

基于均值漂移聚类的运动目标检测

牛强强¹, 陈松¹, 马晋飞², 魏建猛¹

(1. 重庆交通大学 信息科学与工程学院, 重庆 400074;

2. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400044)

摘要: 为了有效减少噪声对运动目标检测的影响, 提出了一种利用均值漂移聚类实现运动目标检测的方法。首先运用 Mean Shift 算法分别对三帧连续图像进行平滑去噪处理, 然后对图像进行边缘提取, 最后通过三帧差分法对三帧图像进行差分, 进而得到运动目标。实验结果表明, 该方法可以有效地抑制噪声并提取出运动目标。

关键词: 运动目标检测; 均值漂移; 三帧差分; 聚类

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)20-0050-04

Moving object detection based on Mean Shift clustering

Niu Qiangqiang¹, Chen Song¹, Ma Jinfei², Wei Jianmeng¹

(1. School of Computer Science, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to reduce the impact of noise on moving target detection effectively. This paper presents a Mean Shift clustering method to detect the moving target. Firstly, noise in three consecutive frames image is removed by using the Mean Shift algorithm. Then, image edge extraction is done, and the three-frame-differencing method is used for the three consecutive frames image to get the moving object. Experimental results show that this method can restrain the noise and extract the moving target effectively.

Key words: moving object detection; Mean Shift; three-frame-differencing; clustering

运动目标检测是计算机视觉、模式识别和数字视频处理领域的一个重要课题。高效、实时地检测运动目标可以为目标跟踪、行为分析和理解提供依据。传统的运动目标检测方法主要有帧间差分法、背景差分法和光流法。光流法^[1]虽然可以精确地检测运动目标, 但其计算复杂度高, 难以满足实时性的要求。帧间差分法^[2-3]是目标检测常用的方法, 它的计算量低, 而且适应性也很强, 但同时对运动目标的速度有一定的要求, 如果运动速度较快且选取的时间间隔过大, 就会造成两帧之间无覆盖区, 从而无法分割出运动目标。背景差分法^[3]是对连续的多帧图像进行背景重构, 但其自适应能力差, 很难得到真实的背景图像。

均值漂移 MS(Mean Shift)算法作为一种有效的统计迭代算法, 最早由 FUKUNAGA 在 1975 年提出, 但直到 1995 年, Cheng Yizong 设计了 MS 算法^[4]中的核函数和权重函数, 从样本到被偏移点的距离和不同样本的不同贡献两个方面作了改进并将其应用于聚类和全局优化, 才

扩大了该算法的适用范围, 并掀起了对该算法研究的热潮。MS 算法完全依靠特征空间中的样本点进行分析, 不需要任何先验知识, 收敛速度快, 近年来被广泛应用于聚类、图像平滑、图像分割和跟踪等计算机视觉领域。

本文根据 MS 算法的特点, 在彩色空间域内对图像进行平滑聚类, 从而降低噪声对运动目标的干扰, 更精确地进行边缘提取。本文首先讨论帧间差分法和均值漂移算法的基本原理, 然后讨论本文提出的方法, 最后通过实验加以验证。

1 帧间差分法

帧间差分法是在目标检测中经常用到的方法, 它计算简单, 不易受环境变化(如光线变化等)的影响, 实时性好。

设 $f(x, y, t)$ 和 $f(x, y, t-1)$ 为图像序列中相邻两帧图像, 经过差分处理后得到的差分图像 $D(x, y, \Delta t)$ 为:

$$D(x, y, \Delta t) = |f(x, y, t) - f(x, y, t-1)| \quad (1)$$

它提取的运动目标比实际的要大, 往往出现“双影”

《微型机与应用》2011年 第30卷 第20期

现象^[3],同时会产生“空洞”现象。当目标运动速度较慢时,目标出现的区域有可能变化不大,形成类似于随机噪声的孤立点。为了避免目标的丢失,通常采用三帧差分法实现运动轨迹的累计。

设 $f(x,y,t-1)$ 、 $f(x,y,t)$ 和 $f(x,y,t+1)$ 为连续的三帧图像,用三帧差分法处理后得到的差分图像 $D(x,y,\Delta t)$ 为:

$$D(x,y,\Delta t) = |f(x,y,t) - f(x,y,t-1)| \cdot |f(x,y,t) - f(x,y,t+1)| \quad (2)$$

在此基础上选取适当的阈值 T , 得到二值化后的差分图像 $B(x,y,\Delta t)$ 为:

$$B(x,y,\Delta t) = \begin{cases} 1, & D(x,y,\Delta t) \geq T \\ 0, & D(x,y,\Delta t) < T \end{cases} \quad (3)$$

其中背景为黑色,目标为白色。

2 MS 基本算法

在 d 维空间 R^d 中,给定 n 个数据点 $x_i, i=1, \dots, n$ 。由核函数 $K(x)$ 和窗宽 h 得到多元核密度估计函数^[5]:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (4)$$

对于径向对称核函数,通常取为:

$$K(x) = c_{k,d} k(\|x\|^2) \quad (5)$$

其中, $c_{k,d}$ 是一个归一化常量,确保 $K(x)$ 积分为 1, 密度函数模型被定位于梯度函数为 0 处,即 $\nabla f(x)=0$ 。

由式(4)可得密度梯度估计:

$$\begin{aligned} \nabla f(x) &= \frac{2c_{k,d}}{nh^{d+2}} \sum_{i=1}^n (x_i - x) g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right) \\ &= \frac{2c_{k,d}}{nh^{d+2}} \left[\underbrace{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}_{\text{term1}} \right] \times \\ &\quad \left[\underbrace{\frac{\sum_{i=1}^n X_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)} - x}_{\text{term2}} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $g(s) = -k^{-1}(s)$ 。式中,等号右边 term1 为使用核函数 $G(x) = c_{g,d} g(\|x\|^2)$ 计算的点 x 处的密度估计, term2 为 Mean Shift 矢量:

$$m_h(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)} - x \quad (7)$$

这个 MS 矢量总是指向密度最大增长的方向。由此给定初始值 $x=y_1$, 得到 MS 算法的过程如下:

- (1) 计算 MS 矢量 $m_h(x_i)$;
- (2) 更改密度估计窗口:

$$y_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}, j=1, 2, \dots \quad (8)$$

(3) 迭代步骤(1)和步骤(2),直到收敛为止,即 $\nabla f(x_i) = 0$ 。

3 算法设计

3.1 基本思路

根据前两部分介绍的三帧差分法和 MS 算法的特点,本文提出的算法流程如图 1 所示。

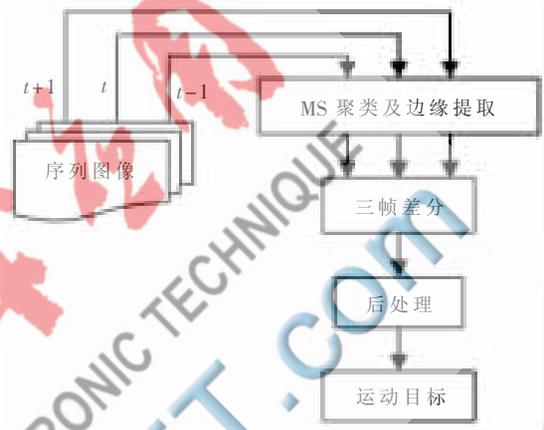


图 1 算法流程

- (1) 获取 t 时刻前后三帧图像,分别用 MS 进行聚类;
- (2) 对步骤(1)中处理的图像,利用 Laplacian 算子进行边缘提取;
- (3) 对步骤(2)得到的图像进行三帧差分,最终得到运动目标。

3.2 MS 聚类

参考文献[5]中对 MS 算法进行了详细的介绍,而参考文献[6,8]分别对算法进行了改进,优化了算法的性能。本文使用 MS 算法先将图像像素转换成特征空间的采样点,然后对采样点采用参考文献[8]中的思想对图像进行均值漂移聚类。

对一幅彩色图像,统一考虑图像的空间信息和色彩信息,特征空间可由二维的位置空间和三维的色度空间组成,图像像素转换成特征空间中的一个 5 维采样点 $x=(x^s, x^r)=(x, y, L, u, v)$, 其中, x^s 表示像素的图像坐标, x^r 表示该像素的三维色彩特征。因为位置空间和色彩空间相互独立,所以核函数式(5)可分解为两个空间的核函数之积,即:

$$K_{\text{color}}(x) = \frac{C}{h_s^2 h_r^p} k\left(\left\|\frac{x^s}{h_s}\right\|^2\right) k\left(\left\|\frac{x^r}{h_r}\right\|^2\right) \quad (9)$$

其中, C 为归一化常数, h_s 和 h_r 是所使用的带宽。在实际中,核函数总会提供满意的性能,因此,只需要对带宽参数 $h=(h_s, h_r)$ 进行设置。

令 x_i 和 $z_i (i=1, \dots, n)$ 分别表示在特征空间中的输入和滤波后图像的像素,对每个像素进行以下操作:

- (1) 初始化 $j=1$ 和 $y_{i,1}=x_i$;
- (2) 根据式(8)计算 $y_{i,j+1}$ 直到收敛, $y=y_{i,c}$;
- (3) 存储在 $z_i=(x_i^s, y_i^r, c)$;
- (4) 把在频域和空间域中与 z_i 距离分别小于 h_s 和 h_r 的点分为同一类 $\{C_p\}_{p=1 \dots m}$;
- (5) (可选项)去除在特征空间中低于设定值 M 的像素。

其中,步骤(1)~步骤(3)为 Mean Shift 滤波的过程,步骤(4)~步骤(5)为 Mean Shift 聚类的过程。

3.3 边缘提取

利用 MS 算法对三帧图像进行处理,然后使用 Laplacian 算子进行边缘提取。该算子是根据图像 $f(x,y)$ 在 x,y 方向上的二阶偏导数定义的一种边缘检测算子^[9],其定义为:

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial^2 y} \quad (10)$$

理论上这是一个与方向无关的边缘检测算子,但由于数字图像的离散性,为了能有效地检测出每一条边缘,本文使用扩展的 Laplacian 算子,其方向模板为:

$$\nabla^2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

4 实验结果分析

参考文献[3]介绍了传统三帧差分法,即在帧间差发的基础上对连续的三帧图像进行差分运算,而参考文献[7]对传统的三帧差分进行了改进,在进行差分运算之前先对三帧图像进行边缘检测,故称为“边缘三帧差分”,该方法有效地抑制了亮度突变对三帧差分的影响。

本文是以 Adobe Flash Builder 4 为实验平台,通过摄像头采集连续三帧图像,以分辨率为 213 dip×160 dip 进行处理,在中间一帧中加入了噪声强度 P 为 0.05、0.15、0.2 和 0.3 的噪声,图 2 为分别使用传统的三帧差分、边缘三帧差分法和本文所提出的方法在噪声强度为 0.15 时得到的实验效果图。

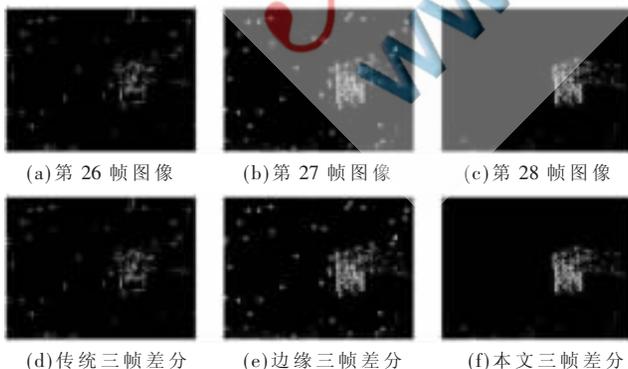


图 2 实验结果对比

图 2(a)、图 2(b)和图 2(c)分别取自连续的三帧图像;图 2(d)为传统的三帧差分后的图像,不能有效地抑

制噪声,且运动目标的边缘不是很清晰;图 2(e)为采用 Laplacian 算子进行边缘三帧差分后的图像,虽然运动目标可以有效地识别,但也不能对噪声起到抑制作用;图 2(f)采用为本文提出的方法进行的三帧差分后的图像,对随机噪声点可以有效地抑制,并且运动目标边缘也比较清晰,充分说明了该算法对噪声的处理效果。

为了对本文提出的算法进行比较,引入噪声强度作为衡量标准,设噪声强度为 P , $sum(Y)$ 为图像 Y 的像素总和, e 为随机生成的噪声数,则:

$$P = \frac{e}{sum(Y)} \times 100\% \quad (11)$$

三种方法在不同噪声下的比较如表 1 所示。由表 1 可知,在含有少量噪声的情况下,本文算法明显优于其他两种算法,保持运动目标边缘的同时使用聚类有效地去除了噪声点,说明了本算法的优越性。

表 1 三种方法在不同噪声下的比较

噪声强度 $P/\%$	三种方法 10 次实验后平均噪声强度 $P/\%$		
	传统三帧差分	边缘三帧差分	本文方法
0.05	0.057	0.349	0.049
0.15	0.138	0.984	0.078
0.2	0.195	1.339	0.083
0.3	0.281	1.917	0.132

本文分析了经典的差分算法的不足,提出了一种新的目标检测方法,首先对三帧图像在彩色空间域中运用均值漂移聚类算法平滑图像去除噪声,然后进行边缘提取,有效地防止亮度突变的影响,最后通过三帧差分提取运动目标。本文的算法能够很好地消除图像中噪声的影响,同时保持图像的边缘。与其他常用算子相比,本文算法抗噪能力更强,能够提取显著的边缘,这更符合人类视觉的特点。实验结果证明了算法的有效性。

参考文献

- [1] LEE Y S, MOKRI S S, HUSSAIN A, et al. Motion detection using Lucas Kanade algorithm and application enhancement[C]. International Conference of Electrical Engineering and Informatics. ICEEI'09, 2009, 2: 537-542.
- [2] LIPTON A J, FUJIYOSHIH, PATIL R S. Moving target classification and tracking from real-time video[C]. WACV'98, Proceedings of the Fourth IEEE Workshop on Applications of Computer, Princeton, NJ, 1998: 8-14.
- [3] 莫林, 廖鹏, 刘勋. 一种基于背景减除与三帧差分的运动目标检测算法[J]. 微计算机信息, 2009(12): 274-276.
- [4] Cheng Yizong. Mean Shift, mode seeking, and clustering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [5] COMANICIN D, MEER P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.

《微型机与应用》2011年 第30卷 第20期

- [6] 王爽,夏玉,焦李成.基于均值漂移的自适应纹理图像分割方法[J].软件学报,2010,21(6):1451-1461.
- [7] 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] 王朝英,李光,侯志强,等.融合 mean shift 和区域显著性的彩色图像分割算法[J].计算机工程与应用,2010,46(28):181-184.
- [9] 万军,徐汀荣.基于 Laplacian 算子的图像边缘检测方法研究[J].现代电子技术,2004,20(188):92-93.

(收稿日期:2011-07-22)

作者简介:

牛强强,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:图形图像处理。

陈松,男,1963年生,教授,主要研究方向:图形图像和数据库。

马晋飞,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式。

