

# HLBP 与颜色特征自适应融合的 粒子滤波目标跟踪改进算法

卞 乐,李天峰,韦 怡,曾毓敏

(南京师范大学物理科学与技术学院,江苏 南京 210023)

[摘要] 针对只采用颜色特征的经典粒子滤波目标跟踪算法无法适用相同颜色干扰情况的缺陷,提出一种结合 HLBP 特征与颜色特征的自适应粒子滤波跟踪算法.该算法采用 Haar 型局部二值模式算子(Haar local binary pattern,HLBP)提取的 HLBP 纹理特征与颜色特征结合,通过自适应权值动态调整颜色特征和纹理特征在跟踪过程中的比重,实现颜色纹理特征的自适应融合.实验表明,该算法改进了相同颜色干扰情况下的跟踪效果,并在目标被遮挡的情况下仍能持续稳定地跟踪,提高了跟踪的准确性和适用性.

[关键词] 粒子滤波,HLBP 纹理特征,颜色特征,自适应权值

[中图分类号] TP391 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2018)01-0056-08

## Improved Particle Filtering Target Tracking Algorithm for HLBP and Color Feature Adaptive Fusion

Bian Le, Li Tianfeng, Wei Yi, Zeng Yumin

(School of Physics Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** In this paper, an adaptive particle filter tracking algorithm combining HLBP feature and color feature is proposed. This algorithm is based on imperfection of the classical particle filter target tracking algorithm; it only uses the color feature to track and does not perform effectively in the same color interference condition. Our algorithm uses the Haar local binary model operator to extract the HLBP texture feature and combine it with the color feature. Through the opposed model, we dynamically adjust adaptive weights of the color characteristics and texture features in the tracking process, which achieve the adaptive fusion between the color feature and texture feature. Experiments show that the tracking result is greatly strengthened under the same color interference with our algorithm. What's more, in case of occlusions, our algorithm can still track stably and continuously, thus improving the accuracy and applicability of tracking.

**Key words:** particle filter, HLBP texture feature, color feature, adaptive weights

目标跟踪是现代工程技术的重要组成部分,已广泛应用于视频监控、人机交互、虚拟现实、自主导航等领域<sup>[1]</sup>. 粒子滤波算法是一种基于蒙特卡洛方法和递推贝叶斯估计的统计预测方法.经典的粒子滤波算法采用单一的颜色特征对目标建模,颜色特征具有尺度不变性、旋转不变性、对局部遮挡不敏感等鲁棒性.但当出现与目标颜色相近的其他物体干扰时,颜色特征无法正确辨别目标,往往产生巨大偏移甚至丢失目标.越来越多的研究认为,使用单一特征无法实现稳定的跟踪,近期的研究热点为通过组合多个特征信息的方法提升目标跟踪的精确度<sup>[2-8]</sup>.

文献[6]提出将 GMLBP 纹理特征与颜色特征结合,分别计算 GMLBP 纹理特征粒子权值和 HSV 颜色特征粒子权值,并对权值进行线性融合,再归一化处理得到目标状态估计值,将跟踪误差降低,提高了跟踪性能,但该算法较复杂.文献[7]提出一种融合颜色和 LBP 纹理特征的多模块跟踪算法,利用卡尔曼滤波预测均值漂移算法的初始迭代位置,自适应采用多模块模型进行跟踪,在目标被遮挡的情况下持续追踪,

收稿日期:2017-11-01.

基金项目:江苏省科技支撑计划(BE2014139)、江苏省基础研究计划(自然科学基金)——青年基金项目(BK20171031).

通讯联系人:曾毓敏,博士,教授,研究方向:语音和图像处理. E-mail:zengyumin@njnu.edu.cn

并提高了追踪的精确度. 文献[8]利用颜色和纹理特征表示目标,通过均值迁移和粒子滤波算法进行特征融合,有效避免了单一颜色特征在光照变化和背景相似情况下的不稳定问题,但所用纹理特征是最基础的 LBP 特征,比较简单,稳定性不如 HLBP 特征好.

HLBP 特征是 Haar 型局部二值模式算子(Haar local binary pattern, HLBP),由 Haar 特征和 LBP 特征结合而成,具有计算快速、简单、降低噪声的特点. 自提出以来,该特征已在图像识别、分类、目标检测等领域取得了很好的效果<sup>[9-12]</sup>. 文献[9]将基于 Haar 特性的 LBP 纹理特征用于运动阴影的检测,避免了对阈值参数的设置,增强了实用性. 文献[10]建立 HLBP 纹理特征的空间概率密度分布模型来表征目标特征,提高了目标跟踪精度和鲁棒性. 文献[12]采用基于 HLBP 模式的纹理模型,结合色彩和位置信息构造特征向量,提高了从运动目标中去除阴影的精度,保留了高斯混合模型对局部动态场景和渐变光照有较强适应性的优点.

本文采用 HLBP 纹理特征与颜色特征结合,通过自适应权值动态调整颜色特征和 HLBP 特征在追踪过程中的比重,实现颜色纹理特征的融合,以改进追踪效果. 与文献[7]相比,本文算法在融合颜色特征与 HLBP 特征后达到了同样的效果,但算法更为简单.

## 1 粒子滤波框架

粒子滤波是一种估计运动目标状态的有效方法,本质上是递归贝叶斯滤波的一种形式,其利用状态空间中的一系列随机样本集来近似系统状态的后验概率密度函数<sup>[13]</sup>,这些样本被称为“粒子”,然后根据测量,通过调整各个粒子的权重和样本的位置信息来近似描述实际概率分布<sup>[14]</sup>.

粒子滤波算法步骤:

(1) 初始化.

粒子初始化过程就是在图像中随机或以指定方式放粒子. 在视频初始帧,生成  $N$  个粒子,初始状态值  $S_0^i = \{\mathbf{x}_0^i, \mathbf{w}_0^i\} (i=1, \dots, N)$ ,  $\mathbf{x}_0^i$  是位置矢量,  $\mathbf{w}_0^i$  是权值矢量.

(2) 状态转移.

从上一帧图像的粒子状态转变为当前帧粒子的状态,这个过程称为状态转移:

$$\mathbf{x}_k^i = f(\mathbf{x}_{k-1}^i) + \mathbf{w}_k^i, \quad (1)$$

$$\mathbf{y}_k^i = h(\mathbf{x}_k^i) + \mathbf{v}_k^i. \quad (2)$$

式(1)为状态转移方程;式(2)为观测方程; $\mathbf{x}_k$  为状态变量; $\mathbf{y}_k$  为观测值; $\mathbf{w}_k^i$ 、 $\mathbf{v}_k^i$  分别为状态噪声和观测噪声.

(3) 计算权值.

权值计算公式为:

$$\mathbf{w}_k^i = \mathbf{w}_{k-1}^i p(\mathbf{y}_k^i | \mathbf{x}_k^i). \quad (3)$$

式中,  $\mathbf{w}_k$  为第  $k$  帧的权值;  $p(\mathbf{y}_k^i | \mathbf{x}_k^i)$  是基于观测模型的似然函数,本文使用颜色特征和 HLBP 纹理特征直方图来计算每个粒子的权重.

(4) 重采样.

对后验概率密度重采样,保留复制权重大的粒子,剔除权重小的粒子. 定义归一化的权重为:

$$\tilde{\mathbf{w}}_k^i = \frac{\mathbf{w}_k^i}{\sum_{i=1}^N \mathbf{w}_k^i}. \quad (4)$$

(5) 状态估计.

估计追踪结果为:

$$E[X_k] = \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_k^i \tilde{\mathbf{w}}_k^i. \quad (5)$$

式中,  $E[X_k]$  为期望值.

## 2 特征提取

假设用  $S_k = (x_k, y_k, w_k, h_k)$  表示  $k$  时刻目标的状态,  $(x_k, y_k)$  表示候选目标矩形框的中心,  $w_k$ 、 $h_k$  分别表

示候选目标矩形框的宽和高. 本文通过提取颜色和纹理两种特征描述目标.

## 2.1 颜色特征提取

颜色特征因具有旋转不变性、对局部遮挡不敏感、鲁棒性强等特点,被广泛应用于目标追踪领域. RGB 空间结构并不符合人们对颜色相似性的主观判断. 本文将 RGB 颜色特征转换为 HSV 颜色特征,建立一个  $m=8 \times 8 \times 8$  直方图模型,  $h \in (0, 360)$ ,  $s \in (0, 1)$ ,  $v \in (0, 1)$ . 当饱和度或者亮度很低时,色调不稳定,采用亮度信息;否则,采用色调和饱和度信息. 颜色空间的目标区域概率直方图的公式为:

$$p_c^u = C \sum_{i=1}^m k\left(\left\|\frac{c-c_i}{r}\right\|^2\right) \delta[b(c_i)-u]. \quad (6)$$

式中,  $b(c_i)$  为颜色量化函数;  $u$  为直方图颜色等级索引;  $C = \frac{1}{\sum_{i=1}^m k\left(\left\|\frac{c-c_i}{r}\right\|^2\right)}$  为归一化常数;  $k(\cdot)$  为核函数.

## 2.2 HLBP 纹理特征提取

Haar 特征是 Voila P 等人提出的一种简单的矩形特征,它能够有效地反映图像局部灰度变化信息. LBP 最初由 Ojala T 等人提出,是一种用来描述图像局部纹理特征的算子,该描述算子具有计算简单、抗光照干扰、抗噪声性好等特点<sup>[11]</sup>. 周书仁等人将 Haar 特征引入 LBP 算子中,提出了一种基于 Haar 特性的局部二元模式(local binary patterns, LBP)纹理特征,该算法具有计算快速、简单、降低噪声的特点<sup>[15]</sup>. HLBP 编码模型如下:

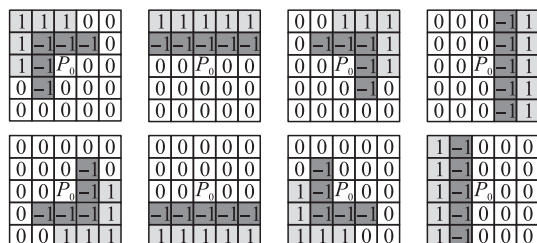


图 1 HLBP 原理图

Fig. 1 HLBP algorithm schematic diagram

图 1 所示为 HLBP 原理图,其中数字 1, -1, 0 表示权重,即浅色区域与深色区域作差,设定一个阈值,将差值与阈值二值化处理后记录到中心点的 HLBP 值中<sup>[16]</sup>. 本文采用  $5 \times 5$  模板,相对于模板中心点,从中心点做射线,并从  $135^\circ$  开始按照顺时针每  $45^\circ$  旋转一次构成 8 个方向图,即为 8 组 Haar 型编码模型图<sup>[10]</sup>. 对于图像中任意一个像素点  $I(x, y)$ ,以其为中心形成的  $5 \times 5$  窗口  $W(x, y)$  的 HLBP 值计算如下式:

$$V_{\text{HLBP}}(I(x, y)) = \sum_{k=1}^8 B(M_k \cdot W(x, y)) \times 2^{k-1}, \quad (7)$$

$$B(x) = \begin{cases} 1 & x \geq T, \\ 0 & x < T. \end{cases} \quad (8)$$

式中,  $M_k (k=1, 2, \dots, 8)$  为编码模型,  $T$  为阈值. 计算出整幅图像的 HLBP 值后求出 HLBP 特征直方图并归一化处理,特征向量为 256 维.

## 3 自适应特征融合

### 3.1 直方图相似度计算

对于归一化后的目标区域的颜色直方图和纹理直方图,通过 Bhattacharyya 距离求出候选目标区域与初始目标区域的相似度:

$$d(p_i^u(x, y), q_i^u(x_0, y_0)) = \sqrt{1 - \rho(p_i^u(x, y), q_i^u(x_0, y_0))}, \quad (9)$$

式中,候选区域与目标区域的相似度  $\rho$  计算如下:

$$\rho(p_i^u(x, y), q_i^u(x_0, y_0)) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_i^u(x, y) \cdot q_i^u(x_0, y_0)}. \quad (10)$$

$p_i^u(x, y)$  表示在  $k$  时刻从  $X_k^i$  中获取的归一化候选区域直方图;  $q_i^u(x_0, y_0)$  表示归一化初始目标区域直方图;  $m$  表示直方图中划分的 bin 数目. 相似度越高  $d$  越小.

### 3.2 粒子自适应权重 $w$ 计算

$$f_{\text{color}}^i = \sum_{i=1}^N (d_{\text{color}}^i)^2, \quad (11)$$

$$f_{\text{HLBP}}^i = \sum_{i=1}^N (d_{\text{HLBP}}^i)^2. \quad (12)$$

颜色权重为:

$$\alpha = \frac{f_{\text{color}}^i}{f_{\text{color}}^i + f_{\text{HLBP}}^i}. \quad (13)$$

HLBP 纹理权重为:

$$\beta = \frac{f_{\text{HLBP}}^i}{f_{\text{color}}^i + f_{\text{HLBP}}^i}. \quad (14)$$

自适应权重计算公式为:

$$w_{ch}^i = \alpha \times \exp\{-(d_{\text{color}}^i)^2 / \sigma^2\} + \beta \times \exp\{-(d_{\text{HLBP}}^i)^2 / \sigma^2\}. \quad (15)$$

式中,  $\alpha + \beta = 1$ .  $\sigma^2$  表示高斯噪声方差. 权重  $\alpha, \beta$  根据实际追踪的每一帧自适应改变: 当目标颜色与背景相差较大时, 颜色占的比重会大一些; 而当目标与背景颜色相似, 颜色无法正确追踪目标时, 纹理占的比重会提高, 弥补了同色干扰的不足, 提高了追踪精确度, 保证目标不丢失.

对权重归一化处理:

$$\tilde{w}_{ch}^i = \frac{w_{ch}^i}{\sum_{i=1}^N w_{ch}^i}. \quad (16)$$

使用一定比重的颜色纹理特征联合来计算粒子权值比单独用一种特征计算权值追踪效果更好<sup>[17]</sup>.

本文算法步骤为:

(1) 在第一帧中选择目标区域, 位置为  $x_0$ . 在目标周围播撒粒子, 初始化粒子权值;

(2) 粒子状态转移, 分别计算当前帧候选区域的颜色分布  $\{p_{\text{color}}^u, u = 1, 2, \dots, m\}$ , 纹理分布  $\{p_{\text{HLBP}}^u, u = 1, 2, \dots, m\}$ ;

(3) 根据式(8)计算目标当前帧与初始帧颜色特征、纹理特征的相似度;

(4) 根据式(10)~(13)计算颜色的权重  $\alpha$ 、纹理的权重  $\beta$ , 代入式(14)计算每个粒子的自适应权重, 并归一化处理;

(5) 根据粒子权重估计当前目标位置:  $E[X_k] =$

$$\sum_{i=1}^N x_k^i \tilde{w}_k^i;$$

(6) 重采样, 画出目标区域.

算法流程如图 2 所示.

## 4 实验结果

本文采用 Visual Studio 2010, C++ 编程, Opencv 2.4.9 实现算法. 粒子滤波中粒子数  $N = 100$ , HLBP 阈值  $T = 16$ , 高斯噪声方差  $= 0.05$ .

采用公开测试视频 Laboratory\_raw 中截取的片段并使用矩形框显示追踪效果, 从中截取部分结果, 并与文献[7]进行对比.

(1) 单独对白衣黑裤男子进行追踪, 左方白色实验仪器会对其部分遮挡, 效果如图 3、图 4 所示.

从图 3、图 4 实验结果可以看出, 在男子被遮挡前, 颜色与 LBP 结合的算法追踪性能稳定, 从第 62 帧

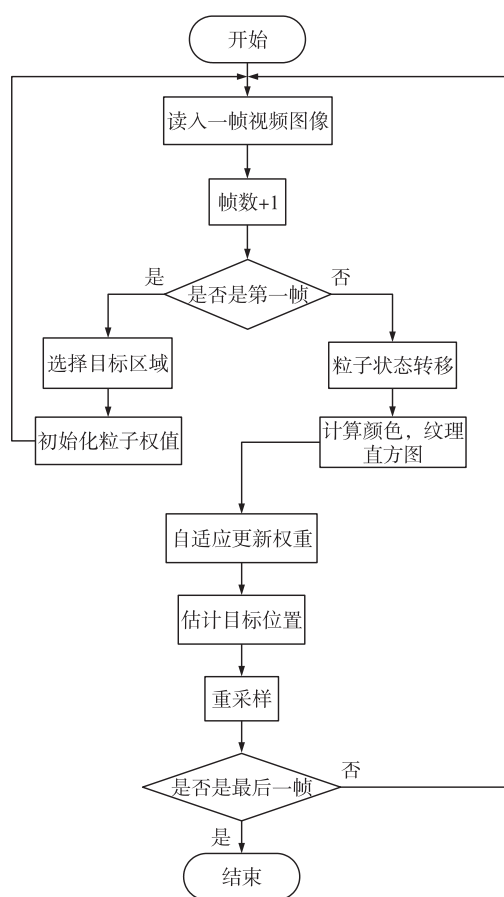


图 2 自适应特征融合的粒子滤波算法流程图

Fig. 2 Adaptive feature fusion particle filter algorithm flow chart



开始男子被遮挡,目标框无法继续追踪,失去目标进入原地等待状态. 而本文提出的改进算法在第 62 帧目标被遮挡后依然能持续追踪目标直至目标消失,这是因为 HLBP 的稳定性比 LBP 更高,追踪效果比颜色与 LBP 结合的算法好,实用性更强.

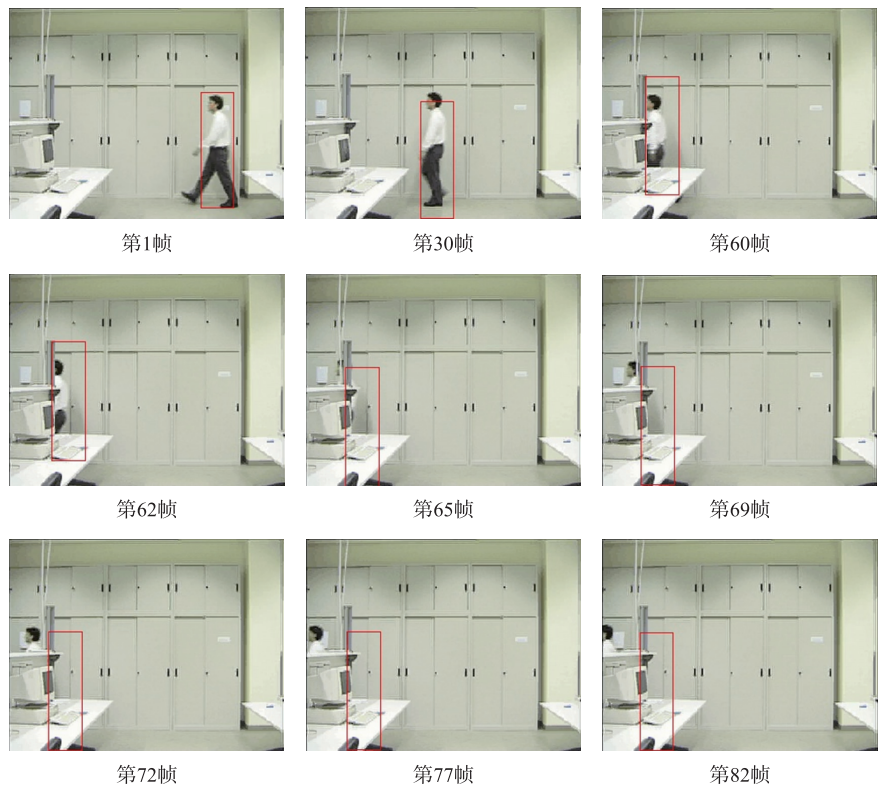


图 3 LBP 和颜色结合的粒子滤波算法对白衣黑裤男子追踪效果图

Fig. 3 Particle filtering algorithm based on LBP and color features for white man's black pants track renderings

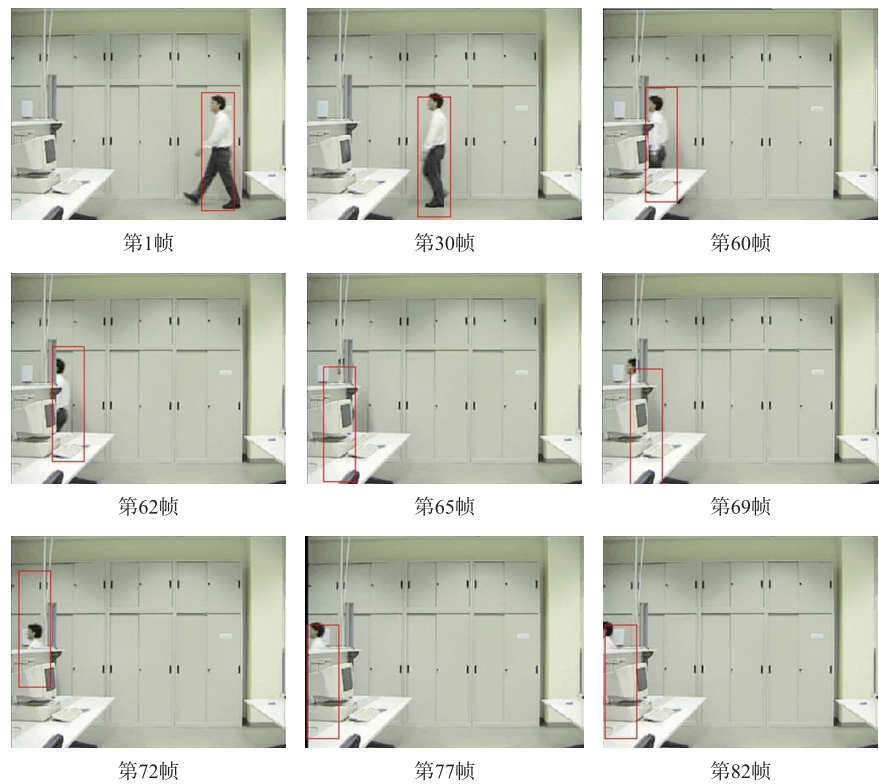


图 4 HLBP 和颜色结合的粒子滤波算法对白衣黑裤男子追踪效果图

Fig. 4 Particle filtering algorithm based on HLBP and color features for white man's black pants track renderings

(2)对白衣浅色裤子男子追踪,中途白衣黑色裤子男子对其全部短暂遮挡,效果如图5、图6所示。

从图5、图6可以看出,在前6帧LBP与颜色结合的算法还能稳定追踪,但从第7帧开始,矩形框开始偏离目标;而本文算法很稳定。在两人相遇时,LBP与颜色结合的算法在第24帧严重脱离目标,并开始偏

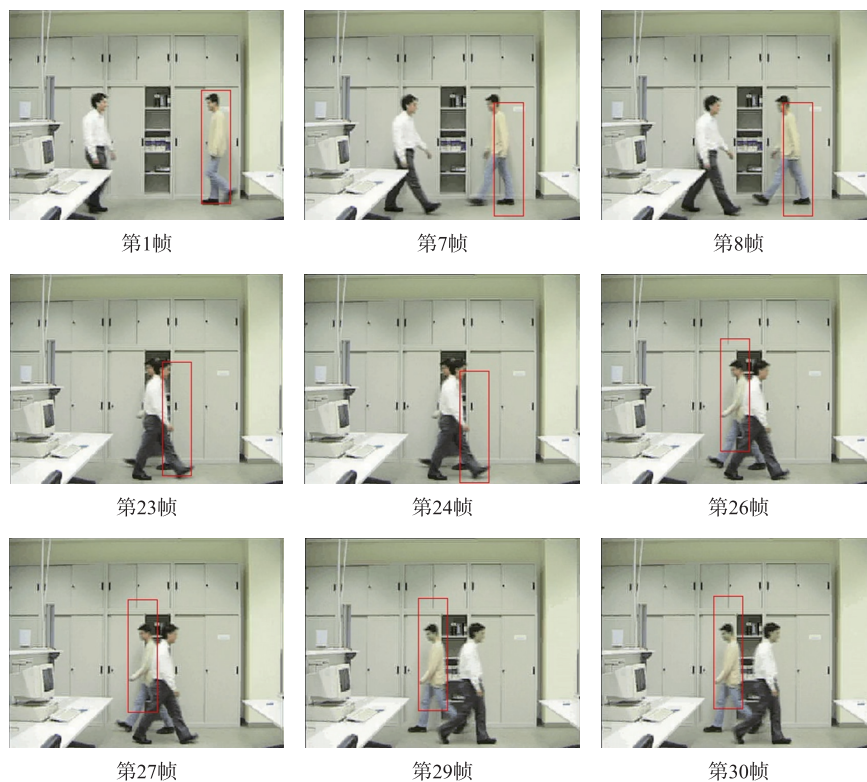


图5 LBP和颜色结合的粒子滤波算法对白衣蓝裤男子追踪效果图

Fig. 5 Particle filtering algorithm based on LBP and color features for white man's blue pants track renderings

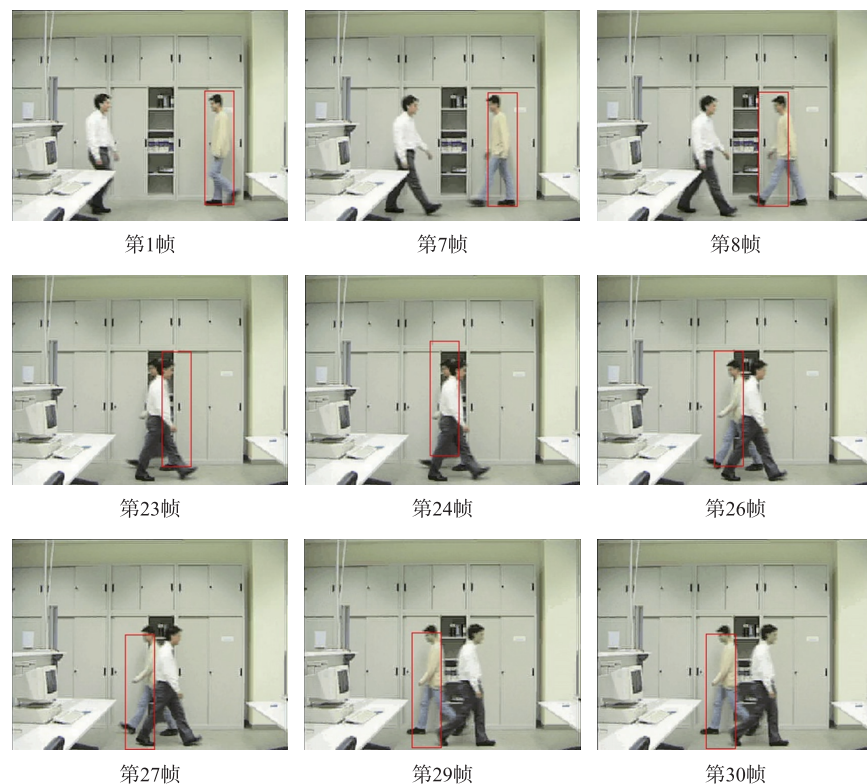


图6 HLBP和颜色结合的粒子滤波算法对白衣蓝裤男子追踪效果图

Fig. 6 Particle filtering algorithm based on HLBP and color features for white man's blue pants track renderings

向目标的上方,从第26帧一直持续到第30帧;而本文算法在两人交汇时依然稳定地追踪目标不受干扰,并保持在很小的偏移范围内,未出现较大漂移.可以看出,本文算法比LBP与颜色结合的算法有较大改进,HLBP比LBP纹理特征更加稳定.

此外,对比文献[7]中提出的多模块目标跟踪算法,对于同样的测试视频,本文算法在未加入卡尔曼滤波和均值漂移的情况下取得了同样抗遮挡的追踪效果,算法复杂度大大降低,运行效率更高.

## 5 结语

本文提出了一种基于粒子滤波跟踪框架的颜色与HLBP纹理特征自适应融合的算法,针对经典的粒子滤波算法只采用颜色特征的不足,将纹理特征与颜色特征按不同比重融合,并通过重采样对权值较大的粒子和权值较小的粒子进行权值优化组合,减少漂移的可能性,增强了追踪稳定性.实验结果表明,结合了HLBP纹理特征的算法比结合LBP纹理特征的算法稳定性更高,增强了粒子滤波跟踪的抗干扰能力,能够适应不同场景中的遮挡、颜色干扰等情况,提高了目标追踪的稳定性和准确率.

## [参考文献](References)

- [1] YIN H P, CHEN B, CAI Y, et al. Vision-based object detection and tracking: a review[J]. Acta automatica sinica, 2016, 42(10): 1466–1489.
- [2] KRISTAN M, KOVACIC S, LEONARDIS A, et al. A two-stage dynamic model for visual tracking[J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part B(cybernetics), 2010, 40(6): 1505–1520.
- [3] TALHA M, STOLKIN R. Particle filter tracking of camouflaged targets by adaptive fusion of thermal and visible spectra camera data[J]. IEEE sensors journal, 2014, 14(1): 159–166.
- [4] CEHOVIN L, KRISTAN M, LEONARDIS A. Robust visual tracking using an adaptive coupled-layer visual model[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2013, 35(4): 941–953.
- [5] XIAO J, STOLKIN R, LEONARDIS A. Single target tracking using adaptive clustered decision trees and dynamic multi-level appearance models[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston, 2015: 4978–4987.
- [6] 闫河, 刘婕, 杨德红, 等. 基于特征融合的粒子滤波目标跟踪新方法[J]. 光电子·激光, 2014, 25(10): 1990–1999.  
YAN H, LIU J, YANG D H, et al. A new particle filter object tracking algorithm based on feature fusion[J]. Journal of optoelectronics·laser, 2014, 25(10): 1990–1999. (in Chinese)
- [7] 刘振涛, 王朝英, 刘卫群. 基于双特征的多模块目标跟踪算法[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(1): 254–258.  
LIU Z T, WANG C Y, LIU W Q. Multi-block target tracking algorithm based on dual feature[J]. Computer engineering and design, 2012, 33(1): 254–258. (in Chinese)
- [8] 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(2): 411–415.  
LI Y Z, LU Z Y, GAO Q X, et al. Particle filter and mean shift tracking method based on multi-feature fusion[J]. Journal of electronics and information technology, 2010(2): 411–415. (in Chinese)
- [9] 文凌艳, 尹东. 基于HLBP特征的运动阴影检测方法[J]. 光电工程, 2016, 43(10): 84–89.  
WEN L Y, YIN D. Moving shadow detection approach based on HLBP feature[J]. Opto-electronic engineering, 2016, 43(10): 84–89. (in Chinese)
- [10] 杨德红, 闫河, 刘婕, 等. HLBP纹理特征Mean Shift目标跟踪算法[J]. 计算机工程与设计, 2016, 4: 26.  
YANG D H, YAN H, LIU J, et al. Mean shift target tracking algorithm based on HLBP texture feature[J]. Computer engineering and design, 2016, 4: 26. (in Chinese)
- [11] 刘天时, 肖敏敏, 李湘眷. 自适应的Haar型LBP纹理特征提取算法研究[J]. 计算机工程与科学, 2015, 37(7): 1381–1386.  
LIU T S, XIAO M M, LI X J. An adaptive Haar LBP texture feature extraction algorithm[J]. Computer engineering and science, 2015, 37(7): 1381–1386. (in Chinese)
- [12] 何晓川, 许录平, 冯冬竹, 等. 结合HLBP模型与色彩位置信息的动目标检测方法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2015, 42(4): 27–33.

- HE X C, XU L P, FENG D Z, et al. HLBP model method with color and location information about moving objects detection[J]. Journal of Xidian university, 2015, 42(4): 27–33. (in Chinese)
- [13] DU Y, TIAN J, SAN L, et al. Research on particle filter tracking algorithm based on multi-feature covariance matrix[C]//Control, Automation and Robotics (ICCAR), 2017 3rd International Conference on. Nagoya; IEEE, 2017: 753–757.
- [14] WANG L, LI L, KONG D. An improved particle filter tracking algorithm based on motion and appearance features[C]//Computational and Information Sciences (ICCIS), 2013 Fifth International Conference on. Shiyao, China; IEEE, 2013: 110–113.
- [15] 周书仁, 殷建平. 基于 Haar 特性的 LBP 纹理特征[J]. 软件学报, 2013, 24(8): 1 909–1 926.  
ZHOU S R, YIN J P. LBP texture feature based on Haar characteristics[J]. Journal of software, 2013, 24(8): 1 909–1 926. (in Chinese)
- [16] 周书仁, 王刚, 徐岳峰, 等. Haar 型 LBP 纹理特征的行人检测研究[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(21): 175–179. (in Chinese)  
ZHOU S R, WANG G, XU Y F, et al. Haar characteristics LBP text feature for pedestrian detection[J]. Computer engineering and applications, 2016, 52(21): 175–179. (in Chinese)
- [17] TALHA M, STOLKIN R. Particle filter tracking of camouflaged targets by adaptive fusion of thermal and visible spectra camera data[J]. IEEE sensors journal, 2014, 14(1): 159–166.

[责任编辑: 严海琳]