

文章编号 1004-924X(2015)增-0459-07

## 基于颜色与梯度方向联合直方图的 Mean Shift 跟踪

戴士杰\*, 齐金尧, 易丹, 邵猛, 李伟超  
(河北工业大学 机器人及自动化研究所, 天津 300130)

**摘要:** 由于单一的基于方向纹理特征的模板匹配跟踪算法不能准确跟踪目标旋转, 无法应对光变、目标旋转以及部分遮挡的复杂场景下的跟踪, 本文在 mean shift 算法框架下提出一种基于颜色与梯度方向联合直方图的跟踪算法, 该算法通过扩展直方图的维度将颜色与梯度方向特征融合到一个直方图中构成联合直方图。由光照变化模型计算得出光变因子表征光照变化程度, 并作为两种特征的比例系数对联合直方图归一化。当光变因子小于某个阈值则选取颜色作为主特征, 否则以梯度方向为主特征, 以便充分发挥颜色对旋转鲁棒以及梯度方向对光照变化鲁棒的优势。通过将目标分为若干子区域单独跟踪, 由匹配相似程度较大的子区域标记目标的位置解决部分遮挡问题。实验结果表明, 提出的算法很好地处理了光照变化、目标旋转以及部分遮挡的复杂场景跟踪。

**关键词:** 目标跟踪; Mean Shift 跟踪; 联合直方图; 光照变化; 部分遮挡; 目标旋转

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152313.0459

### Mean Shift tracking algorithm using joint histogram of colors and oriented gradients

DAI Shi-jie\*, QI Jin-yao, Yi Dan, SHAO Meng, Li Wei-chao

(Research Institute of Robotics and Automation, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

\* Corresponding author, E-mail: dshj70@163.com

**Abstract:** The single orientation feature gets ineffective when tracking rotational object. For the sake of fulfilling object tracking in the scenes of illumination variation, rotation and partial occlusion, a joint histogram of colors and oriented gradients based Mean Shift tracking algorithm is presented. The joint histogram fuses the features of colors and oriented gradients by expanding the dimensions of the histogram. In this algorithm, IVF (illumination variation factor) is calculated by the model of illumination, which detects the degree of illumination variation. In the process of tracking, if IVF is below a certain threshold, color feature is taken as the principal feature so that the algorithm is robust to rotation, otherwise choose oriented gradients as principal feature for its robustness to illumination variation. The problem of partial occlusion can be figured out by dividing the object template into sub areas, and the position of object can be determined by the area that obtains largest similarity coefficient.

收稿日期: 2015-03-15; 修订日期: 2015-04-10.

基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国民用航空局联合资助项目 (No. V1433117); 河北省自然科学基金资助 (No. F2012202041); 天津市民用航空器适航与维修重点实验室开放基金

The presented algorithm shows good performance in the experiments when dealing with complex scenes such as target rotation, illumination change and partial occlusion.

**Key words:** object tracking; Mean Shift tracking; joint histogram; illumination variation; partial occlusion; object rotation

## 1 引 言

基于视频图像序列的目标跟踪本质上是通过找出相邻两帧图像间的目标特征关系,从而确定目标在下一帧的空间位置或状态<sup>[1]</sup>。目标跟踪算法被广泛应用于军事侦察、导弹制导、智能监控、目标识别等领域。目标跟踪问题需要解决的困难有目标的颜色变化、因旋转和缩放造成的形变、场景中光线的变化、其他干扰物的遮挡等问题<sup>[2]</sup>。基于图像匹配的方法相对能获得较高的定位精度,但一般计算量都比较大。当前研究最多主要有均值漂移法以及基于蒙特卡罗采样的粒子滤波算法。

均值漂移即 Mean Shift<sup>[3]</sup>这个概念最早是由 Fukunaga 等人提出,指代的是一个关于概率密度梯度函数估计向量。随着 Mean Shift 理论的发展,它逐渐地贴近计算机处理问题的需要形式,变为一种寻找极值的迭代步骤。由于该算法是基于非参数的概率密度梯度估计,可以自适应迭代到最佳的目标位置,避免了穷尽搜索,算法用时短,应用到跟踪领域具有很好的实时性,但是经典的均值漂移算法也存在一些不足,比如对光线变化敏感,发生遮挡时跟踪鲁棒性下降,缺乏像素空间信息等<sup>[4-6]</sup>。针对这些问题很多学者提出了改进算法。孙中森<sup>[7]</sup>等提出 Mean Shift 与 Kalman 滤波相结合的方法,产生遮挡时用之前的运动状态外推当前状态,保证了跟踪的连续性,但此种方法只是适用于遮挡阶段运动状态不变的目标跟踪。Yilmaz<sup>[8]</sup>使用一种非对称核来提取运动目标颜色直方图特征,非对称核将目标形状加入到目标特征中。克服了经典 Mean Shift 算法颜色位置信息不足的缺点,提高了跟踪可靠性,但算法复杂度高,实时性不好。刘晴<sup>[9]</sup>改进传统的 Mean Shift 算法,利用非对称核函数模型应对目标遮挡的场景,跟踪性能良好,但提出的模板更新机制不能有效区分目标外观受背景相似物干扰的情形,对噪声敏感。李远征<sup>[10]</sup>融合粒子滤波与核跟踪

算法,以颜色和局部二元模式纹理特征表示目标,提高了光照变化和背景相似情况下跟踪稳定性。贾慧星<sup>[11]</sup>提出基于梯度方向直方图的多核跟踪对光照变化和部分遮挡具有较好的鲁棒性。以上两种方法实验中目标均做平移运动,当目标产生旋转的情况时,跟踪性能变差。这是由于基于单一的梯度方向或局部二元模式等纹理方向的特征跟踪在目标发生旋转后,特征的重新分布使得很难匹配到准确的目标位置,针对此种情况,本文在文献<sup>[11]</sup>的基础上,对算法进行改进,采用基于颜色与梯度方向联合直方图特征的跟踪算法,引入光变因子衡量光照变化的程度,当变化量超过某阈值,调整两个特征匹配系数,选择梯度方向为主特征,反之则采用颜色灰度为主特征。针对遮挡问题对目标区域分块单独跟踪,选取匹配系数较大的子区域确定目标的最佳位置。

## 2 颜色与梯度方向联合直方图

梯度方向特征(HOG)是基于图像物体表象梯度方向密度分布的统计性特征。此种特征是相邻像素间颜色突变量与方向的表示,对图像的几何形变与光照变化不敏感。

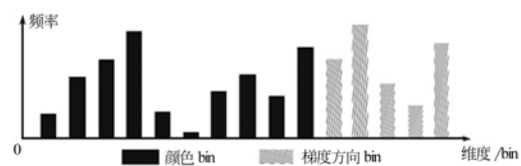


图 1 联合直方图图示

Fig. 1 Schematic plot of joint histogram

颜色灰度与梯度方向联合核直方图是在颜色核直方图的基础上扩展了核概率密度的维数,运用光变因子  $\beta$  对联合核直方图进行归一化(如图 1),将 2 个特征采用同样的核函数融合到一个核直方图中。由此联合直方图表示为:  $\{H(u)\}_{u=1,2,\dots,m,m+1,\dots,m+k}$  其中,  $m$  为颜色空间维数,  $k$  为梯度方向特征维数。

### 3 光变因子 $\beta$

本文算法基于颜色灰度与梯度方向双重特征,目的是为了相互弥补各自单一特征的缺陷,即光照变化微弱可以忽略不计时,采用颜色灰度作为主特征,充分发挥其对目标旋转、形变良好的适应性;若光照变化明显,光变因子  $\beta > \beta_0$  (实验所得阈值)时主特征则切换为梯度方向,这样很好的发挥其光照变化鲁棒的特点。运用各颜色通道灰度值的期望值表征光线明暗程度,每隔  $s$  帧重复检测灰度均值,最终得到光照变化的量化值,光照变化因子模型为:

$$\beta = \max\{e_R, e_G, e_B\}, \quad (1)$$

$$e = \frac{|E_t(x) - E_{t+s}(x)|}{\max\{E_t(x), E_{t+s}(x)\}}, \quad (2)$$

$$E_t(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i(x_i), \quad (3)$$

其中:  $f_i(x_i)$  为表征第  $t$  帧图像中像素点  $x_i$  处相应颜色通道灰度值。将(2)、(3)式带入(1)式即可得到光变因子  $\beta$ 。

在实验中光变因子的阈值  $\beta_0 = 0.2\beta_{\max}$ , 其中  $\beta_{\max}$  为实验场景中晴天的正午与黄昏 2 个时段光照变化的度量。

### 4 基于目标子区域的跟踪算法

本文算法在跟踪过程中将目标区域分为整体、左上、右下、左下、右下和中心 6 个子区域(如图 3)。

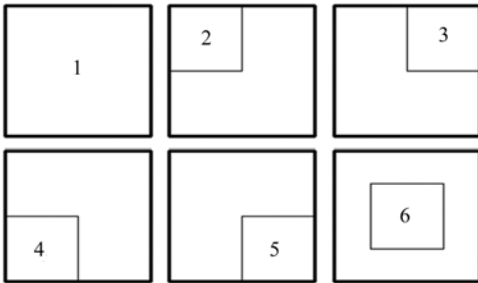


图 2 目标子区域划分

Fig. 2 Partition of object sub areas

遮挡问题一直是跟踪算法很难解决的问题,应对遮挡干扰的策略如下:根据 Bhattacharyya

系数  $\rho$  变化情况,当  $\rho > T_1$  时(本实验中阈值  $T_1 = 0.8\rho$ ,  $\rho$  为过往帧相似系数均值),以 1 号整体子区域进行跟踪,若  $\rho < T_1$  则认定遮挡情况出现,分别进行 2~6 号子区域跟踪,选取相似系数较大的两个作为基准确定目标位置。算法流程如图 3 所示。当遮挡出现时的算法为:

目标模型:

$$q^v = \{q_u^v\}_{u=1,2,\dots,m+k; v=2,3,4,5,6}, \quad (4)$$

$$q_u^v = C_q^v \sum_{i=1}^n k \left[ \left\| \frac{x_i - r^v}{h} \right\|^2 \right] \times (\delta[b(x_i) - u] + \delta[\theta(x_i) - u]), \quad (5)$$

$$C_q^v = \varphi(u) \left[ \sum_{i=1}^n k \left[ \left\| \frac{x_i}{h} \right\|^2 \right] \right]^{-1}, \quad (6)$$

$$\varphi(u) = \begin{cases} 1 - \alpha u \leq m \\ \alpha u > m \end{cases}, \quad (7)$$

其中:  $v$  为子区域序号;  $u$  为直方图第  $u$  个 bin;  $C$  为归一化因子;  $k(x)$  为核剖面函数;  $h$  为核函数带宽,表征目标尺度;  $x_i$  为像素位置信息;  $\delta$  为 Kronecker 函数;  $b(x)$  为颜色灰度映射;  $\theta(x)$  为梯度方向映射;  $\varphi(u)$  为特征融合系数(实验中若  $\beta < \beta_0$  则  $\alpha = 0.3$ , 否则  $\alpha = 0.7$ )。

候选模型:

$$p^v(x) = \{p_u^v(x)\}_{u=1,2,\dots,m+k; v=2,3,4,5,6} \quad (8)$$

$$p_u^v(x) = C_p^v \sum_{i=1}^n k \left[ \left\| \frac{x_i - x - r^v}{h} \right\|^2 \right] \times (\delta[b(x_i) - u] + \delta[\theta(x_i) - u]), \quad (9)$$

$$C_p^v = \varphi(u) \left[ \sum_{i=1}^n k \left[ \left\| \frac{x_i - x - r^v}{h} \right\|^2 \right] \right]^{-1}. \quad (10)$$

基于颜色灰度与梯度方向特征的目标模型  $q$  与候选区域  $p(x)$  的相似性度量采用 Bhattacharyya 系数表示:

$$\rho^v(x) = \sum_{u=1}^{m+k} \sqrt{p_u^v(x) q_u^v}. \quad (11)$$

跟踪的过程即搜索寻找  $\rho(x)$  极大值的问题。设定目标初始位置为  $x_0$ , 进行泰勒展开近似得:

$$\rho^v(x) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^{m+k} (\sqrt{p_u^v(x_0) q_u^v} + p_u^v(x) \times \sqrt{\frac{q_u^v}{p_u^v(x_0)}}) = \frac{C_p^v}{2} \sum_{i=1}^n k \left[ \left\| \frac{x_i - x - r^v}{h} \right\|^2 \right] \omega_i^v + R, \quad (12)$$

其中:

$$\omega_i^v = \sum_{u=1}^{m+k} (\delta[b(x_i) - u] + \delta[\theta(x_i) - u]) \times \sqrt{\frac{q_u^v}{p_u^v(x_0)}} \quad (13)$$

$$R = \frac{1}{2} \sum_{u=1}^{m+k} \sqrt{p_u^v(x_0) q_u^v} \quad (14)$$

为使得  $\rho^v(x)$  最大化, 进一步求取  $\rho^v(x)$  的梯度为:

$$\nabla \rho^v(x) = \frac{C_p^v}{h^2} \sum_{i=1}^n g \left[ \left\| \frac{x_i - x - r_v}{h} \right\|^2 \right] \times (x_i - x - r_v) \omega_i^v \quad (15)$$

由此得出新的迭代位置为:

$$\hat{x} = \frac{\sum_{i=1}^n g \left[ \left\| \frac{x_i - x - r_v}{h} \right\|^2 \right] (x_i - x - r_v) \omega_i^v}{\sum_{i=1}^n g \left[ \left\| \frac{x_i - x - r_v}{h} \right\|^2 \right] \omega_i^v} \quad (16)$$

以  $x_0$  为起点, 通过循环迭代可以最终得到目标在下一帧的具体位置, 算法详细步骤为:

步骤 1. 初始化目标在当前帧的位置为  $x_0$ , 利用式(8)计算  $p_u^v(x)$  利用(11)式计算  $\rho^v(x_0)$ ;

步骤 2. 运用式(13)计算  $\{\omega_i^v\}$ ;

步骤 3. 运用式(16)计算当前位置迭代矢量  $\hat{x}$ ;

步骤 4. 运用式(8)计算  $p_u^v(\hat{x})$ , 用式(11)计算  $\rho(\hat{x})$ ;

步骤 5. 若  $\rho(\hat{x}) < \rho(x_0)$ , 则  $\hat{x} \leftarrow 0.5(x_0 + \hat{x})$  转到步骤 4;

步骤 6. 如果  $\|\hat{x} - x_0\| < \epsilon$  则停止迭代, 否则  $x_0 \leftarrow \hat{x}$ , 转到步骤 2.

### 5 实 验

选取了 3 组不同场景的视频进行跟踪验证, 分别与传统 mean shift 算法和文献[11]中基于梯度方向的跟踪算法进行比较。颜色空间量化为  $8 \times 8 \times 8$  维度。实验环境为: 配置有 Intel Dual Core 2.5 GHz 处理器、2 GB 内存的 PC, 软件环境为 MATLAB R2007b。

第一组视频分辨率为  $320 \text{ pixel} \times 240 \text{ pixel}$  像素, 帧速率为 25 帧/s。以视频中运动的车辆为目标进行跟踪, 可以看到目标周围背景较复杂, 有

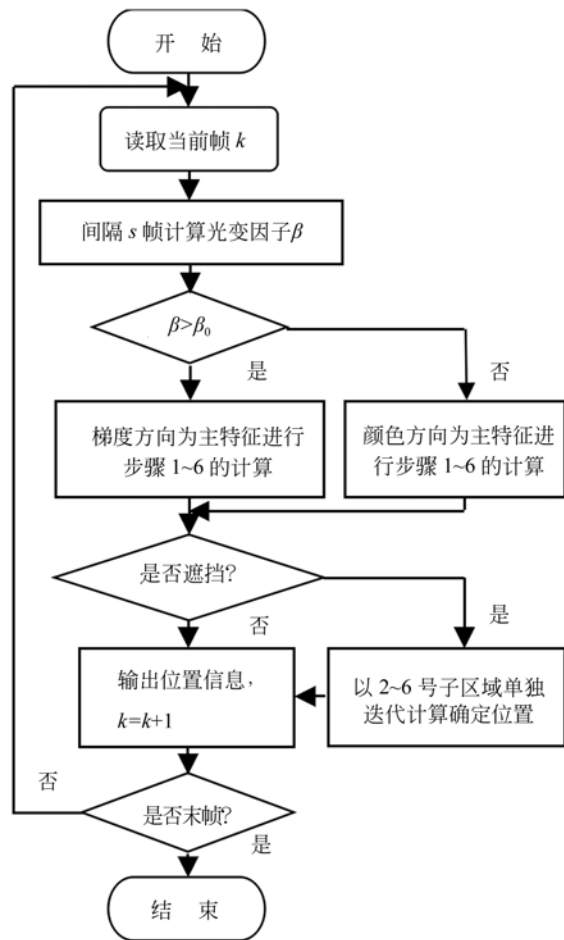


图 3 算法流程图

Fig. 3 Flowchart of algorithm

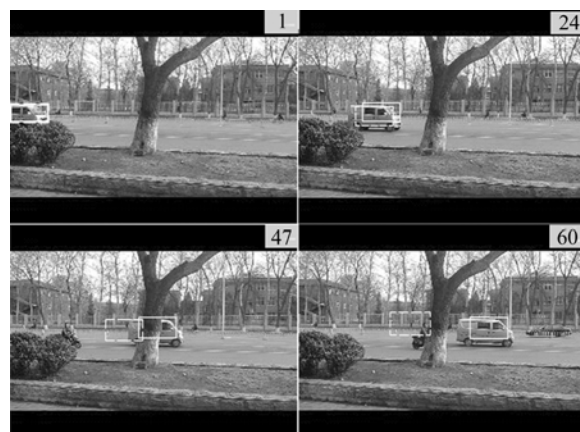


图 4 车辆跟踪结果(虚线框为文献[3]的方法, 实线框为本文方法)

Fig. 4 Tracking result of vehicle (Dotted box represents the method of literature [3], Solid box represents the presented method)

树木、非机动车辆的干扰,将本文中的算法与文献[3]中的方法进行对比得出实验结果。图 5 显示了视频中第 1 帧、第 24 帧、第 47 帧以及第 60 帧的跟踪结果。可以看到在未进入遮挡前 2 种方法都能较好的锁定目标,在进入遮挡后,文献[3]的跟踪框明显地脱离了目标区域,而本文提出的算法很好地进行了持续的跟踪。

在 47 帧左右时,遮挡情况出现(图 5),两种算法的 Bhattacharyya 系数都急剧降低,本文算法应对遮挡的策略使得 Bhattacharyya 系数曲线有明显地回升。

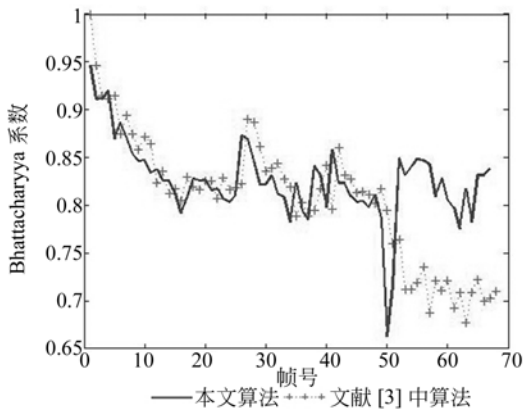


图 5 跟踪匹配相似度  
Fig. 5 Similarity of matching in tracking

第 2 组视频选用的场景为校园,视频分辨率为 768 pixel×576 pixel 像素,选择图 5 中背双肩包的行人为目标,在跟踪过程中光照因天气变化逐渐变暗,同时还遇到路灯杆遮挡干扰(图 6 中 93 帧所示)以及背景相似物的干扰,由跟踪效果对比我们看到当行人进入到停车场时背景开始变得复杂加之光线的持续变化给目标的锁定造成了一定的影响,原始的 Mean Shift 跟踪算法在第 179 帧彻底丢失目标,本文提出的算法在光照变化以及背景干扰时仍能够锁定目标的大部分区域。图 7 显示了视频中的光照变化情况,可以得出,在 100 帧以后光照变化开始加剧,算法特征以梯度方向为主特征。

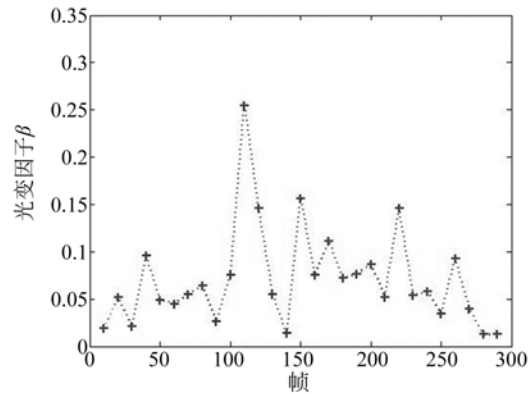


图 7 视频中光照变化情况  
Fig. 7 Condition of light variation

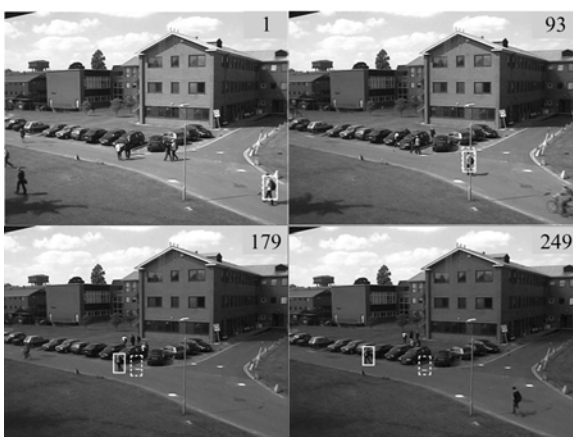


图 6 行人跟踪结果(虚线框为文献[3]中方法,实线框为本文方法)  
Fig. 6 Tracking result of pedestrian (Dotted box represents the method of literature [3]. Solid box represents the presented method)

第 3 组实验场景选取校园停车场,摄像头为俯视拍摄,分别运用文献[11]中方法以及本文算法对掉头转向的黑色汽车进行了持续跟踪,行车轨迹如图 8 所示,汽车的运动分为倒车、停车、前进、转向 4 个部分,在前 3 个运动环节中两种方法都能锁定目标区域,240 帧左右车辆开始急剧转向,两种方法均产生了不同程度的模板偏移,基于单一梯度方向的算法在随后的跟踪中丢失目标,但本文方法始终锁定了目标区域,得到正确的跟踪结果。

为了对跟踪结果进行定量分析,在本组实验中引入一种基于覆盖区域面积的跟踪精度计算方法<sup>[11]</sup>,具体为:

$$f = 2 \frac{R_{True} \cap R_{Tracked}}{R_{True} + R_{Tracked}}, \quad (17)$$

其中:  $R_{True}$  为实际目标区域;  $R_{Tracked}$  为跟踪锁定区域面积。

图 9 显示了 2 种方法跟踪精度对比,可以看出本文算法弥补了单一梯度方向特征方法不能处理方位角度变化的缺陷,复杂场景中鲁棒性更好。

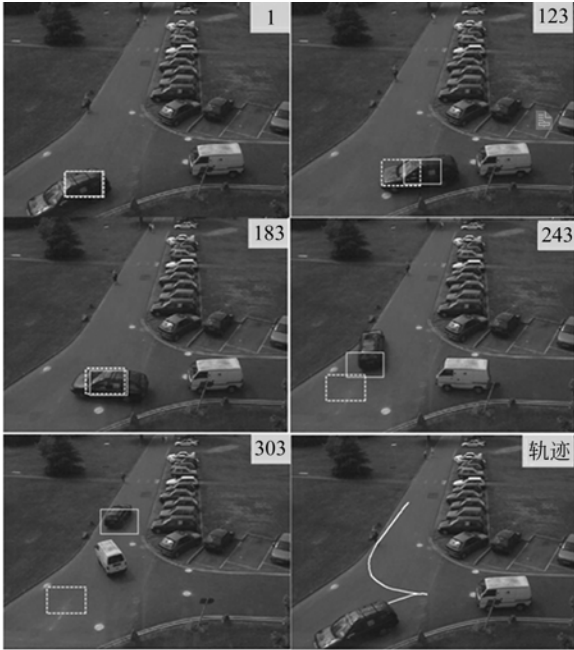


图 8 转向车辆跟踪(虚线框为文献[11]中方法,实线框为本文方法)

Fig. 8 Tracking of turning vehicle (Dotted box represents the method of literature [11]. Solid box represents the presented method)

#### 参考文献:

- [1] LI S X, CHANG H X, ZHU C F. Adaptive pyramid mean shift for global real-time visual tracking [J]. *Image and Vision Computing*, 2010, 28(3): 424-437.
- [2] WANG F, YU S, YANG J. Robust and efficient fragments-based tracking using mean shift [J]. *AEU-international Journal of Electronics and Communications*, 2010, 64(7): 614-623.
- [3] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking[J]. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 2003, 25(5): 564-577.
- [4] LEICHTER I, LINDENBAUM M, RIVLIN E. Mean shift tracking with multiple reference color histograms [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2010, 114(3): 400-408.

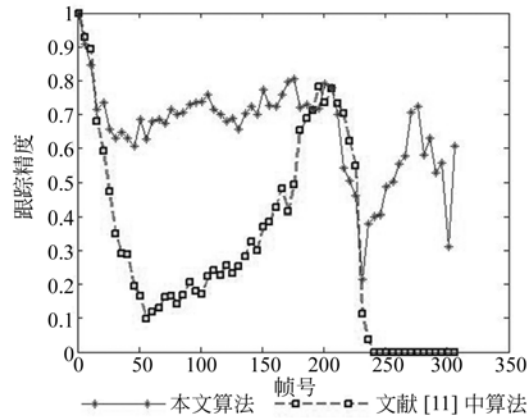


图 9 转向车辆跟踪精度

Fig. 9 Precision of turning vehicle tracking

## 6 结 论

本文提出一种联合核直方图的方法融合颜色与梯度方向两种特征进行跟踪,根据场景的变化情况,交替地选择不同的主特征,即当产生光照变化、相似物干扰时,以梯度方向为主特征,否则以颜色为主特征。通过实验运用不同方法对 3 组视频中的运动目标进行追踪,从结果分析得出:本文提出的算法在处理光照变化、部分遮挡以及目标旋转变化时具有很好的鲁棒性。

- [5] MAZINAN A H, AMIR-LATIFI A. Applying mean shift, motion information and Kalman filtering approaches to object tracking[J]. *ISA transactions*, 2012, 51(3): 485-497.
- [6] WANG Y, CHEN F X, GUO H X. Kernel-based target tracking with spatial histogram and template drift correction [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2012, 38(3): 430-435.
- [7] 孙中森, 孙俊喜, 宋建中, 等. 一种抗遮挡的运动目标跟踪算法[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(2): 267-271.  
SUN Z S, SUN J X, SONG J Z, *et al.*. Ant-occlusion arithmetic for moving object tracking [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 267-271. (in Chinese)
- [8] YILMAZ A. Kernel-based object tracking using asymmetric kernels with adaptive scale and orientation selection [J]. *Machine Vision and Applica-*

- tions, 2011, 22(2): 255-268.
- [9] 刘晴, 唐林波, 赵保军, 等. 改进的 Mean shift 目标跟踪算法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(6): 1318-1323.
- LIU Q, TANG L B, ZHAO B J, *et al.*. Improved mean shift target tracking algorithm[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2013, 35(6): 1318-1323. (in Chinese)
- [10] 李远征, 卢朝阳, 高全学, 等. 基于多特征融合的均值迁移粒子滤波跟踪算法[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(2): 411-415.
- LI Y ZH, LU ZH Y, GAO Q X, *et al.*. Particle filter and mean shift tracking method based on multi-feature fusion[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010, 32(2): 411-415. (in Chinese)
- [11] 贾慧星, 张毓晋. 基于梯度方向直方图特征的多核跟踪. 自动化学报, 2009, 35(10): 1283-1289.
- JIA H X, ZHANG Y J. Multiple kernels based object tracking using histograms of oriented gradients [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2009, 35(10): 1283-1289. (in Chinese)

## 通讯作者:



戴士杰(1970—),男,河北保定人,博士,教授,博士生导师,1994年于河北工业大学获得学士学位,1999年于河北工业大学获得硕士学位,2003年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事机器人学和视觉等方面的研究。E-mail: dshj70@163.com