

对红外序列图像中小目标分割的研究

吴 巍¹, 彭嘉雄², 刘 泉¹

(1. 武汉理工大学信息学院, 湖北武汉 430070; 2. 华中科技大学图像识别与人工智能研究所图像信息处理与智能控制教育部重点实验室, 湖北武汉 430074)

摘 要: 针对在云天背景下运动红外小目标的分割, 对目标在图像序列表现出来的特性进行了分析. 根据目标不仅在单帧图像中有自己的灰度分布特性, 而且它们的灰度在相邻图像中也具有连续性, 提出了一种新的分割方法. 该方法把单帧图像的处理结果与相邻多帧图像滤波结果相结合, 大大提高了目标的分割的精度. 实验证明, 该分割方法十分有效.

关键词: 背景抑制; 目标增强; 时间域滤波; 图像融合; 目标分割

中图分类号: TP317 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 07-1116-04

Research on Segmenting Small Target in the Infrared Image Sequences

WU Wei¹, PENG Jia-xiong², LIU Quan¹

(1. Information Institute, WuHan Univ. of Technology, Wuhan, Hubei 430070, China;

2. Education Ministry Key Laboratory for Image Processing and Intelligence control, Institute for Pattern Recognition & Artificial Intelligence, Huazhong Univ. of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: For the segmentation of the small moving targets in the infrared image sequences, the features of the targets in the sequences are analyzed. It can be observed that the targets have their own intensity distribution in a single frame and their intensities are continuous among several adjacent successive frames. So a new method that integrates single frame processing with temporal filtering is proposed. The method can improve the precision of target segmentation, and is verified by a larger number of results of experiments and comparisons.

Key words: background suppressing; target enhancing; temporal filtering; image fusion; target segmentation

1 引言

红外制导和红外地面跟踪技术在国防上有着广泛的应用, 为了尽可能早地发现目标, 使武器系统有足够的反应时间, 就要求目标在很远处就能被检测到, 此时目标的所成像的面积往往只有十几个像素, 而且缺乏形状、尺寸、纹理等信息. 同时, 由于存在着各类干扰, 造成图像的信噪比低, 对目标进行检测与跟踪的十分不易, 其中最为困难的就是准确地进行目标的分割.

近些年来, 针对红外序列图像里的小目标分割, 国内外学者提出了不少方案, 其思路大概可以归纳为两种: (1) 依据目标在单帧图像的灰度分布特性, 在序列中的每一帧进行目标分割, 如文献[1~7]; (2) 依据目标在时间上的灰度与运动的连续性进行分割, 在图像序列中相邻几帧的进行时域分析: 如通过采用一组时间上的高阶差分来抑制背景干扰并得到目标运动轨迹; 光流场计算^[8]等等. 总的说来, 这些方法往往是只注意了目标特性的某一方面, 而没有完整地在全局加以考虑,

都有一定的局限性.

本文是从目标特性出发提出了一种新的解决方案, 既考

虑到目标在单帧图像的灰度分布特性, 又注意了它在相邻几帧图像中表现出灰度与运动速度的连续性, 把两

者结合起来进行目标的分割, 其分割的效果明显得到了提高, 其工作流程如图 1.

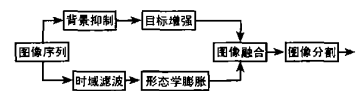


图 1 目标分割流程图

2 单帧图像处理

单帧图像处理的目的是提高图像的信噪比. 人们在单帧图像的目标分割方面已经做了大量的工作, 提出了不少滤波器和分割方法^[1], 但是大部分的滤波器参数设计比较困难, 这就给在实际应用中带来了不便.

我们是从目标在图像中灰度分布加以考虑的, 文献[2]中认为包含运动小目标的单帧红外图像, 可以用下面的模型来

描述:

$$f(x, y) = s(x, y) + b(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

其中 $f(x, y)$ 为获取的场景图像, $s(x, y)$, $b(x, y)$, $n(x, y)$ 分别为目标、背景和噪声。如果能够对背景进行抑制和目标进行增强, 我们就能实现图像信噪比的提高。

2.1 背景抑制

背景在形成时受到物理规律的制约, 在空间上呈大面积的连续分布状态, 故所成的红外图像在图像灰度空间分布上具有较大的相关性; 而运动目标的红外辐射与其周围自然背景的辐射不相关, 并且一般都高于背景, 在图像中表现为孤立亮斑, 其灰度分布可以认为是均匀的。于是, 我们提出了一种背景抑制的方法, 具体工作过程如下:

(1) 用一大模板 (模板面积远大于目标) 对原图像进行均值滤波, 得到图像 I_1 : 目标与孤立的小噪声块的面积很小, 它们在模板中所占成分比背景所占成分小的多, 此时, 均值处理的结果接近于背景平滑后的灰度。

(2) 用一小模板 (模板面积与目标相当) 对原图像进行均值滤波, 得到图像 I_2 : 此时, 在背景区域得到的是背景平滑的结果, 而在目标区域, 由于目标大小与模板相差不大, 且灰度分布较均匀, 故滤波后的灰度更接近目标。

(3) 求两次滤波所得图像之差的绝对值, 得到图像 I_3 , 即

$$I_3 = |I_2 - I_1| \quad (2)$$

由于背景区两次处理结果受模板大小影响不大, 灰度变化较小, 相减后便得到有效地抵消; 目标区域由于两次滤波的结果则存在着一定的差值, 相减后就得到了增强。该方法还有一个好处, 就是它不但对“亮目标”(目标区灰度比背景区灰度高) 有效, 而且对“暗目标”(目标区灰度比背景区灰度低) 同样也是适用的。

2.2 目标增强

背景抑制后的图像, 只有目标和部分噪声有着较高的灰度, 背景主要分布在低灰度区, 而且灰度起伏较小, 为了进一步提高图像的对对比度, 对背景平滑是有必要的。此时如采用线性处理的方法, 往往在背景平滑的过程中, 图像中许多细节部分也被丢失了。最近, 人们提出了一种新的处理手段——各向异性扩散滤波 (Anisotropic Diffusion), 它能够实现在平滑背景的同时仍然保持图像的细节, 这对保证进行背景平滑时小目标不会丢失尤为实用^[9]。

该滤波器的表达式为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} I(x, y, t) &= \text{div}(c(x, y, t) * \nabla I(x, y, t)) \\ &= \frac{\partial}{\partial x} [c(x, y, t) * \frac{\partial}{\partial x} \nabla I(x, y, t)] \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial y} [c(x, y, t) * \frac{\partial}{\partial y} \nabla I(x, y, t)] \quad (3) \end{aligned}$$

其中, $c(x, y) = \frac{1}{1 + |\frac{\nabla I(x, y)}{K}|^2}$, ∇ 为求梯度运算。一般设

定 $\lambda = 1$, K 根据图像细节部分的强弱来选取, 一般取 $K = m + a \times v$ 来取, 其中 m 为图像均值, v 为图像方差, a 为常数, 我们设定为 1。经过滤波后的图像, 目标区仍然能够保持, 而

背景部分则得到了平滑, 信噪比又得到了有效的提高。我们将此灰度图像标记为 F_1 , 并将其灰度范围变换到 0 到 1 之间。

3 时域滤波

序列图像可以看作是沿着时间轴方向顺序采样得到的, 时域处理是指利用目标时间上表现出的灰度与运动速度的连续性, 对序列中相邻的若干帧图像中进行处理, 从而增强目标。以前, 人们提出了光流场计算, 但该方法计算量过大, 较难做到实时处理。

在相邻的几帧图像里, 我们每一位置上像素灰度值在时间上的变化进行了观察, 可以发现: (1) 由于背景是静止的或相对运动较慢, 区域内像素的灰度值在时间变化可以看作为一恒定值加上白噪声; (2) 某时刻单帧图像的区域, 由于目标的运动, 则在另外时刻单帧图像中对应的位置上像素就可能为背景, 该区域灰度变化在时间轴上会出现一个脉冲。

有了这两种模型, 我们对每个像素的灰度在时间域里变化进行分析, 就可能区分目标与背景。小波变换比傅立叶变换有着更好的频率分析能力, 而且不易受噪声干扰, 计算简单。在这里, 我们就选取的是 Daubechies 小波, 处理过程就是在时刻 t 时图像管道内每个位置上的小波高频系数的平均值, 为了与单帧目标增强的处理结果相联系, 我们建立了一个图像管道, 该管道由当前时刻的图像和在它之前的若干帧相邻图像组成。在每次时域处理之前, 首先要进行管道更新; 然后, 在管道里把有相同空间坐标的每帧图像像素作为一组, 并按时间排序 (若图像大小为 $M \times N$, 则可以分为 MN 组), 并用一维小波分别对每组像素的灰度值进行滤波; 小波系数处理就是对滤波得到的高频系数进行平均, 并将结果存贮于一空矩阵中 (在矩阵的位置就是该组的空间坐标), 于是我们就可以得到时域处理的结果, 具体流程如图 2。

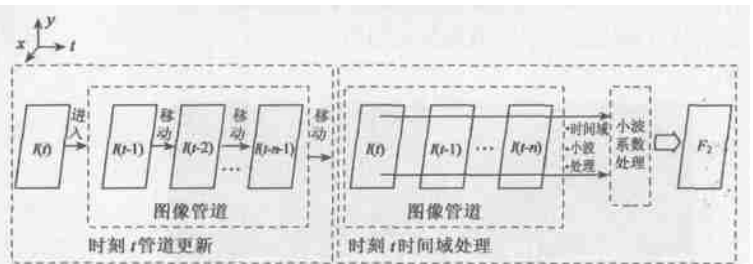


图 2 在 t 时刻对图像序列相邻几帧进行时间域滤波的流程

其中, $I(t), I(t-1) \dots I(t-n)$ 表示在时刻 $t, t-1 \dots t-n$ 采样得到的图像; n 为图像管道的长度, 它决定有几帧相邻图像被用来进行时域滤波, 在本文里, 我们设定 n 为 5; 我们把时域滤波后的灰度图像标记为 F_2 , 同样图像 F_2 的灰度范围也转换到 $[0, 1]$ 。

4 图像融合及目标分割

在以前的分割方法中, 一般都是在单帧图像处理或时域处理之后, 直接就对图像进行分割, 此时分割的结果往往难以令人满意。在文献[10]中, 作者提出了把两种处理结果联合起来的思路, 主要就是利用多变量联合概率分布来进行分割, 然

而正如文章作者所说,该方法目前还不成熟,还有许多地方值得完善。

由于单帧图像处理和时域处理的目都是增强目标:目标区在两种处理方法得到的图像中都具有较高的灰度,而大部分的噪声没有目标在空间与时间上的双重特性,故它们可能在一种处理方法上没有得到有效抑制,但用另外方法却被滤除了。由此,我们想到用对两种处理方法所得到的灰度图进行图像融合,进一步增强目标,提高信噪比,然后再进行图像分割。在这里,我们利用下式进行图像融合:

$$F(x, y) = F_1(x, y) * F_2(x, y) \quad (4)$$

对于融合后的图像,我们再进行目标分割,图像分割的方法有很多。我们采用的是门限分割方法,而分割门限的是用最大绝对对比度的方法得到的,该方法的最大好处是能够自适应获取门限,不须设定一些参数。绝对对比度定义为:

$$c(a, b) = \min(|F(a) - t, F(b) - t|) \quad (5)$$

式中, $F(a)$ 为高于门限 t 区域的灰度均值, $F(b)$ 为低于门限 t 区域的灰度均值。我们认为最佳分割门限为:

$$T = \arg \max_{0 \leq t \leq 255} (c(t)) \quad (6)$$

5 实验结果

我们选取了三组比较有代表性的图像序列,它们都是在实际环境下采样得到的,其中采样的频率为每秒 30 帧,且均包含一红外运动小目标。序列一中单帧图像信噪比较高,而在每帧间的图像相关性较差;序列二中单帧图像信噪比和每帧间的图像相关性都不是很理想;序列三中单帧图像信噪比差,而在每帧间的图像相关性较强。图 3、4、5 分别其中的一帧处理结果。其中 (a) 为原图, (b) 为仅在单帧内分割的结果; (c) 为相邻 5 帧在时域分割的结果; (d) 为融合后分割的结果。为了显示的方便,原图像的对比度都得到了增强,并且在原图和融合后分割的结果图中,目标区域均用一白色的方框标记出来。

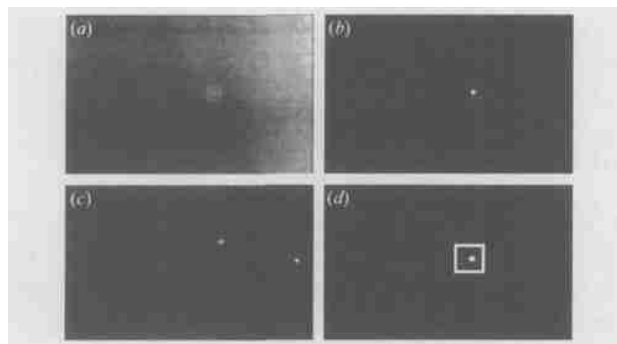


图 3 序列一的一帧图像的分割结果

从图中我们可以看到,融合后再分割的结果明显比仅在单帧内分割和仅在时域分割的结果好。在图 3 中,单帧分割效果虽然理想,时域分割的方法却得到了错误的结果;在图 5 中,单帧图像的分割效果不是很理想,时域分割方法却能很准确地发现目标。而两者融合后再分割,我们都能发现目标。在图 4 中,单帧分割出的“伪目标”太多,而时域分割却得到了错

误的结果,两种分割方法均不能很好地实现分割,但融合后再分割,我们可以发现在保证真正目标存在的同时,“伪目标”的个数也减少了许多,这为我们在后续处理工作中带来很大的方便。

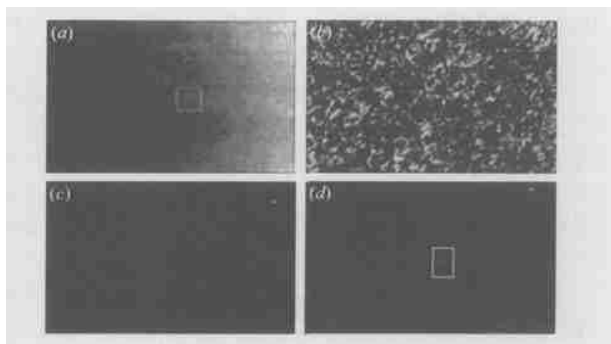


图 4 序列二的一帧图像的分割结果

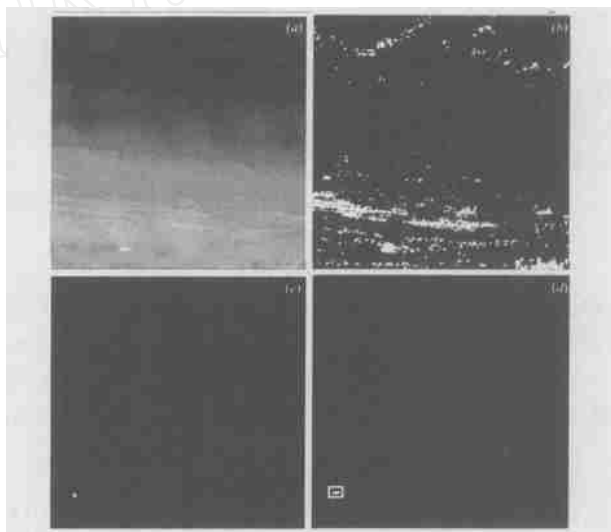


图 5 序列三的一帧图像的分割结果

6 结论

大量实验表明,把单帧目标增强和时域目标增强的两帧图像先融合再分割的方法是可行的,而且分割的通用性与精度也得到了大大提高。我们还可以对图像融合的方法、时域处理的方法、单帧目标增强与目标分割等等逛逛方面进行更深入的研究,所以该方法还有可以进一步完善。

参考文献:

- [1] 彭嘉雄,周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测[J]. 电子学报,1999,27(12):47-51.
- [2] YAN Xiong, Jia-xiong PENG, et al. An extended track-before-detect algorithm for infrared target detection[J]. IEEE Trans, 1997, AES(33)3: 1087-1092.
- [3] 杨卫平,沈振康. 红外图像序列小目标检测预处理技术[J]. 红外与激光,1998,27(1):23-28.
- [4] ZHANG Tian-xu, Jia-xiong PENG. An adaptive image segmentation method with visual nonlinearity characteristics[J]. IEEE Transaction

- on system ,man ,and cybernetics-Part B :cybernetics ,1992 ,26(4) :619 - 627.
- [5] H E Rauch ,W I Futterman ,D B Kemmer. Background suppression and tracking with a staring mosaic sensor[J]. Optical Engineering ,1981 ,20 (1) :103 - 110.
- [6] YAN Xiong ,Jia-xiong PENG,et al. An extened track-before-detect algorithm for infrared target detection[J]. IEEE Trans ,1997 ,AES-33 (3) :1087 - 1092.
- [7] WL New ,M H Tan ,et al. New method for detection of dim point-target in infrared images[A]. Part of SPIE Conference on Signal and Data Processing of Small Targets[C]. Denver ,Colorado :SPE 1999. 141 - 150.
- [8] 彭嘉雄 ,Tie PENG. 噪声背景中点目标检测的多比例法[J]. 电子学报 ,2000 ,28(9) :34 - 38.
- [9] Li-hua LI ,Yang ZHENG ,Lei ZHANG,et al. Anisotropic diffusion filtering of mammographic image for CAD in digital mammography[A]. IEEE. Proceeding of ICSP2000[C]. Beijing China : IEEE ,2000. 1159 - 1162.
- [10] G H Waston ,S K Waston. Detection and clutter rejection in image sequences based on multivariate conditional probability[A]. Part of the SPIE Conference on Signal and Data Processing of Small Targets[C]. Denver ,Colorado :SPE 1999. 107 - 118.

作者简介 :



吴 巍 男 ,1971 年 9 月出生于湖北黄石 ,华中科技大学模式识别与智能系统专业博士生毕业 ,现为武汉理工大学信息学院教师 ,当前研究方向为图象处理、目标检测、模式识别等 ,已在国内外刊物上发表论文多篇。



彭嘉雄 男 ,1934 年生于江西 ,教授 ,博士生导师 ,享受国家特殊津贴的有突出贡献专家 ,现任中国人工智能学会理事等十余职 ,完成 863、国家自然科学基金、以及部、委攻关课题等 50 余项。主要从事模式识别与人工智能的研究 ,已发表论文 250 余篇。

刘 泉 1963 年 9 月出生于湖北武汉 ,教授 ,博士生导师 ,主要研究方向为计算机网络通信、信号处理和非线性系统理论及应用等。发表学术论文 80 余篇(其中被 SCI、EI 和 ISTP 收录 10 余篇) ,出版学术著作 4 部。