

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.02.019

# 核窗宽自适应的均值偏移跟踪算法

陈胜蓝, 龙永红, 赵序勇

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 针对固定窗宽的均值偏移算法对逐渐变大的运动目标跟踪不准确的问题, 提出了一种窗宽自适应的均值偏移跟踪算法。先对当前帧进行均值偏移跟踪, 再通过后向跟踪使跟踪窗口中心与目标形心匹配, 利用巴氏系数最大化对窗宽进行 $\pm 10\%$ 的修正, 使跟踪窗口的尺度自适应变化。实验结果表明: 该算法提高了跟踪精度, 增强了跟踪稳定性, 保证了跟踪的实时性。

**关键词:** 核窗宽自适应; 形心匹配; 后向跟踪; 均值偏移

**中图分类号:** TP391.413

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2012)02-0087-06

## Mean-Shift Tracking Algorithm Based on Adaptive Kernel Bandwidth

Chen Shenglan, Long Yonghong, Zhao Xuyong

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Mean-shift algorithm with fixed bandwidth often fails in tracking the object that moves with obviously change in scale, especially changing bigger. To solve the problem, a new adaptive bandwidth mean-shift tracking algorithm is proposed. The algorithm first matches the center of the tracking window with the target center by the afterward-tracking method, then uses the principle of maximizing bhattacharyya coefficient to fix the bandwidth by  $\pm 10\%$ , thus makes the bandwidth change adaptively. The experimental results prove that the algorithm improves the tracking accuracy, enhances the tracking stability and ensures the real-time tracking.

**Keywords:** kernel bandwidth adaptive; centroid-based matching; backforward tracking; mean-shift

### 1 相关研究

在智能交通领域, 跟踪运动目标是获得交通信息的一个重要途径。在视频序列中, 运动目标的有效跟踪是计算机视觉领域的一个挑战性课题。均值偏移<sup>[1-2]</sup>(Mean-Shift)是无参概率密度估计算法, 也是高效的模式匹配算法, 它不需要提取前景, 而能快速收敛于概率密度函数的最大值, 因此, 该算法被广泛应用于实时性要求较高的跟踪场合。

核窗宽是影响均值偏移跟踪效果的一个重要因素, 它决定了参与迭代的样本数量, 反映了目标大

小。通常在得到第一帧时由跟踪目标确定核窗宽的大小, 并在整个跟踪过程中保持不变, 即固定核窗宽。但固定核窗宽的Mean-Shift跟踪算法存在以下缺点: 1) 当目标尺寸不断增大并大于核窗宽时, 导致核窗宽的尺度定位和空间定位的双重偏差, 即目标尺寸增大后, 核窗口的尺寸不能反映目标尺寸的大小, 其中心没有对准目标形心, 这样容易导致目标的丢失; 2) 当目标尺寸不断缩小时, 导致核窗宽的尺度定位误差, 即核窗口的区域大于目标区域, 但是其中心始终指示着目标形心。

为了解决固定核窗宽算法的缺陷, 国内外许多

收稿日期: 2011-12-26

作者简介: 陈胜蓝(1986-), 女, 湖南衡阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为智能控制与图像处理,

E-mail: honguo18@163.com

专家和学者提出了多种不同的改进方法。如 G. R. Bradski<sup>[3]</sup>提出了基于不变矩的方法,但是该算法较复杂,不利于实时跟踪。D. Comaniciu 等人<sup>[4]</sup>提出了采用  $\pm 10\%$  的增量对核窗宽进行修改,该方法对当前帧分别用 3 个不同大小的核进行 Mean-Shift 跟踪,选择最大的巴氏 (bhattacharyya) 系数所对应的核窗框作为最佳核窗框,当目标逐渐缩小时效果不错,但是对尺寸逐渐增大的目标核窗宽难以扩大,反而会变小,原因在于基于巴氏系数的相似性度量经常会在较小的跟踪窗口达到局部最大。R. T. Collins<sup>[5]</sup>提出了增加额外的尺度核,在所定义的离散尺度空间内进行 Mean-Shift 迭代,以找到最佳的核窗宽,Mean-Shift 采用 Epanechnikov 核的导数为常数,即 Mean-Shift 迭代过程等效于在空间定位的基础上对尺度空间进行平均操作,该方法与 D. Comaniciu 等人所提算法在本质上具有类似的缺陷。彭宁嵩等人<sup>[6]</sup>提出了后向跟踪、形心匹配和角点分析相结合来确定核窗宽半径的方法,该方法可以较好地将窗宽中心定位于目标形心,但是该算法时间复杂度较高,不利于实时跟踪。朱胜利等人<sup>[7]</sup>提出了用仿射变换来描述目标尺度随时间的变化,分别利用 Mean-Shift 算法和连续 2 帧中匹配窗口的最大相关系数计算出反射变换参数,计算带宽的变化与 Mean-Shift 的起始位置,但是仿射模型受光照影响较大,该方法还需要分别在角度、尺度作  $N$  点的相关运算,计算繁琐,不利于实时跟踪。左军毅等人<sup>[8]</sup>通过修改最优带宽的判别条件和采用自适应滤波器参数 2 项措施对 D. Comaniciu 等人所提算法进行了改进,但计算较为复杂。为了解决核窗宽自适应和实时跟踪的问题,不少研究者提出了较为简洁的算法,常见的有在巴氏系数  $\pm 10\%$  的窗宽修正方法上引入新的机制。如沈伟等人<sup>[9]</sup>提出了用目标面积的变化比作为状态量,利用卡尔曼滤波器对未来帧中目标面积的变化进行预测,进而获得同目标尺度变化相适应的核函数窗宽。陈昌涛等人<sup>[10]</sup>提出基于比较巴氏系数的方法,首先用模板中心加权与目标边缘加权的直方图计算巴氏系数,然后在跟踪时用候选目标边缘加权直方图与模板中心加权直方图计算出新的巴氏系数,根据 2 个系数的大小对核带宽进行 10% 的缩放,该方法一定程度上能克服基于巴氏系数窗宽缩小的问题。白向峰等人<sup>[11]</sup>提出了用上一帧的 Mean-Shift 矢量和当前跟踪窗口的中心对下一帧的跟踪窗口中心进行预测,结合巴氏系数  $\pm 10\%$  的修正方法对窗宽进行更新,该方法在速度不快和平移运动中能够取得较好的效果。

针对固定窗宽的 Mean-Shift 算法在目标运动逐渐

增大时容易丢失目标和跟踪不准确的问题,本文提出了 Mean-Shift 算法与后向跟踪算法相结合,在巴氏系数  $\pm 10\%$  的窗宽修正方法上增加形心匹配机制,使核窗宽自适应实时变化。

## 2 Mean-Shift 跟踪算法

### 2.1 Mean-Shift 定义

设  $X$  是  $n$  维欧式空间  $A$  中的有限序列,即  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 其中样本数据点  $x \in A$  的 Mean-Shift 矢量定义为

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^n G(x_i - x) \omega(x_i) (x_i - x)}{\sum_{i=1}^n G(x_i - x) \omega(x_i)}, \quad (1)$$

式中:  $G(x_i - x)$  为核函数;

$\omega(x_i)$  为样本数据点  $x_i$  的权值函数。

差值  $m(x)$  被称为 Mean-Shift 矢量,反复将数据点朝着 Mean-Shift 矢量方向移动直至收敛的过程被称为 Mean-Shift 算法。给定一个初始点  $x$ , 核函数  $G$ , 容许误差  $\xi$ , Mean-Shift 算法步骤如下:

1) 计算  $m(x)$ ;

2) 如果满足结束条件即  $\|m(x)\| < \xi$ , 算法结束,否则跳到步骤 3);

3) 把  $x \leftarrow (m(x) + x)$ , 继续执行步骤 1)。

### 2.2 目标模型建立与相似性判断

首先,提取目标的颜色特征,用颜色直方图作为特征函数,建立目标模型;然后,用相似性度量函数将目标模板和候选模板进行匹配,即用巴氏系数表示它们的相似度。

目标模板和候选目标的颜色概率分布直方图<sup>[13-15]</sup>分别定义为:

$$q_u(x_q) = C_q \sum_{i=1}^{n_q} k \left( \left\| \frac{x_i^* - x_q}{h_q} \right\|^2 \right) \delta [b(x_i^*) - u], \quad (2)$$

$$p_u(x_p) = C_p \sum_{i=1}^{n_p} k \left( \left\| \frac{x_i - x_p}{h_p} \right\|^2 \right) \delta [b(x_i) - u], \quad (3)$$

式中:  $k$  为核函数的轮廓函数;

$h_q, h_p$  为核函数宽度,即跟踪窗口的半径;

$C_q, C_p$  为归一化系数;

$x_i^*, x_i$  分别表示目标模板和候选模板的中心像素坐标;

$b(x)$  为像素  $x$  的颜色量化到  $m$  个颜色子空间的索引值;

$\delta[b(x)-u]$ 为克罗内克函数 (kronecker delta), 判断像素  $x_i$  的颜色值是否等于第  $u$  个索引值。如果 2 个值相等, 则  $\delta$  为 1, 否则为 0。

一般只能索引 512 个颜色值, 本文将 R, G, B 3 个颜色量化为 16 个等级, 可以索引 4 096 个颜色值。

将目标模板与候选模板的离散分布距离定义为

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho(p_u(y), q_u)}, \quad (4)$$

式中  $\rho(y) = \rho(p_u(y), q_u) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y)q_u}$ 。

$\rho(y)$  是巴氏系数, 表示目标特征和候选特征之间的匹配程度, 其取值范围为  $[0, 1)$ 。 $\rho$  值越大, 表示 2 个模型越匹配, 因此, 将  $\rho$  值最大的候选目标位置作为最终的目标位置。

### 2.3 目标定位

为了在当前帧中找到对应于目标的位置,  $d(x)$  应该最小化, 即最大化巴氏系数  $\rho$ 。假设当前帧  $y_0$  处的候选目标特征为  $p_u(y_0)$ ,  $\rho(y)$  在  $p_u(y_0)$  处泰勒级数展开, 并将式 (3) 代入其中得

$$\rho(y) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y_0)q_u} + \frac{C_p}{2} \sum_{i=1}^{n_p} \left[ \omega(x_i) k \left( \left\| \frac{x_i - y}{h_p} \right\|^2 \right) \right], \quad (5)$$

式中,  $\omega(x_i)$  为样本数据点  $x_i$  的权值函数, 即

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

由于第一项是与  $y$  无关的常数, 故求  $\rho(y)$  的最大值只需要对第二项进行处理, 根据 Mean-Shift 算法从  $y_0$  处计算出新的目标位置  $y_1$ 。

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} x_i w_i g \left( \left\| \frac{y_0 - x_i}{h_p} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_p} w_i g \left( \left\| \frac{y_0 - x_i}{h_p} \right\|^2 \right)}。 \quad (6)$$

核函数采用 Epanechnikov Kernel 函数, 迭代向量式 (6) 可以进一步简化为

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} x_i w_i}{\sum_{i=1}^{n_p} w_i}。 \quad (7)$$

首先, 计算  $\rho(y_1)$ , 并与  $\rho(y_0)$  进行比较, 更新候选目标位置。如果  $\rho(y_1) < \rho(y_0)$ , 则  $y_1 = (y_1 + y_0) / 2$ ; 然后, 判断是否满足条件  $\|y_1 - y_0\| < \xi$ , 满足条件停止迭代, 否则  $y_0 = y_1$ , 继续迭代。

## 3 核窗宽的自适应调整

对于不断变大的跟踪目标, 本文采用彭宁蒿等人<sup>[6]</sup>提出的后向跟踪算法使窗宽的中心对准目标形心, 再用最大化巴氏系数更新窗宽, 以适应目标的尺度变化。

### 3.1 后向跟踪算法

后向跟踪是对目标形心进行配准并补偿空间定位偏差的一种算法。相邻 2 帧的目标形心配准过程如下所述。

1) 向前跟踪。假定相邻 2 帧的运动很小, 第  $i$  帧的目标形心为  $c_i = o_i$ , 初始跟踪窗口为  $t_i$ 。第  $i+1$  帧目标变大时, 当前目标形心  $o_{i+1}$  与跟踪窗口  $t_{i+1}$  的中心  $c_{i+1}$  之间存在偏差  $d = c_{i+1} - o_{i+1}$ , 而目标形心  $o_{i+1}$  是有偏差的跟踪窗口  $t'_{i+1}$  的中心, 所以需要第  $i+1$  帧的目标形心  $o_{i+1}$  进行配准, 并补偿空间定位偏差。

2) 后向跟踪。后向跟踪方法是从第  $i+1$  帧到第  $i$  帧反向跟踪目标, 因此目标是缩小的状态。第  $i$  帧的当前跟踪窗口中心  $c'_{i+1}$  为第  $i+1$  帧的跟踪窗口中心, 则  $c'_{i+1}$  与  $c_i$  之间存在偏差  $d' = c_i - c'_{i+1}$ , 为了使第  $i+1$  帧的跟踪窗口中心与目标中心匹配, 可以在原有的跟踪基础上近似补偿偏差  $d'$ , 即

$$o_{i+1} \approx c_{i+1} + d'。 \quad (8)$$

后向跟踪算法原理如图 1 所示。

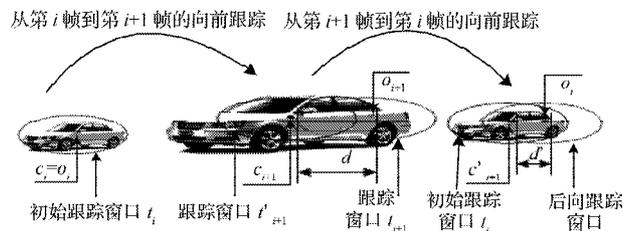


图 1 后向跟踪原理图

Fig. 1 The principle diagram of backward tracking

当目标逐渐变大, 且目标的运动速度不快的情况下, 使用后向跟踪方法对跟踪窗口中心与目标中心进行匹配, 可以获得较好效果。

### 3.2 窗宽尺寸更新

准确定位目标形心后, Mean-Shift 的核将定位在目标形心, 这样缩小了跟踪窗口中心与目标形心的偏差, 但是, 窗口的大小始终保持不变, 不能准确地反映目标的尺寸变化, 将导致跟踪误差。本文采用 Comaniciu 等人<sup>[4]</sup>提出的基于巴氏系数最大化的窗宽更新准则来调整窗宽大小。

假设  $h_p$  表示前一帧窗宽,  $h_n$  表示当前帧窗宽, 则可通过 3 个公式得到当前帧窗宽半径: 1)  $h_n = h_p$ ; 2)  $h_n = h_p - \Delta h$ ; 3)  $h_n = h_p + \Delta h$ , 其中  $\Delta h = 0.1h_p$ 。通过比较

3个公式计算所得到的当前帧的窗宽  $h_n$  值, 选择最能反映当前帧的目标大小的窗宽半径, 并将其巴氏系数最大化。这种方法过度依赖于巴氏系数最大化, 使得窗宽变化很敏感。本文对巴氏系数最大的窗宽通过式(9)再进行调整, 即

$$h_n = \gamma h_o + (1-\gamma)h_p, \quad (9)$$

式中:  $\gamma$  是窗宽修正值, 通常设置为 0.1;

$h_o$  是固定核窗宽半径值。

$h_n$  反映了当前目标窗口的变化情况。在形心匹配的基础上, 这种窗宽更新方式更有效且简洁, 提高了均值偏移跟踪的准确性与实时性。

### 4 算法流程

为了提高 Mean-Shift 算法的跟踪精度, 窗宽尺度能自动更新, 具体算法流程如下所述。

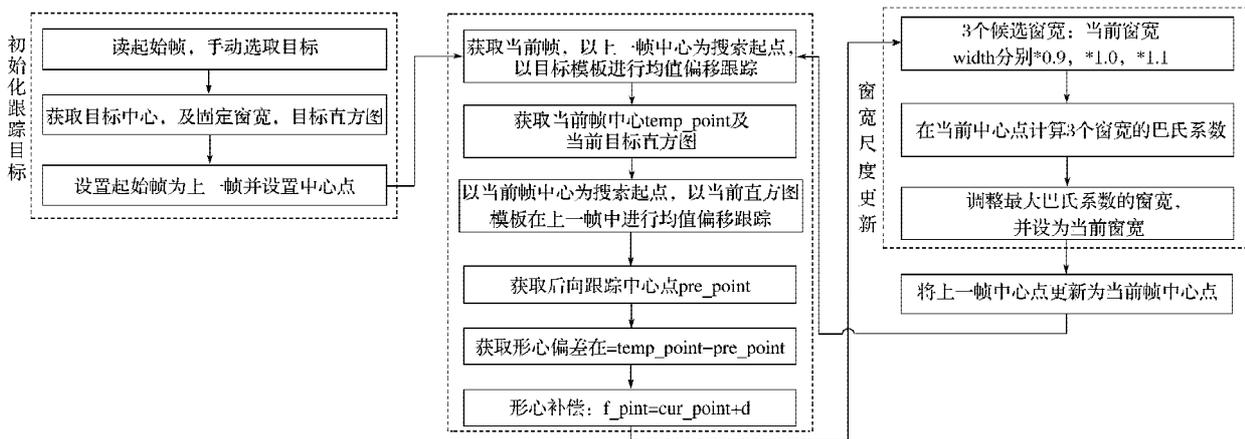


图2 核窗宽自适应的 Mean-Shift 跟踪程序流程图

Fig. 2 The flow chart of mean-shfit tracking algorithm with kernel bandwidth adaptive

为了匹配目标形心, 该算法需对每一帧要进行 2 次 Mean Shift 跟踪。一次迭代 Mean-Shift 的时间复杂度为  $O(n)$ , 其中  $n$  为目标像素的个数, 假设平均迭代  $m$  次, 因此, 一次 Mean Shift 跟踪的时间复杂度为  $O(mn)$ , 而后向跟踪要进行 2 次 Mean-Shift 迭代, 其时间复杂度为  $O(2mn)$ , 可见本算法的时间复杂度较小。

### 5 算法时间及实验结果分析

#### 5.1 算法时间分析

将本文所提算法与文献[6]所提算法对同一段视频进行跟踪时间分析。假定算法 1 表示本文提出的自适应窗宽算法, 算法 2 表示文献[6]所提出的自适应窗宽算法: 后向跟踪 + 角点分析。2 种算法时间比较如图 3 所示, 每帧处理时间是指自适应尺度处理所需要的时间。

1) 初始化跟踪目标。跟踪目标前, 先手动截取目标模板, 设置跟踪目标模板和目标在下一帧的初始搜索点。

2) 形心匹配。定义 2 个帧的表达方式为当前帧和先前帧。首先, 对当前帧的目标进行跟踪, 获取当前帧的目标模板和中心点; 其次, 再对先前帧的目标进行后向跟踪, 得到后向跟踪的目标模板与中心点; 再次, 将先前帧的中心点与后向跟踪所得到的中心点进行差运算, 得到的差值体现了先前帧的核窗宽与当前帧的核窗宽的中心点的偏差; 最后, 利用式(8)将差值补偿当前帧的目标中心点, 得到较为准确的跟踪窗口中心。

3) 窗宽尺度自动更新。在跟踪中心点计算 3 个窗宽的巴氏系数, 选择最大巴氏系数的窗宽并通过式(9)调整该窗宽, 并将其设为当前窗宽, 核窗宽自适应的 Mean-Shift 跟踪流程见图 2。

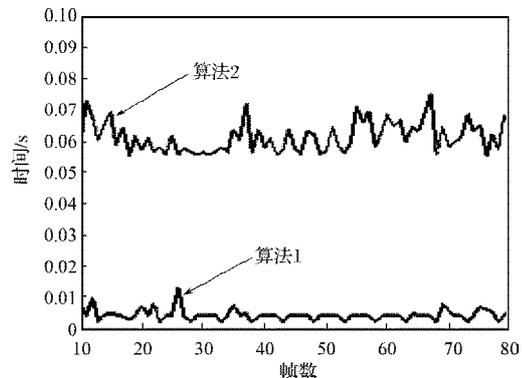


图3 2种算法时间比较图

Fig. 3 The chart for time comparison of two algorithms

由图 3 的 2 种算法时间对比结果可知, 本文算法的每帧处理时间在 0.01 s 左右, 而文献[6]所提算法的每帧处理时间为 0.06~0.08 s, 所以本文算法更简洁, 运行时间更短。

## 5.2 实验结果分析

为了验证算法的有效性,将3种目标跟踪算法:固定窗宽的 Mean-Shift 算法,后向跟踪配准算法,本文所提出的核窗宽自适应的 Mean-Shift 跟踪算法,分别对目标逐渐增大的车辆视频进行测试。测试平台为 Windows XP 系统,测试系统用 Matlab 7.0 编程实

现。为了减少窗宽变化时的震荡,本系统设置窗宽修正值  $\gamma$  为 0.2,这样,窗宽变化时更加稳定。

本文对一辆处于转弯状态的小车进行跟踪,该车的状态由小变大,测试比对结果如图3所示。图 a), b), c) 分别为固定窗宽算法、后向跟踪配准和本文所提算法在视频的第 240, 290, 325 帧的跟踪效果。

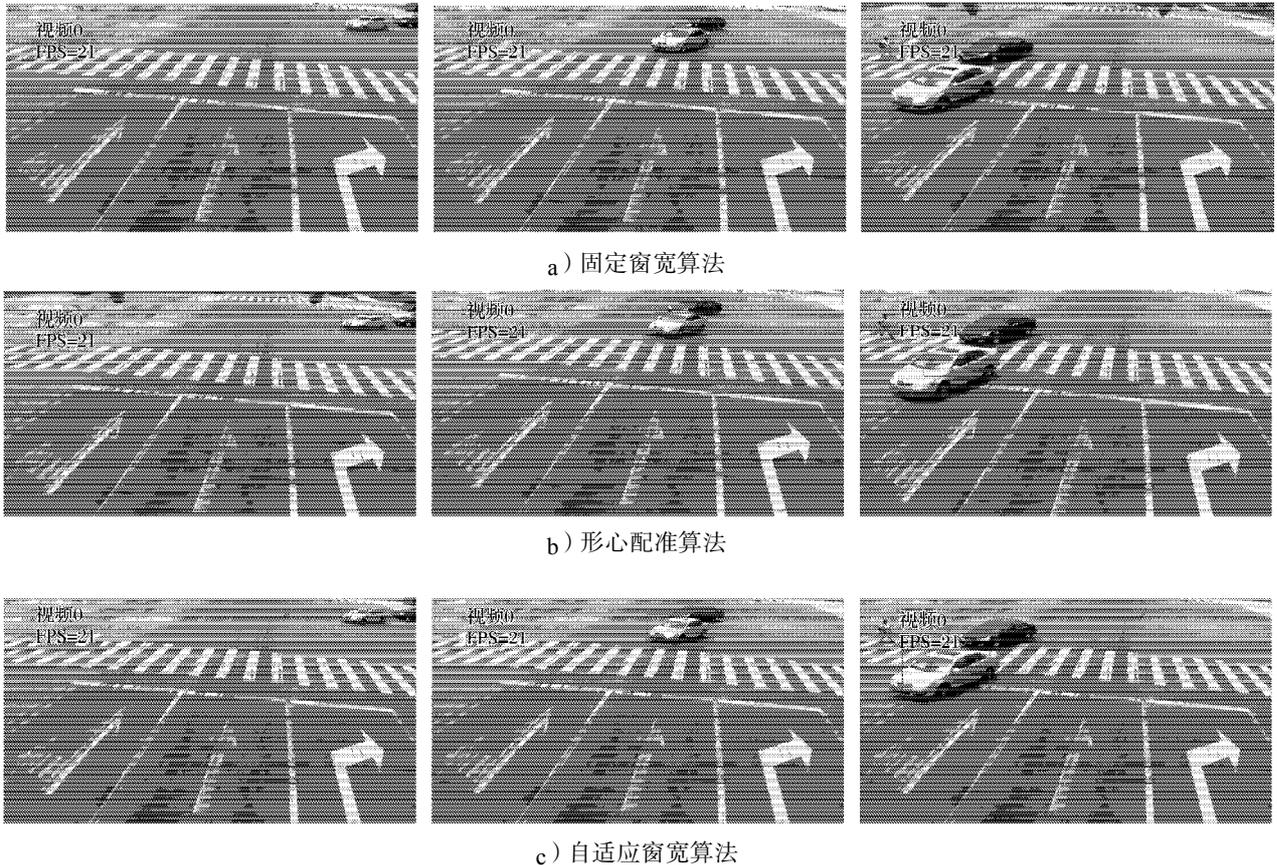


图4 不同算法对车辆的跟踪效果比较

Fig. 4 The comparison of tracking performance for different algorithms

由图4可知,固定窗宽的 Mean-Shift 算法在小车由小变大的过程中,目标中心逐渐定位到了车的尾部,这样持续跟踪很容易丢失跟踪目标;形心配准跟踪能在一定程度上锁定小车中心,但是跟踪窗口的尺度不会随着小车尺寸的变大而变化,不能反应目标的尺度大小;而本文算法的跟踪窗口始终能紧跟小车的中心,并且其尺度能随着小车尺寸的变大而变大,实时地反应小车的大小。多次测试本算法均取得较好效果。

## 6 结语

本文针对固定窗宽的均值偏移算法在目标运动逐渐增大或逐渐变小等尺度发生明显变化时容易丢失目标,跟踪不准确的问题,提出了一种窗宽自适应的 Mean-Shift 算法。该方法解决了基于巴氏系数最

大化的窗宽更新在目标增大的情况下不准确的问题,且本算法在测试实验中取得了较好效果,是一种稳定有效的跟踪方法。

本算法比彭宁嵩等人<sup>[6]</sup>采用后向跟踪与角点分析的自适应窗宽调整方法更简单,实时性更强。然而,本文的算法是基于目标运动速度不快和没有大幅度形变的情况,如果目标运动过快,则需要引入卡尔曼滤波等预测机制;如果存在大幅度的旋转形变等问题,则需要引入模板更新机制,这是今后本课题组进一步的研究方向。

## 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 Transactions on Information Theory,

- 1975, 21(1): 32-40.
- [2] Cheng Yizong. Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [3] Bradski G R. Computer Vision Face Tracking for Use in a Perceptual User Interface[J]. Intel Technology Journal, 1998, 2(2): 1-15.
- [4] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-Based Object Tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [5] Collins R T. Mean-Shift Blob Tracking through Scale Space [C]//2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Madison: IEEE, 2003: 234-240.
- [6] 彭宁嵩, 杨杰, 刘志, 等. Mean-Shift跟踪算法中核函数窗宽的自动选取[J]. 软件学报, 2005, 16(9): 1542-1550.
- Peng Ningsong, Yang Jie, Liu Zhi, et al. Automatic Selection of Kernel-Bandwidth for Mean-Shift Object Tracking[J]. Journal of Software, 2005, 16(9): 1542-1550.
- [7] 朱胜利, 朱善安. 核函数带宽自适应的 Mean-Shift 目标跟踪算法[J]. 光电工程, 2006, 33(8): 11-16.
- Zhu Shengli, Zhu Shan'an. Algorithm of Target Tracking Based on Mean-Shift with Adaptive Bandwidth of Kernel Function[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(8): 11-16.
- [8] 左军毅, 梁彦, 赵春晖, 等. Mean Shift跟踪算法中尺度自适应策略的研究[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(9): 1750-1757.
- Zuo Junyi, Liang Yan, Zhao Chunhui, et al. Researches on Scale Adaptation Strategy in Mean Shift Tracking Algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(9): 1750-1757.
- [9] 沈伟, 王军政, 张宇河. 自适应窗宽的均值迁移图像跟踪算法[J]. 微计算机信息, 2007, 23(10-3): 294-295.
- Shen Wei, Wang Junzheng, Zhang Yuhe. Mean-Shift Image Tracking Algorithm with the Adaptive Bandwidth[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(10-3): 294-295.
- [10] 陈昌涛, 朱勤, 周圣毅, 等. 核函数带宽自适应的 Mean-Shift跟踪算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(6): 1680-1682.
- Chen Changtao, Zhu Qin, Zhou Shengyi, et al. Algorithm of Target Tracking Based on Mean-Shift with Adaptive Bandwidth of Kernel Function[J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(6): 1680-1682.
- [11] 白向峰, 李艾华, 李喜来, 等. 窗宽自适应 Mean-Shift跟踪算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 254-257.
- Bai Xiangfeng, Li Aihua, Li Xilai, et al. Mean-Shift Tracking Algorithm Based on Adaptive Bandwidth[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(1): 254-257.
- [12] 付勇, 何明一, 刘超. Mean Shift目标跟踪核函数宽度的自适应调整[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(17): 243-245.
- Fu Yong, He Mingyi, Liu Chao. Adaptive Adjustment of Kernel Bandwidth for Mean Shift Object Tracking[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(17): 243-245.
- [13] Zhu Zhiwei, Ji Qiang, Fujimura K, et al. Combining Kalman Filtering and Mean Shift for Real Time Eye Tracking Under Active IR Illumination[C]// Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition. New York: IEEE press, 2002, 4: 318-321.
- [14] 程伟, 杨杰. 一种基于均值移位的红外目标跟踪新方法[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(3): 231-235.
- Cheng Wei, Yang Jie. Novel Infrared Object Tracking Method Based on Mean Shift[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2005, 24(3): 231-235.
- [15] Deguchi K, Kawanaka O, Okatani T. Object Tracking by the Mean-Shift of Regional Color Distribution Combined with the Particle-Filter Algorithms[C]//Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE press, 2004, 3: 506-509.

(责任编辑: 邓彬)