

结合运动目标轮廓提取的均值漂移算法

韩兆福,曾令伟,黄 晨,戴贤妙
(装甲兵工程学院控制工程系,北京 100072)

摘要:提出一种结合运动目标轮廓提取的改进均值漂移算法。对相邻4帧的图像两两配准之后进行差分相乘运算,再进行形态学处理获得理想的目标区域,经权值计算之后在该区域内建立目标颜色直方图模型,计算均值漂移向量进行目标跟踪,当相似性系数小于某个阈值时更新目标模板模型,以适应目标的形变等情况。实验结果表明,改进后的算法具有较好的抗背景干扰能力,能够有效和准确地跟踪目标,而且对跟踪不规则和形变目标有很好的适应性,提高了均值漂移算法的跟踪性能。

关键词:均值漂移;轮廓提取;差分相乘;目标颜色直方图

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Mean-shift tracking algorithm combined with target contour extraction

HAN Zhao-fu, ZENG Ling-wei, HUANG Chen, DAI Xian-miao

(Department of Control Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: This paper aims to propose an advanced mean-shift algorithm which based on contour extraction of moving target. Four adjacent frames of images are obtained, the first frame minus the third frame and the second frame minus the fourth frame after registration, and then multiplied by their differences. Morphological processing method was taken to obtain an ideal target area where target color histogram is established after weight calculation. After that, this algorithm calculates the mean-shift vector to track the target. Target color histogram is updated in order to adapt the target deformations when Bhattacharyya coefficient is lower than threshold. The experimental results show that the algorithm with good capability of resisting background interference, and also tracking targets effectively and accurately. This algorithm has strong robustness to both structure irregularity and deformation, it enhance the tracking capability of mean-shift algorithm.

Key words: mean-shift; contour extraction; differential multiplication; target color histogram

1 引言

均值漂移(Mean-shift)算法是一种基于密度梯度的无参数估计方法,由Fukunaga^[1]在1975年提出,1995年Cheng^[2]将其引入计算机视觉领域,但直到近几年才引起国内外学者们的广泛关注。在目标跟踪领域,均值漂移算法有一些很好的性质,如:算法实时性好,利于跟踪;是一个单参数算法,容易作为一个模块和别的算法集成;采用核函数直方图建模,对边缘阻挡、目标的旋转、变形以及背景运动不敏感。但是采用核函数直方图建模的均值漂移算法具有局限性,在强背景干扰时往往得不到较好的跟

踪效果,该算法存在以下两个不足:

(1)需要预先知道目标的外形特征,以选择合适的核函数的类型和核函数带宽,降低了算法的适用性。

(2)核函数没有精确的考虑物体的外形特征,只是对距离中心位置不同的像素点取不同的权值,是一种粗略的目标模型的估计,抗背景干扰能力差,

作者简介:韩兆福(1954-),男,副教授,主要研究领域为信息融合。

收稿日期:2010-06-06;修订日期:2010-09-01

当目标形状不规则背景有较大变化时这种粗略的估计往往会导致跟踪失败。

针对这些缺陷,许多学者对其进行了改进。文献[3]增加了核函数带宽的自适应过程,对目标的缩放具有适应性,但是没有考虑目标被遮挡或者其他非缩放形变的情况;文献[4]结合目标的运动信息,增强了对快速目标的跟踪能力;文献[5]提出了结合基于边缘的背景减和GVF Snake的轮廓提取方法,该方法能够解决一般运动物体轮廓提取问题,但是容易受到噪声干扰且对使用条件要求苛刻,当背景变化大或者目标轮廓与背景轮廓有重合时,结果容易出错。文献[6]提出基于边缘检测的目标检测方法,该方法没有利用目标的运动信息,是一种粗略的检测法,适用范围有限。

差分相乘法^[7]是检测运动目标常用的方法,本文采用4帧差分相乘,其特点是必须保证间隔的2帧图像之间的目标相对于背景的位移大于1个像素,所以其对快速运动目标适应性好,对慢速目标适应性差;相反,传统的均值漂移算法容易受到背景干扰,对慢速目标背景变化缓慢时跟踪效果好,对快速运动目标背景变化快时跟踪效果差,本文就是依据两者的优缺点互补的特点,提出一种将两者结合的改进的算法。

2 运动目标区域提取方法

目标的颜色直方图是对目标颜色特征的描述,能否精确描述目标特征是决定跟踪效果的关键因素。本算法利用运动目标的特点,采用差分相乘法对变化区域进行检测,并根据估计的速度矢量利用填充和腐蚀等形态学图像处理方法,获得理想的目标区域。具体流程如图1所示。



图1 运动目标区域提取流程

2.1 差分相乘

对配准的图像进行差分可以获得运动目标的轮廓,而采用多帧差分相乘的方法使差分图像中运动边缘的相关峰更加尖锐,这样就能有效排除噪声、光照不均和自然场景中一些微小变化的影响,正确检测出运动目标的边缘轮廓信息。因此,本算法采用相邻四帧配准图像差分相乘的方法,具体公式如下:

$$M(x,y) = |f_1(x,y) - f_3(x,y)| \times |f_2(x,y) - f_4(x,y)| \quad (1)$$

其中,需要分别对 f_1 与 f_3, f_2 与 f_4 两两配准之后才

能进行相减运算, $M(x,y)$ 为差分相乘图像的像素值,如图2所示是一个阶跃边缘信号从 f_1 中依次运动到 f_2, f_3, f_4 中的另一位置时,差分相乘方法原理图。

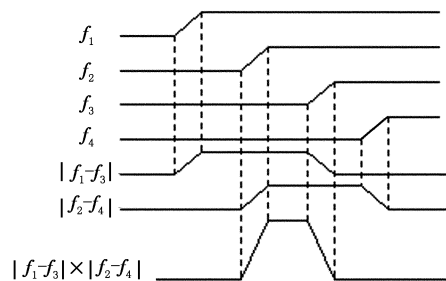


图2 差分相乘原理

考虑到计算机处理的图像包含 $r(x,y), g(x,y), b(x,y)$ 三基色图像,本文采用在RGB颜色空间中来计算差分图像,具体实现如下:

$$M(x,y) = \sqrt{(r_1 - r_3)^2 + (g_1 - g_3)^2 + (b_1 - b_3)^2} \cdot \sqrt{(r_2 - r_4)^2 + (g_2 - g_4)^2 + (b_2 - b_4)^2} \quad (2)$$

最后,对 $M(x,y)$ 进行阈值分割得到二值目标轮廓图像:

$$BW(x,y) = \begin{cases} 0 & M(x,y) < \text{threshold} \\ 1 & M(x,y) \geq \text{threshold} \end{cases} \quad (3)$$

差分相乘获得的二值目标轮廓图像BW具有以下性质:

- (1) 在运动目标边缘具有较高的相关峰,能够有效地抑制大部分噪声;
- (2) 理论上包含 f_2 和 f_3 边缘之间的区域;
- (3) 差分相乘得到的运动区域内部会出现空心区域,即孔洞。

2.2 速度估计

本算法中,为了进行后续的操作,需要对当前跟踪帧进行粗略的速度估计,为了防止误跟踪对速度估计的干扰,采用当前帧之前4帧的速度矢量的平均来作为当前帧的速度估计 \hat{v}_i :

$$\hat{v}_i = \frac{v_{i-1} + v_{i-2} + v_{i-3} + v_{i-4}}{4} \quad (4)$$

2.3 区域填充

由差分相乘图像BW的性质(3),若非运动目标内部纹理足够丰富,差分相乘得到的运动区域内部会出现孔洞,为了最大限度地保留运动目标的区域,需要填补这些孔洞。具体方法是:对BW的前轮廓和后轮廓在跟踪框内分别在速度方向上进行扩展得到BWF, BWB,分别为图3中平行于速度方向和垂直于速度方向的线条所表示,它们相减的区域就

是运动目标所在区域。

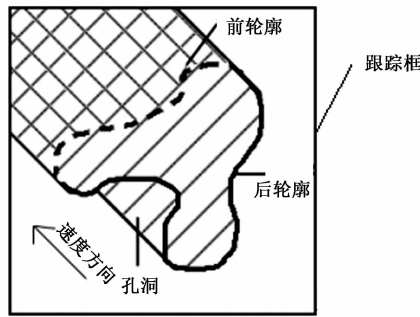


图3 目标区域估计

计算公式如下：

$$BW'(x,y) = \begin{cases} 1 & (x,y) \in BWB \text{ 且 } (x,y) \notin BWF \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

该方法可以最大限度地保留运动目标区域,而且对轮廓保留得完整而精确。

2.4 对目标区域的两次腐蚀

由差分相乘图像 BW 的性质(2)可知,差分相乘方法获得的目标轮廓由 f_2 中目标的后边缘和 f_3 中目标的前边缘构成,如果以 f_3 为准来提取目标区域,则需要把 f_2 的边缘腐蚀掉,即只需要对目标区域 BW' 的后轮廓进行腐蚀,腐蚀量等于速度 \hat{v}_i 的模 $\|\hat{v}_i\|$,表示为:

$$BW_1 = BW' \ominus B \quad (6)$$

式中, BW' 为目标区域; B 为结构元素。由于 $\hat{v}_i = (v_x, v_y)$, 结构元素 B 可表示为 $B = B_x + B_y$, B_x, B_y 的长度分别为 v_x, v_y , 如图 4(a) 所示。

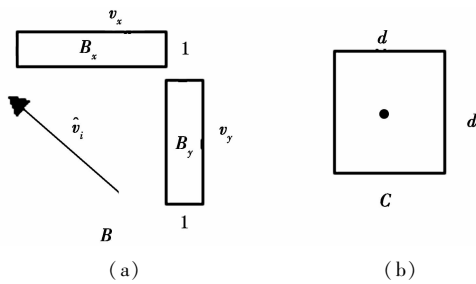


图4 结构元素

除此之外,为了进一步避免目标边缘背景的干扰,还需要对目标区域边缘进行适当缩减,即进行一次腐蚀,结构元素如图 4(b) 所示,腐蚀过程表示为:

$$BW_2 = BW_1 \ominus C \quad (7)$$

该过程具有两个意义:

(1) 由于成像质量的限定,目标边缘模糊,差分相乘获得的边缘比理论上的边缘更有所扩展。腐蚀的大小 d 取决于成像设备点扩散函数的半径。

(2) 差分相乘不能去除所有的噪声,剩余的噪

声被传递给 BW_1 , 该方法可以去除 BW_1 的噪声。

3 基于目标区域加权的均值漂移算法

本算法在获得了包含运动目标区域的二值掩模图像 BW_1, BW_2 之后,将均值漂移算法核函数加权的直方图更换为精确描述的目标区域加权的颜色直方图,而后对目标进行跟踪。下面简要介绍其过程。先计算权值如下:

$$\omega(x,y) = \begin{cases} 0 & BW_1(x,y) = 0 \\ 0.2 & BW_1(x,y) = 1 \text{ 且 } BW_2(x,y) = 0 \\ 1 & BW_2(x,y) = 1 \end{cases} \quad (8)$$

3.1 目标模型

加入空间权值后目标模板对应的直方图为:

$$q_u = C \sum_{i=1}^n \omega(x_i) \delta[b(x_i) - u], C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \omega(x_i)} \quad (9)$$

其中, u 为相应空间的颜色分量; $b(x_i)$ 为像素点 x_i 在相应直方图中的颜色索引值; δ 为 delta 函数; C 为归一化常数。

用同样的方法可以得到当前帧候选目标区域的直方图,记为 p_u 。目标的二值掩模图像应根据目标的新的位置 y 进行相应的平移,得到新的形状相同但是位置不同的掩模 BW_y 和权值 ω_y , 其直方图由下式计算:

$$p_u(y) = C \sum_{i=1}^n \omega_y(x_i) \delta[b(x_i) - u], C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \omega_y(x_i)} \quad (10)$$

3.2 相似性函数

相似性函数描述初始帧目标模型和第 N 帧模型的相似性度量,定义为:

$$\rho(y) \equiv \rho(p(y), q) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y) q_u} \quad (11)$$

3.3 均值漂移向量

通过对相似性函数求最大值,可以推导出均值漂移向量:

$$m(y) = y_1 - y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} - y_0 \quad (12)$$

其中系数 w_i 由下式计算:

$$w_i = \sum_{u=1}^m \delta[b(x_i - u)] \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}} \quad (13)$$

式中, y_0 是第 N 帧搜索窗口的中心坐标; y_1 表示寻找到新的搜索窗口的中心的坐标。

4 算法的具体实现

算法步骤:

(1) 选定跟踪框,该跟踪框应稍大,以保证至少4帧之内目标不会越出跟踪框,使用传统的均值漂移算法跟踪5帧图像(包括初始帧);

(2) 获取连续4帧图像序列,记为 f_1, f_2, f_3, f_4 ,并将 f_1, f_3 和 f_2, f_4 两两进行配准;

(3) 在跟踪框范围内对 $f_1 \sim f_4$ 采用差分相乘法进行处理,然后进行阈值分割,获得二值掩模图像 BW ;

(4) 估计当前帧目标速度 \hat{v}_i ,对 BW 进行区域填充获得不包含孔洞的目标区域 BW' ,再对后边缘进行半径 $\|\hat{v}_i\|$ 为的腐蚀操作得到 BW_1 ;

(5) 对 BW_1 进行半径为3的腐蚀,得到 BW_2 ;

(6) 计算权值图像 $\omega(x, y)$,采用 f_3 建立目标直方图 p_u ,作为目标模板;

(7) 获取下一帧图像,计算直方图 q_u 利用公式(12)、公式(13)计算均值漂移向量,直到收敛,获得目标新的位置 y ;

(8) 移动权值图像 $\omega(x, y)$ 到新位置 y ;

(9) 重复步骤7~8,直到相似性系数小于0.75回到步骤2更新目标模板。

5 实验结果与分析

本实验基于赛扬2.44 G CPU、768 M内存计算机平台,在Windows XP环境下采用VC++6.0编程实现,对分辨率为 320×240 、帧速为25 f/s的avi格式视频进行测试,跟踪视频中由近及远的行人。

由于图像配准方法不在本文的研究范围之内,本实验采用静态背景下的图像序列来做测试。

5.1 跟踪框的选取

对配准的4帧图像选取第3帧作为待跟踪帧,如图5所示。图中白色方框内为待跟踪目标,跟踪框是用于提取目标区域的主要搜索窗口,应当完全包含目标并留出一定余量,但应避免引入别的运动物体为宜。



图5 跟踪框选取

5.2 运动目标区域提取过程

图6是运动目标区域提取的效果图。图6(a)是对跟踪框进行差分相乘并阈值分割后的图像,阈值取30,可以看到其已经获得了运动物体的初步轮廓,只是存在孔洞和包含有部分噪声;图6(b)是在速度方向上进行区域填充后的结果,图6(c)是用结构元素 B 腐蚀后的目标区域, B 的长度为 $\|\hat{v}_i\|$,图6(d)是用结构元素 C 腐蚀后的结果, C 的半径取3个像素,图6(e)是跟踪的实际效果图,暗线是 BW_1 的轮廓,亮线是 BW_2 的轮廓,图6(f)是第18帧相似性系数小于0.75时目标模板自动更新的效果。本实验中当相似性系数小于0.75时进行一次模板更新操作,也即需要进行一次配准操作,总计算量部分取决于目标形变的快慢,当目标形变快时,需要及时地进行模板更新操作,当目标形变慢时,甚至整个跟踪过程都无需更新模板。

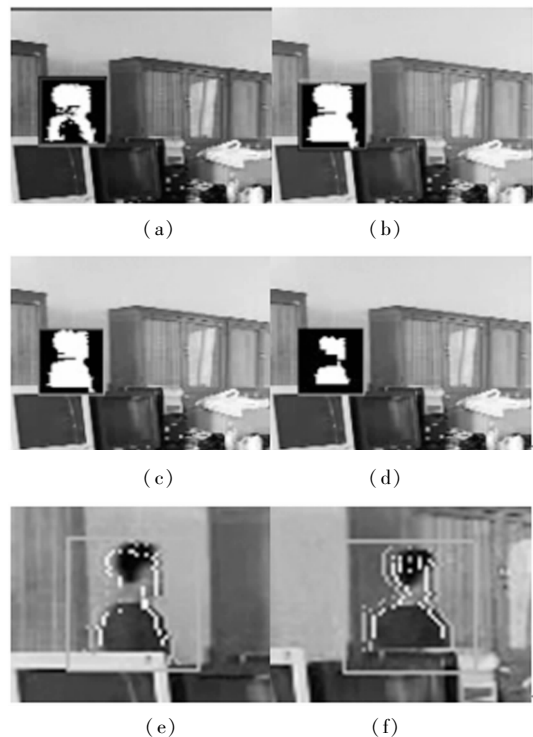


图6 运动目标区域提取过程

5.3 跟踪效果对比分析

本实验进行了传统的均值漂移算法和本文的算法的对比,经过计算获得2条相似性系数曲线,如图7所示。其中相似性系数较小的曲线是采用传统的均值漂移算法进行跟踪获得的,可以看到,当图像处理到15帧的时候相似性系数急剧下降,从跟踪效果来看,恰恰是在此时由于背景变化和目标的积累导致跟踪丢失;另外一条曲线是采用了基于目标区域加权的均值漂移算法的结果,跟踪过程平稳而

精确,分别在第18帧和第51帧的时候更新了一次模板,但是运算量稍大。

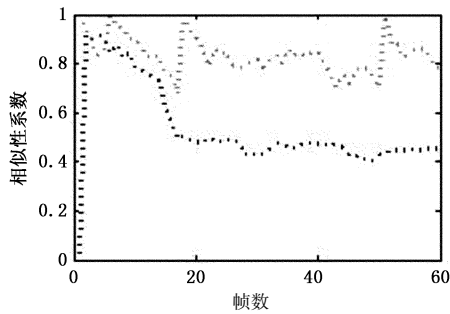


图7 相似性系数

6 结束语

提出一种结合运动目标区域提取的改进的均值漂移算法,该算法采用差分相乘方法,结合速度估计和形态学处理获得理想的目标区域,计算空间权值替换传统均值漂移算法中的核函数。该算法精确地描述目标的颜色特征,具有很好的抗背景干扰能力,提高了均值漂移算法的跟踪性能,而对于目标形变的情况,本文基于该算法提出了相应的模板更新策略,在不显著增加算法运算量的前提下达到了良好的跟踪效果。在该算法下,当目标本身存在孔洞时,算法会将这些孔洞抹掉而当成目标区域,此方面还有待改进。

参考文献:

- [1] Fukunaga K, Hostetler L. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition [J]. IEEE Trans. on Inform. Theory, 1975, 21(1): 32 - 40.
- [2] Chen Yi-zong. Mean-shift mode seeking, and clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790 - 799.
- [3] Liu Wei, Luo Yi-ning, Sun Nan. Mean-shift tracking algo-

rithm based on background optimization [J]. Journal of Computer Applications, 1995, 17(8): 790 - 799. (in Chinese)

柳伟,罗以宁,孙南. 基于背景优化的 Mean-Shift 目标跟踪算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(4): 1015 - 1017.

- [4] Zhang Xu, Li Zhi-guo. Particle filter and mean shift-based object tracking [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(8): 834 - 846. (in Chinese)

张旭,李志国. 基于粒子滤波和均值平移的目标跟踪 [J]. 激光与红外, 2008, 38(8): 834 - 846.

- [5] Zhao Yao, Chang Fa-liang, Hao Hong-ting. A non-rigid object tracking algorithm based on improved mean-shift [J]. Computer Engineering & Science, 2007, 29(12): 71 - 73. (in Chinese)

赵瑶,常发亮,郝洪霆. 基于改进的均值漂移算法的非刚性目标跟踪[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(12): 71 - 73.

- [6] Lian Jie, Han Chuan Jiu. Infrared target auto-tracking method based on edge detection and modified mean-shift algorithm [J]. Measurement Control Technology and Instruments, 2007, 8: 76 - 79. (in Chinese)

连洁,韩传久. 基于边缘检测和改进 Mean-Shift 算法的红外目标自动跟踪方法[J]. 测控技术与仪器仪表, 2007, 8: 76 - 79.

- [7] Liu Su-zhen, Deng He-lin. A moving object tracking algorithm based on feature fusion [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(8): 837 - 840. (in Chinese)

刘素珍,邓和林. 一种基于特征融合的运动目标跟踪算法[J]. 激光与红外, 2008, 38(8): 837 - 840.

- [8] Xie Feng-ying, Zhao Dan-pei. Visual C++ Digital image processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008. (in Chinese)

谢凤英,赵丹培. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.