

改进帧差与分水岭算法融合的运动目标检测法

黄应清¹, 赵哲¹, 闫兴鹏², 赵锴¹

(1. 装甲兵工程学院控制工程系, 北京 100072; 2. 装甲兵工程学院信息工程系, 北京 100072)

摘要:针对机器视觉系统中运动目标检测问题,在帧间差分法的基础上,提出了一种新的运动目标检测算法。采用改进的帧间差分法,融合分水岭算法分割特点,获得真实目标的轮廓,并进行实验验证。结果表明,该算法对帧差法进行改进后,得到的动态目标更接近于实际情况,改进的算法更适用于智能系统中消除杂波及对运动目标的检测。

关键词:目标检测;帧间差分;融合;分水岭算法;消除杂波

中图分类号:TP391;TN911 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.12.016

Moving target detection based on improved frame difference and watershed algorithm

HUANG Ying-qing¹, ZHAO Zhe¹, YAN Xing-peng², ZHAO Kai¹

(1. Dept. of Control Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. Dept. of Information Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Aiming at moving target detection in machine vision systems, an improved algorithm for moving target detection based on frame difference algorithm is proposed. Combined with the segmentation characteristics of watershed algorithm, the real target profile can be obtained by using the improved frame difference method, and this method is verified through the experiments. The results show that the dynamic targets obtained by this algorithm are closer to the actual situation. In intelligent systems, the improved algorithm is more suitable to detect moving target and eliminate clutter.

Key words: object detection; frame difference; combine; watershed algorithm; eliminate clutter

1 引言

运动目标检测和提取已成为机器视觉研究的热点问题,在智能监控、交通控制、军事战场的应用越来越广泛。运动目标检测算法主要有:光流分析法、帧间差分法和背景差分法三种^[1-4]。近年来,学者们提出了许多新的运动目标检测算法,以W4^[5]算法、基于MAP-MRF^[6](Maximum A Posteriori-Markov Random Field)检测算法最为突出。W4算法作为一种参数建模算法,运算效率较高,但抗噪性一般;基于MAP-MRF框架的运算效率未取得突破,实时性有待提升。帧间差分法对相邻帧进行差分运算^[7],系统资源要求少且能保证实时处理。本文运用基于方差齐性检验的三帧差分法检测运动目标,融合优化

分水岭算法,经检验,本文方法更适于视频检测中消除噪声及运动目标检测的问题。

2 基于方差齐性检验的改进帧差法

帧差法是一种检测临近帧变化量的一种方法^[7],通过序列图相邻两帧或三帧,进行一定图像运算来检测目标^[8]。图1(a)表示为相邻两帧的差分图。

采用三帧差分法^[9]时,将三帧的图像进行三帧差分,中间帧和前一帧差分与后一帧与中间帧差分得

基金项目:装甲兵工程学院创新基金项目(No. 2013CJ30)资助。

作者简介:黄应清(1966-),男,教授,主要研究方向为模式识别与智能系统。E-mail:121787495@qq.com

收稿日期:2014-05-29;修订日期:2014-06-17

到两幅灰度图像,将结果图像 $d_1(i,j)$ 和 $d_2(i,j)$ 进行逻辑与运算,如式(1)所示,从而得到三帧差分图像 $d_{s1}(i,j)$,如图1(b)所示。本算法提出二次三帧差分法,即用后两帧差分与三帧差分结果逻辑异或运算,如公式(2)所示,结果如图1(c)所示。异或结果再与三帧差分图相与运算如公式(3)所示,结果如图1(d)所示。

$$d_{s1}(i,j) = d_1(i,j) \cap d_2(i,j) \quad (1)$$

$$d_{s2}(i,j) = d_{s1}(i,j) \otimes d_2(i,j) \quad (2)$$

$$d_s(i,j) = d_{s1}(i,j) \cap d_{s2}(i,j) \quad (3)$$

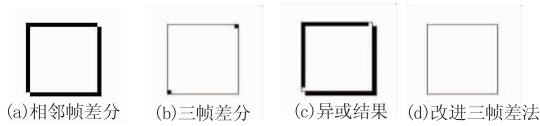


图1 帧差法的原理图

采用二次三帧差分法,轮廓变细,可一定程度上解决“双影”问题,比三帧差分更接近实际目标轮廓。

假设帧差图像背景像素 $d_s(x_b, y_b)$ 总体方差 σ_b^2 ,对图中任意像素 $d_s(x_r, y_r)$ 假设满足方差为 σ_r^2 的整体分布。根据相邻帧间的运动目标亮度变化要远大于背景噪声亮度变化,可提出如下假设:

$$\begin{cases} H_0: \sigma_b^2 = \sigma_r^2 & \text{背景像素} \\ H_1: \sigma_b^2 < \sigma_r^2 & \text{运动像素} \end{cases} \quad (4)$$

判断假设成立可利用方差齐性检验,假设 S_b^2 和 S_r^2 分别表示样本数目为 n_b 和 n_r 的样本方差 σ_b^2 和 σ_r^2 的估计值。零假设一旦成立, $F = S_b^2/S_r^2$ 应满足自由度为 $(n_b - 1, n_r - 1)$ 的 F 分布。

运用右边检测,即当

$$F > F_{\alpha, n_b-1, n_r-1} \quad (5)$$

则拒绝零假设。其中 F_{α, n_b-1, n_r-1} 为 F 分布的右临界点, α 为显著性水平,一般取 0.01。

样本方差估计值 S_b^2 和 S_r^2 由任意像素 $d_r(x, y)$ 为中心的 $N \times N$ 窗口 W_N 内所有像素方差计算,即:

$$S_r^2 = \frac{1}{N^2} \sum_{(x,y) \in W_N} [d_s(x,y) - \text{mean}(x,y)]^2 \quad (6)$$

式中, $\text{mean}(x,y)$ 为窗口内所有像素均值。本算法取 $N = 4$ 。

关于计算 S_b^2 ,需要从有限帧差样本中估算全局背景像素总体方差 σ_b^2 。由大量实验可知,检测视频左侧的若干列像素通常属于背景像素,因为检测运动目标不会长期占据图像一侧。由此,可提出计算 S_b^2 的办法。将左侧 K 列像素分割成个

$K \times K$ 的窗口,获取 W_K 窗口的像素绝对值总和 $\sum_{(x,y) \in W_K} |d(x,y)|$,选最小窗口 W 为样本,同样,按式(6)计算 S_b^2 。

依照帧差图每个像素 $d_s(x,y)$ 的 F 检验结果,可得到关于当前帧的运动检测掩模:

$$M_t^p(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{接受 } H_1 \\ 0, & \text{接受 } H_0 \end{cases} \quad (7)$$

经由 F 检验的检测图结果可看出,该算法仍存在部分噪声,同时可能漏检测,将运动像素归为背景区域。这在于融合空间域的分割算法以完善运动目标缺失甚至漏检情况,而分水岭算法的分割效果可以很好的满足上述要求。

3 分水岭算法优化

3.1 分水岭算法原理

分水岭算法是在借鉴形态学基础上,将一幅图看作是测地学上的拓扑地貌,每个像素点灰度值对应地形的高度值。高度值对应山峰,低灰度值对应山谷^[10-11]。不足之处在于算法容易受噪声的影响,存在严重的过分割或丢失重要分割线等现象^[12]。

直接采用分水岭算法很难得到满意的分割效果。这依赖前期的形态学处理加以优化及后期与帧差法融合获取标记区域进行合理分割。

3.2 数学形态学方法优化

图像的高帽滤波(Top-hat filtering)定义为:

$$H_T = A - (A \circ B) \quad (8)$$

图像的低帽滤波(Bottom-hat filtering)定义为:

$$H_B = (A \bullet B) - A \quad (9)$$

式(8)中 \circ 表示开运算,高帽变换可有效检测图像边缘信息,增强阴影细节,以增强图像对比度。式(9)中 \bullet 表示闭运算,低帽变换可以去除图像极暗细节,以寻找图像的灰度谷值,使分水岭线更加准确。

拟合高帽滤波、低帽滤波的形态学处理方法增强图像,便于微弱边缘检测。用原图像加上高帽变换后的图像,如图2(a)所示,再减去低帽变换后的图像,如图2(b)所示,增强图像如图2(d)所示。



图2 效果对比图

$$A + H_T - H_B = 2A - (A \cdot B) - (A \circ B) \quad (10)$$

式中,原图加高帽变换结果,可使图像中灰度值较大的区域更亮;再减低帽变换结果,可使图像中灰度值较小的区域更暗,目标和背景反差明显。

为验证图 2(d) 的锐化效果显著,现设图像为 $g(i,j)$,窗口尺寸定为 $(2w + 1) \times (2w + 1)$,则其自相关函数定义为式(11),它对窗口内的每个像素点 (i,j) 与偏离值 $\varepsilon, \eta = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 的像素间相关值作计算:

$$C(\varepsilon, \eta, x, y) = \frac{\sum_{x-w}^{x+w} \sum_{y-w}^{y+w} g(i,j)g(i-\varepsilon, j-\eta)}{\sum_{x-w}^{x+w} \sum_{y-w}^{y+w} [g(i,j)]^2} \quad (11)$$

图 2 的自相关函数三维图如图 3 所示,图像的边缘信息的自相关函数随着 ε, η 的增加,图 3(a) 的下降趋势比图 3(b) 要慢。根据文献[13]可知,自相关函数波峰宽度同图像锐度指数成正比。可见图 2(d) 更加清晰,增大了图像和背景反差。

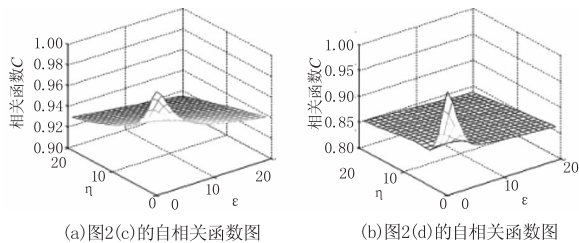


图 3 自相关函数对比图

本算法设定可手动调整分水岭低谷阈值,对不同背景复杂度的视频序列选取较为合适的分割阈值。分水岭算法通过允许在梯度图像上和片段连接的标识区域“拥有”边沿定义的山谷来分割图像。改进分水岭分割效果图如图 4 所示。



图 4 改进分水岭分割效果

4 算法融合

在已经获得的分割结果的基础上,对运动目标的检测问题定义如下:已知当前帧 I_t 的运动检测掩模和分割标注图像 I_w ,及前一帧的运动目标掩模 M_{t-1} ,利用三幅图生成当前帧的运动掩模。

算法融合步骤如下:

首先结合当前帧 I_t 的运动检测掩模 M_t^p ,分析当前帧的分割标注图像 I_w 各个区域,统计区域 R_i 的像素在 M_t^p 中为 1 的数目 N_i ,和其在区域 R_i 面积 A_i 中的比例,大于阈值 T ,则标记 R_i 为运动区域。标记完当前帧所有运动区域后,即获得仅由当前帧运动所造成的运动区域掩模 M_t^R ,如下式所示:

$$M_t^R(x, y) = \begin{cases} 0, & (x, y) \in \mathbf{R}_i \quad N_i/A_i > T \\ 1, & (x, y) \in \mathbf{R}_i \quad N_i/A_i \leq T \end{cases} \quad (12)$$

其中, $N_i = \sum_{(x,y) \in \mathbf{R}_i} M_t^p(x, y)$,为保证检测漏检率尽可能低,对于绝大多数的运动目标而言, T 可取 1/2。

之后,将运动区域掩模 M_t^R 和前一帧的运动目标掩模 M_{t-1} 并运算获得掩模图像 M'_t ,然后对分割标注图像 I_w 的每个区域 R_i ,计算被 M'_t 标记的像素个数 N'_i 。

即:

$$N'_i = \sum_{(x,y) \in \mathbf{R}_i} M'_t(x, y)$$

最终获取当前帧的运动对象掩模 M_t 为:

$$M_t(x, y) = \begin{cases} 0, & (x, y) \in \mathbf{R}_i \quad N'_i/A_i > T \\ 1, & (x, y) \in \mathbf{R}_i \quad N'_i/A_i \leq T \end{cases} \quad (13)$$

该融合算法有如下优点:一是具有记忆前一帧运动对象分割的积累结果;二是在视频序列前处理若干帧,视频对象会逐渐完整;三是相邻帧若目标没有运动仍能保证分割出完整目标。缺点是较大运动情况下,运动目标检测结果可能有冗余背景。

5 实验结果与分析

运用 Visual Studio 2012 软件和 OpenCV2 进行实验仿真,对运动目标的视频序列进行实验,F 检验由 Visual Studio 调用 Matlab 统计工具箱函数 varstest2 实现。

结合实验视频 1 对改进的帧差法效果进行对比,实验结果如图 5 所示。

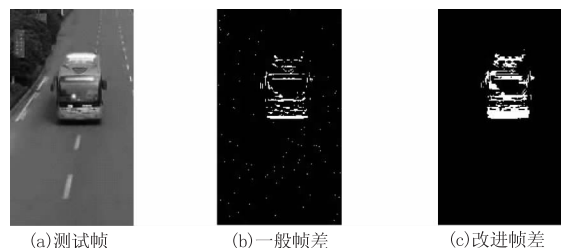


图 5 改进三帧差实验效果对比图

实验结果表明,本文采用的基于方差齐性检验的改进帧差法,得到的动态像素点情况更接近于实际,对于监控系统中消除杂波和运动目标检测有着较好的处理效果。

对连续三帧图像进行改进的帧差运算,获取目标大致轮廓,与当前帧获得的优化分水岭算法轮廓进行融合,实验结果如图6所示。因为分水岭算法获得的类似地形的拓扑地貌图,过分割情况使其并不能完整截取目标轮廓。由 F 检验获取的区域内运动像素点,与分割出多个区域的分水岭算法融合,就可很好地获取目标的轮廓信息。同时基于对运动目标内部信息的感兴趣程度,适当调整分水岭算法的低谷像素阈值,也可取得不错的效果,由此基本解决了一般帧差法存在目标“空洞”及轮廓检测问题。

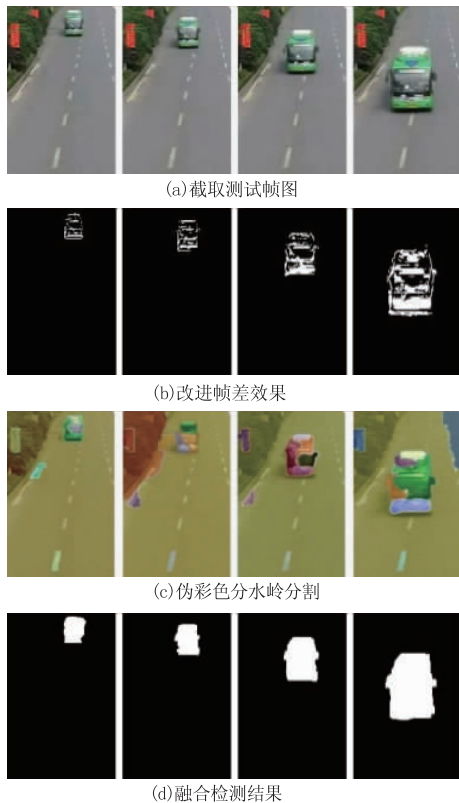


图6 实验结果

图7给出了较为复杂环境下视频序列的实验结果,其中图7(a)为原视频图像某测试帧,图7(b)为分水岭结果,图7(d)为融合检测结果。

根据检测率(PR)和虚警率(FR)两个指标^[14],对算法进行定量比对,用公式描述如下式中:

$$\begin{aligned} \text{检测率: PR} &= \frac{DM}{DM + NM} \\ \text{虚警率: FR} &= \frac{DN}{DM + DN} \end{aligned} \quad (14)$$



图7 复杂环境视频测试结果

其中,DM为检测出来属于运动目标的像素点数,DN为检测出来不属于运动目标的像素点数,NM为未检测出来的运动目标像素点数。对目标检测结果进行定量分析,如表1所示。

表1 目标检测结果

实验结果		视频1 (简单背景)	视频2 (复杂背景)
目标 检测率	两帧差分	83.5%	74.4%
	本文的帧差方法	90.3%	85.3%
分水岭 分割	参数	低谷阈值	30.0
		结构元素	ones(4,4)
	误分率	16.3%	32.7%
本文融合算法的检测率		94.6%	90.4%
本文融合算法的虚警率		2.15%	7.72%

改进后,针对算法复杂度测算,由算法执行效率体现,如图8所示。

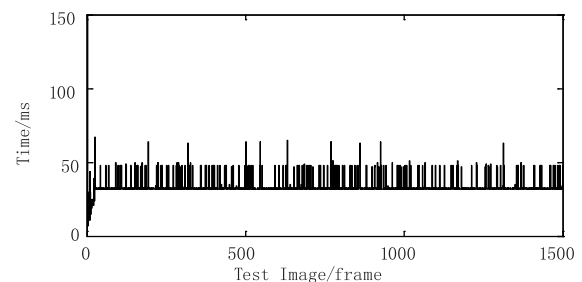


图8 算法执行效率

结果表明,该改进的运动目标检测算法有效。

但对于目标和背景颜色相近的多目标情况,算法效果一般,出现的漏检测绝大部分出自于此。分析结果是由两方面原因造成的。一是可能被漏检的区域像素值变化不大,未大于 F 检验设定的阈值;二是分水岭算法和改进帧差法对目标的轮廓获取不完整,这关乎于分水岭的低谷阈值像素选取问题。

6 小 结

本文对运用帧差法检测运动目标的方法进行了研究,介绍了帧间差分目标检测过程,并提出一种融合分水岭分割算法并基于方差齐性检验的改进帧差法的运动目标检测方法。

通过实验验证,该方法可获得真实目标的轮廓,同时有效地去除无用信息。系统对运动物体所在的环境没有特殊约束,所以这种方法可以应用到很多视频场所中。

下一步的工作考虑不采用传统经验给定值,在检测前引入先验信息,则可大幅度提高分割以及融合的鲁棒性;同时运行速度有待进一步提升,可采用分水岭区域映射法,对帧差获取的目标大致区域内的像素值进行分水岭分割,对连续两帧,极值点进行双向匹配,可直接对目标结果进行跟踪。

参考文献:

- [1] Horn B K, Schunch B G. Determining optical flow [J]. Artificial Intelligent, 1981, 17: 185 - 203.
- [2] SUN Shaoyuan, GU Xiaoqian, GE Man, et al. Pedestrian detection and tracking of vehicle infrared images [J]. Laser & Infrared, 2012, 42 (8): 949 - 953. (in Chinese)
孙韶媛, 谷小婧, 戈曼, 等. 车载红外图像的行人检测与跟踪技术 [J]. 激光与红外, 2012, 42 (8): 949 - 953.
- [3] YANG Shun, ZHAO Baojun, MAO Erke, et al. Non-uniformity correction algorithm based on registration of different motions of target and background [J]. Laser & Infrared, 2013, 43 (11): 1286 - 1290. (in Chinese)
杨硕, 赵保军, 毛二可, 等. 基于目标与背景相异位移配准的非均匀校正算法 [J]. 激光与红外, 2013, 43 (11): 1286 - 1290.
- [4] DAI Kexue, LI Guohui, TU Dan. Prospects and current studies on background subtraction techniques for moving objects detection from surveillance video [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11 (7): 921 - 927. (in Chinese)
代科学, 李国辉, 涂丹, 等. 监控视频运动目标检测减背景技术的研究现状和展望 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11 (7): 921 - 927.
- [5] Haritaoglu I, Harwood D, Davis L S. W4: Real-time surveillance of people and their activities [C]//IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22: 809 - 830.
- [6] Sheikh Y, Shah M. Bayesian modeling of dynamic scenes for object detection [C]//IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27: 1778 - 1792.
- [7] GAN Minggang, CHEN Jie, LIU Jin, et al. Moving object detection algorithm based on three-frame-differencing and edge information [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32 (4): 894 - 897. (in Chinese)
甘明刚, 陈杰, 刘劲, 等. 一种基于三帧差分 and 边缘信息的运动目标检测方法 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32 (4): 894 - 897.
- [8] ZHAO Ji, FENG Chuang, SHAO Fuqun, et al. Moving object detection and segmentation based on adaptive frame difference and level set [J]. Information and Control, 2012, 41 (2): 153 - 158. (in Chinese)
赵骥, 冯闯, 邵福群, 等. 基于自适应帧差和水平集的运动目标检测和分割 [J]. 信息与控制, 2012, 41 (2): 153 - 158.
- [9] Gregory M Wojcik, Wieslaw A Kaminski. Liquid state machine built of hodgkin-huxley neurons and pattern recognition [J]. Neurocomputing, 2004, 58 - 60: 245 - 251.
- [10] ZHANG Lihong, LIANG Yingbo, WU Dingyun. Watershed algorithm research of medical image segmentation based on fuzzy enhancement [J]. Laser & Infrared, 2013, 43 (11): 1307 - 1310. (in Chinese)
张利红, 梁英波, 吴定允. 基于模糊增强的医学图像分割分水岭算法研究 [J]. 激光与红外, 2013, 43 (11): 1307 - 1310.
- [11] Grau V, Mewes A U J, Alcaniz M. Improved watershed transform for medical image segmentation using prior information [J]. IEEE Trans on Medical Imaging, 2004, 23 (4): 447 - 460.
- [12] HAN Feng. Research on the technologies of an adaptive watershed digital image segmentation [D]. Changsha: Hunan University, 2007. (in Chinese)
韩峰. 一种自适应分水岭数字图像分割技术研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- [13] SONG Kang, ZHANG Tao, LIAO Junbi. Theoretical analysis of autocorrelation function of image as sharpness evaluation function [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008, 43 (5): 578 - 581. (in Chinese)
宋康, 张涛, 廖俊必. 图像自相关函数作为清晰度评价函数的理论依据 [J]. 西南交通大学学报, 2008, 43 (5): 578 - 581.
- [14] Fakharian A, Hosseini S, Gustafson T. Hybrid object detection using improved gaussian mixture model [C]//International Conference on Control, Automation and Systems, 2011: 1475 - 1479.