases} C_k^j = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{n \in Z} H_{n-2k} C_n^{j+1} \\ D_k^j = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{n \in Z} G_{n-2k} C_n^{j+1} \\ C_k^j = \sum_{n \in Z} H_{k-2n}^* C_n^{j-1} + \sum_{n \in Z} G_{k-2n}^* D_n^{j-1} \end{cases}$$

本文使用插值预滤波器对图像信号进行预滤波,使红外序列图像经过向量小波分解与重构处理后,滤除了空中低频分量的大面积云层信息,从而使图像背景得到很好地抑制.此时,红外图像中剩下的主要为目标的信息、云层的高频分量信息以及探测器自身的高亮度坏点信息.由于噪音和目标经过处理后都表现为高频特性,因此,噪音和目标信息都得到了明显增强.

3 图像差分运算

经过红外图像预处理后,在单帧图像中的噪音和目标特性依然相似,很难检测出目标.根据热像仪自身坏点噪音在相邻帧的红外序列图像中位置几乎不发生变化这一特征,有效地滤除该类噪音.因此,通过运用图像相邻两帧的差分运算可检测出运动目标的信息.

设红外图像预处理后的图像可描述为

$$F(x, y) = T(x, y) + B(x, y) + N(x, y)$$

式中, $T(x, y)$, $B(x, y)$, $N(x, y)$ 分别为目标图像、云层的高频分量图像和探测器自身的坏点图像.经过图像相邻两帧的差分运算,可得到差分后的图像 $M(x, y)$ 为

$$M(x, y) = T^*(x, y) + B^*(x, y)$$

式中 $T^*(x, y)$, $B^*(x, y)$ 分别为运动的目标图像和变化的云层高频分量图像.可以看出图像经过差分运算后,能够有效地滤除探测器自身的坏点噪音,保留了目标的图像和云层高频分量噪音点.

4 目标识别

通过对差分运算后的图像进行分析可以发现,在单帧红外图像中,云层高频分量噪音点之间在面积和灰度方面具有很大的相关性,而运动小目标由于其红外辐射强度与其周围自然背景的辐射强度不相关,在图像中呈现出孤立的亮斑.根据这一特征,我们可以将每个亮点的面积和灰度与所有亮点的平均面积和平均灰度进行比较后,识别出真实目标.

假设经过图像预处理和图像差分后,可得到 N

个亮点, X_i 为第 i 个亮点,识别步骤如下:

步骤一:统计出所有亮点的平均灰度 μ 和平均面积 S .

步骤二:计算出亮斑 X_i 的灰度 μ_i 和面积 S_i .如果亮斑 X_i 的灰度 μ_i 和面积 S_i 与平均灰度 μ 和平均面积 S 都具有较大的差异,则判断 X_i 为真实目标,否则判断为噪音点.

经过对样本 X_i 进行识别,可以有效地滤除图像中云层高频分量噪音点,从而准确地识别出真实运动小目标.

5 实验结果

使用本文中的红外图像序列中的一幅 320×256 图像第 60 行的灰度值作为初始值,来比较三种预滤波器的性能.这三种预滤波器是:第一种是不带预滤波器的向量小波;第二种是向量小波+零阶正交预滤波器^[7];第三种则是本文介绍的向量小波+插值预滤波器.变换信号低通部分的长度为 67,也就是分解信号的 1~67 是低通部分,79~320 是高通部分,大多数的信息集中在低通部分.因此,可以得到能量压缩比定义如下:

三种变换的能量压缩比 $T_k, k=1, 2, 3$.

$$r = \frac{\sum_{n=68}^{320} |y[n]|^2}{\sum_{n=1}^{320} |y[n]|^2}$$

式中 $y[n]$ 为变换域中的信号.得到的能量压缩比率如表 1.从表 1 可以看出,与其它情况相比,用插值滤波器可以取得较好的能量压缩比.

表 1 能量压缩比表

	r
GHM 向量小波	0.1374
GHM 向量小波+零阶正交预滤波器	0.1132
GHM 向量小波+插值预滤波器	0.0722

实验选取采样频率为每秒 25 帧, 320×256 的两个序列各 100 幅红外序列图像.采用本文的检测方法对红外序列图像进行目标检测.

这两个序列是在不同的背景中采集得到的.两个序列中均含有大量的复杂背景.图 1 和图 2 为两

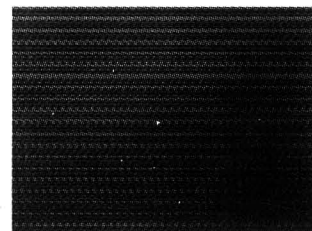


图 1 原始图像(a1)

Fig. 1 Original image(a1)

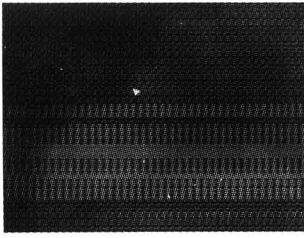


图 2 原始图像(b1)
Fig. 2 Original image(b1)

个序列的红外原始图像. 图像中可以清楚地显示出背景在空间上呈大面积的连续分布状态, 而运动的小目标图像由于目标红外辐射强度与其周围自然背景的辐射强度不相关, 在图像中表现为孤立亮斑, 其灰度和面积与背景的灰度和面积差异较大. 同时, 红外图像平面上的噪音为白噪音和红外传感器自身的坏点噪音.

图 3 和图 4 是预处理后的图像. 可以看出经过向量小波变换, 滤除了空中低频分量的大面积云层信息, 从而使图像背景得到很好抑制. 此时, 红外图像中主要剩下的为目标信息、云层高频分量信息以及探测器自身的高亮度坏点信息, 由于噪音和目标经过处理后都表现为高频特性, 因此, 噪音和目标信息都得到了明显增强.

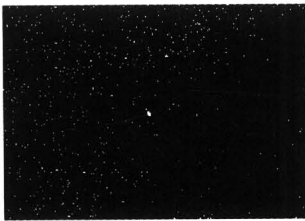


图 3 预处理后图像(a2)
Fig. 3 Preprocessed image(a2)



图 4 预处理后图像(b2)
Fig. 4 Preprocessed image(b2)

图 5 和图 6 是目标识别后得到的图像. 可以看出图像经过差分运算和对候选目标的识别, 能够有

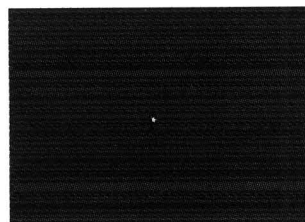


图 5 目标识别后的图像(a3)
Fig. 5 Target recognized image(a3)

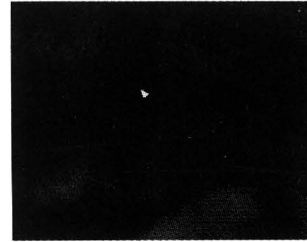


图 6 目标识别后的图像(b3)
Fig. 6 Target recognized image(b3)

效地滤除探测器自身的坏点噪音和中云层高频分量噪音点, 从而准确地识别出真实运动小目标.

实验结果为: 采用本文的检测方法对两个含有大量复杂背景的红外图像序列进行目标检测. 最终 a 序列准确地检测出 96 幅真实运动小目标, 其余 4 幅没有检测出目标; b 序列准确地检测出 94 幅真实运动小目标, 其余 6 幅没有检测出目标. 这是由于目标飞进云层后, 淹没在灰度饱和的背景中, 无法准确检测出真实运动小目标. 实验证明该方法可有效检测出天空背景下红外运动小目标.

6 结论

本文针对天空背景下红外运动小目标的检测, 通过分析红外运动小目标、噪音以及背景的特征, 首先利用向量小波变换对运动图像进行预处理; 其次采用图像差分进行目标的粗检测, 提取出候选目标; 最后可根据运动目标和噪音的特征对候选目标进行识别, 检测出真实的运动小目标. 实验证明, 该方法可有效地检测出天空背景下红外运动小目标.

参考文献

- 1 Rosin P L, Ellis T. Image difference threshold strategies and shadow detection. In proceedings of the 6th British Machine Vision Conference, BMVA Press, 1995. 347 ~ 356
- 2 David Casasent, Anqi Ye. Detection filters and algorithm fusion for ATR. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997, 6(1): 114 ~ 125
- 3 李智勇, 沈振康, 等. 动态图像分析. 北京: 国防工业出版社, 1999
Li Z Y, Shen Z K, et al. Dynamic Image Analysis. Beijing: National Defence Industry Press, 1999
- 4 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, 27(12): 47 ~ 51
Peng J X, Zhou W L. *Acta Electronica Sinica*, 1999, 27(12): 47 ~ 51
- 5 李红, 徐永兵. 向量小波变换预滤波器设计的评价准则. 华中科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 111 ~ 113
Li H, Xu Y B. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, 2002, 30(1): 111 ~ 113
- 6 冯象初, 甘小冰, 宋国乡. 数值泛函与小波理论. 西安: 西

安电子科技大学出版社, 2003

Fen X C, Gan X B, Song G S. Xi'an; Press of Xi'an
Electronics Science Technology University, 2003

7 Xia X G, Geronimo J S, Hardin D P, *et al.* Design of
prefilters for discrete multiwavelet transforms. *IEEE
Trans on Signal Processing*, 1996, **44**(1): 25~35

Small Moving Infrared Target Detection

Li Zhe, Su Xiuqin, Yang Xiaojun, Zhang Guanghua

Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068

Received date: 2004-09-27

Abstract According to small moving infrared target detection in the sky background, a detection algorithm is presented through the characteristics of small moving infrared target, noise and background in infrared images are analyzed. Firstly, by utilizing the excellent quality of multi-wavelet, the infrared images is preprocessed with the proper pre-filter. Secondly, the coarse detection is performed based on differentiating tow neighboring frames in image sequence to extract candidate targets. Finally, the candidate targets are recognized by the characteristics of moving target and noise in order to detect real small moving infrared target based on. The effectiveness of the algorithm is proved by the experimental results for several real infrared image sequences.

Keywords Small moving infrared target; Multi-wavelet; Differentiating tow neighboring frames



Li Zhe was born in 1977 and graduated from Xi'an University of Technology in 2000 with his Bachelor of Autocontrol. Then he studies in the Graduate School of The Chinese Academy of Sciences on Communication & Information System. Now his research job is Image Processing at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS.