

# 一种基于目标先验信息的视觉跟踪算法

吴世东

(中国科学技术大学 自动化系, 安徽 合肥 230027)

**摘要:** 针对运动目标跟踪过程中出现的遮挡问题, 提出了基于目标先验信息的视觉显著性遮挡目标跟踪算法。在粒子滤波框架下, 利用目标先验信息生成视觉显著图, 并根据粒子区域颜色特征与目标颜色特征模板之间的相似度来判断遮挡情况。当遮挡发生时, 提高特征融合公式中显著性特征的融合权重, 从而充分利用目标未被遮挡部分信息来完成跟踪。实验结果表明, 利用目标先验信息的目标跟踪算法能显著提升跟踪遮挡目标的鲁棒性。

**关键词:** 目标跟踪; 先验信息; 粒子滤波; 显著性特征

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2016) 04-0046-04

引用格式: 吴世东. 一种基于目标先验信息的视觉跟踪算法[J]. 微型机与应用, 2016, 34(4): 46-49.

## A visual saliency tracking algorithm based on priori information

Wu Shidong

(Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

**Abstract:** To address the occlusion problem during target tracking, a particle filter tracking algorithm based on visual saliency and priori information of the target was presented. In the framework of particle filter, the visual saliency map is produced using the priori information of the target and the occlusion situation is decided on the similarity between the color feature in the particle area and the target area. When occlusion happens, the weight of the saliency feature is increased in the feature fusion formula, so that the object can be located using the information of the part that not be occluded on the object. Experimental results show that the algorithm can effectively deal with the situation when target is occluded.

**Key words:** object tracking; priori information; particle filter; saliency feature

### 0 引言

目标跟踪是计算机视觉领域的重要组成部分, 其相关研究成果在三维重构、人脸识别和视频监控等诸多方面均有广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。在目标跟踪过程中, 面临着复杂环境和目标自身因素的干扰, 其中目标局部或全局遮挡对跟踪鲁棒性造成了极大的挑战。粒子滤波算法<sup>[3-4]</sup>是基于贝叶斯滤波和蒙特卡罗模拟的跟踪算法, 在目标跟踪中应用非常广泛。

参考文献[5-6]根据跟踪过程中不同的遮挡情况, 提出了遮挡类型的判别方法, 通过设定阈值的方式来对遮挡情况进行判断, 在不同的情况下使用不同的跟踪算法, 提高了解决遮挡问题的能力。

ADAM A 等人<sup>[7]</sup>在2005年 CVPR 上提出一种基于目标分块的遮挡目标跟踪算法。该算法将目标区域分成许多矩形小块, 以此来构造目标特征模板, 然后根据目标平滑运动的假设, 在目标可能出现的区域检测目标, 匹配度最高的像素点位置作为跟踪结果。该算法虽然在一定程度上解决了遮挡问题, 但是当目标在跟踪过程中遮挡程度较大时, 跟踪精度不高。

赵宇宙等人<sup>[8]</sup>模拟人类视觉中的关注机制, 将视觉显著性应用到目标跟踪算法中。该方法利用相关对比算法提取目标区域中与背景差异较小的小块, 用于建立目标模板, 然后利用每个小块与目标整体之间的空间映射关系来定位出目标。该算法由于利用了目标局部有效信息, 在一定程度上抑制了遮挡对跟踪鲁棒性的影响。

### 1 粒子滤波算法简介

蒙特卡罗模拟和贝叶斯滤波是粒子滤波算法的两个核心组成部分。其大致思想是根据对系统状态的观测结果  $Z_t = \{z_0, z_1, \dots, z_t\}$  来推测出系统的后验概率分布函数  $p(x_t | z_{1:t})$ 。根据蒙特卡罗方法, 用有限样本点的求和运算来代替积分运算, 从而得到目标状态  $x_t$ 。

根据贝叶斯滤波原理, 滤波过程分为状态预测和状态更新两个方面。其中, 预测是指在不知道目标状态的情况下, 用上一时刻的跟踪结果来推测出当前时刻目标的大致位置; 更新是指用当前时刻的观测结果  $Z_t$  来对预测结果进行修正, 得到系统后验概率分布函数  $p(x_t | z_{1:t})$ 。

为方便计算, 用带权重的粒子集  $\{x_{0:t}^i, w_t^i\}_{i=1}^N$  来近似表示系统概率分布, 其中前者为粒子状态, 后者为粒子权重。

《微型机与应用》2016 年第 35 卷第 4 期

为了方便计算 根据蒙特卡罗方法 ,可以用有限样本点的加权求和来表示目标状态 其公式为:

$$\mathbf{x}_t = \sum_{i=1}^N \omega_t^i \mathbf{x}_t^i \quad (1)$$

式中  $\mathbf{x}_t$  即为最终跟踪结果。

## 2 显著性检测算法

### 2.1 算法计算过程

近年来 视觉显著性<sup>[9]</sup> 获得了广泛关注 ,出现了很多视觉显著性检测算法<sup>[10-12]</sup>。视觉显著性机制就是模拟人类视觉特性 ,从海量的视觉信息当中筛选出有用的信息 ,提高图像处理效率。

选取颜色特征来表征目标 ,为了提高颜色特征对于目标与背景的区分能力 ,对目标区域的特征提取是在 HSV 颜色空间中完成的。

根据目标运动平滑假设 利用二阶自回归模型预测出目标大致位置:

$$\mathbf{x}_t = 2\mathbf{x}_{t-1} - \mathbf{x}_{t-2} \quad (2)$$

其中 ,记  $\mathbf{x}_t = [x \ y \ s]$  表示目标中心位置坐标和尺度信息。提取出目标区域  $H$  通道颜色直方图 ,记为  $H_t = \{h^1, h^2, \dots, h^{C_{\max}}\}$  其中  $C_{\max}$  为  $H$  通道 bin 个数。

将包含目标先验信息的目标区域颜色直方图  $H_t$  在整个图片中反向投影 ,得到视觉显著图 SAL ,该过程用公式表示为:

$$\text{SAL}(m \ n) = 255 \cdot h^\mu \text{ if } c(m \ n) \in \mu \quad (3)$$

### 2.2 算法实验结果

图 1 为用本文基于目标先验信息的视觉显著性检测算法得到的检测结果。



图 1 显著性检测结果

从图 1 可以看出 ,在跟踪过程当中 ,目标发生了严重的自遮挡现象 ,但这不影响目标区域在显著图中的显著度 ,从而为跟踪鲁棒性打下了基础。

## 3 目标跟踪算法

### 3.1 特征提取

根据上节所述 ,用上节所述方法对序列图片进行显著性检测 ,得到显著图 SAL。定义

视觉显著性特征观测概率为:

$$p(\mathbf{y}_t^s | \mathbf{x}_t^i) = \frac{1}{s_t} \sum_{(m \ n) \in s_t^i} \text{SAL}(m \ n) \quad (4)$$

其中  $s_t^i$  为第  $i$  个粒子所在的区域范围  $s_t$  为归一化参数。

颜色特征的提取是在更接近人类视觉特性的 HSV 颜色空间中完成的 ,假设颜色特征观测概率为  $\rho(H_t^i, H_t^c) = \sum_{\mu=1}^r \sqrt{q^\mu p_i^\mu}$  ,其中  $H_t^i, H_t^c$  分别为粒子区间和颜色特征模板直方图 ,颜色特征观测概率实为它们之间的相似度计算结果。

### 3.2 遮挡判断和特征融合机制

对  $N$  个粒子的颜色特征观测概率进行排序 ,选取观测概率值较大的前一半个粒子作为衡量模板形变大小的

参数 ,可令  $\zeta = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{N/2} p(\mathbf{y}_t^c | \mathbf{x}_t^i)$  作为遮挡判断参数。这样目标是否发生遮挡用式(5)进行判断:

$$O_t = \begin{cases} 1, & \zeta \leq 0.5 \\ 0, & \zeta > 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

其中 ,为 1 则表示发生遮挡 ,为 0 则未遮挡。

用颜色特征和视觉显著性特征进行融合跟踪 ,特征融合方法采用常用的加性机制 ,定义融合之后的特征观测概率如下:

$$p(\mathbf{y}_t | \mathbf{x}_t^i) = \gamma p(\mathbf{y}_t^c | \mathbf{x}_t^i) + (1 - \gamma) p(\mathbf{y}_t^s | \mathbf{x}_t^i) \quad (6)$$

参数  $\gamma$  根据是否发生遮挡来给出不同取值 ,其与遮挡参数之间的关系如下:

$$\gamma = \begin{cases} 0.8, & O_t = 0 \\ 0.2, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

当未发生遮挡时 ,颜色特征在融合特征中起主要作用 ,当发生遮挡时 ,由于目标被遮挡区域信息丢失 ,颜色特征可靠性降低 ,此时主要利用视觉显著性特征来完成跟踪。

### 3.3 目标跟踪算法

目标跟踪整体流程如图 2 所示。

具体算法流程如下:

(1) 目标初始化;

(2) 状态预测和显著性检测:

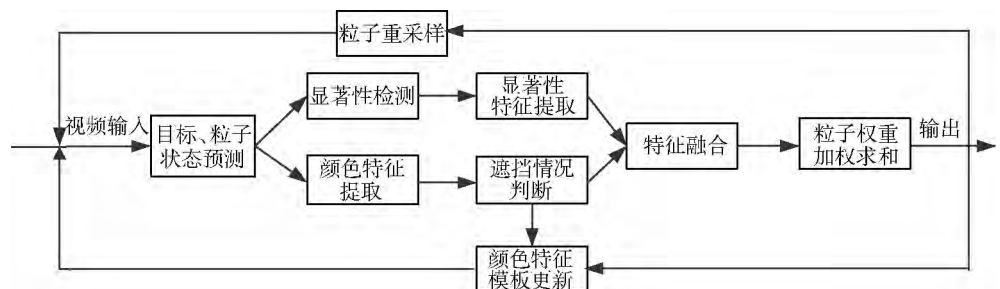


图 2 目标跟踪流程图

- (a) 利用式(2)进行目标和粒子状态预测;
- (b) 利用本文方法对原始图像进行显著性检测,得到显著图 SAL;
- (3) 特征融合和粒子权重计算:
  - (a) 利用式(5)计算出目标状态判断参数  $Q_t$ ,并判断是否发生遮挡;
  - (b) 利用公式(6)进行特征融合,得到融合后观测概率;
  - (c) 粒子权重计算公式为:
 
$$w_t^i = e^{-\beta(1-p(y_t|x_t))} \quad (8)$$
- 其中  $\beta$  为相关参数。
- (d) 粒子权重归一化公式为:
 
$$\bar{w}_t^i = w_t^i / \sum_{i=1}^N w_t^i \quad (9)$$
- 将粒子加权求和得到跟踪结果:
 
$$x_t = \sum_{i=1}^N \bar{w}_t^i x_t^i \quad (10)$$
- (4) 是最后一帧,否则返回步骤(2)。

#### 4 实验结果与分析

为验证本文算法的跟踪鲁棒性,选取了3个具有针对性的视频序列进行测试,重点考察了目标自遮挡和被静止障碍物遮挡下的跟踪结果,以及分析在跟踪过程中视觉显著性特征所起的作用,并将其与一些经典算法进行了对比实验,如 PF<sup>[3]</sup>、FT<sup>[7]</sup>。

实验结果如图3所示,各个序列的 ground truth 由视频的提供者给出。

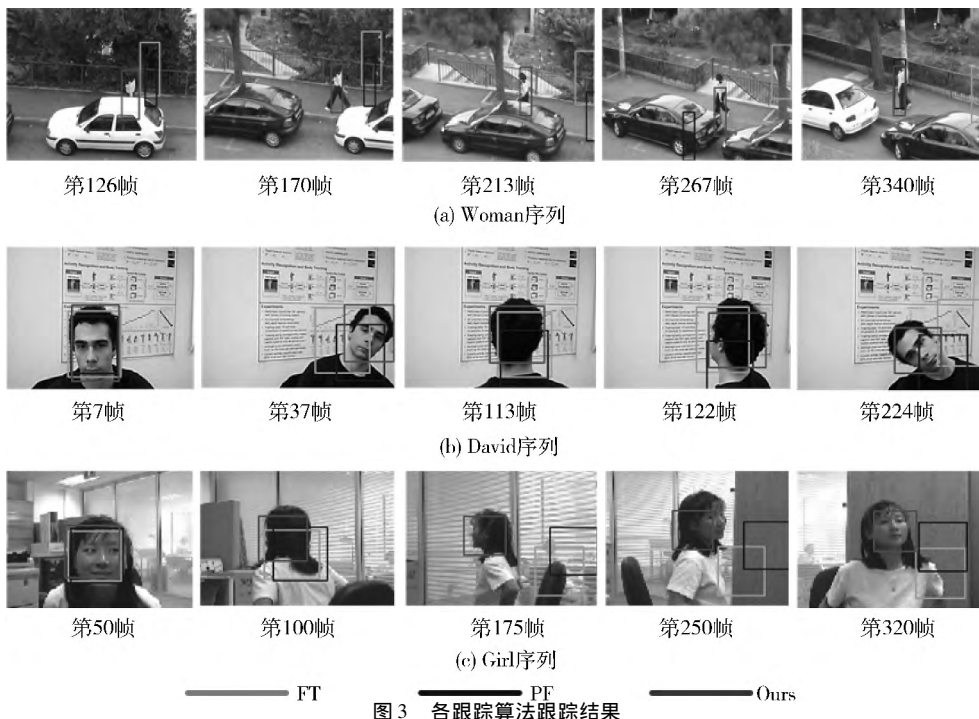


图3 各跟踪算法跟踪结果

实验1针对被静止障碍物遮挡的目标进行跟踪,从图中可以看出,本文跟踪算法取得了最好的跟踪结果。其中,FT算法采用固定分块的跟踪方法对目标模板精度要求太高,其跟踪误差会随着时间的推移被逐渐放大;采用单一颜色特征进行跟踪的PF算法虽然能应对一定程度的遮挡,但是当遮挡程度过大时,将会发生跟踪漂移现象;本文采用的基于目标先验信息的视觉显著性跟踪算法取得了不错的跟踪精度,这是因为本文算法能够在遮挡发生时,利用显著性检测算法检测出目标未被遮挡部分区域,然后让鲁棒性更强的显著性特征再完成跟踪。

实验2和实验3针对发生自遮挡的目标进行跟踪,本文算法依然表现良好。从图3可以直观看出,当目标发生自遮挡时,目标的表现颜色发生了剧烈的变化,这导致采用单一颜色特征进行跟踪的FT算法和PF算法无法适应,最终影响了它们的跟踪精度。本文算法在目标发生自遮挡的过程中,由于显著性检测过程融入了目标先验信息,从而实现了鲁棒跟踪。

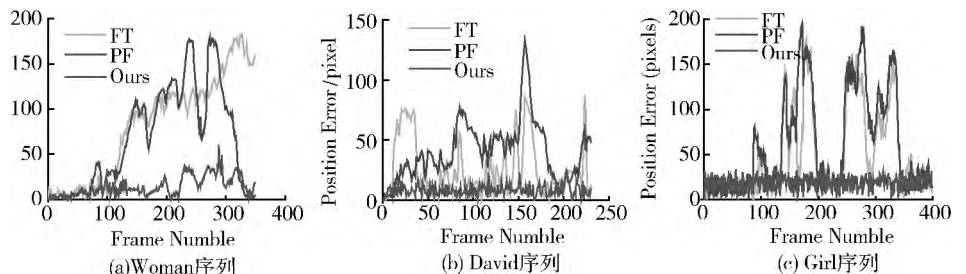


图4 各跟踪算法中心位置误差曲线

图4为各跟踪算法中心位置误差曲线图。从图4可以看出,本文算法取得了较好的跟踪效果,跟踪误差一直稳定在一个较小的范围里面,这主要得益于以下两点:一是本文提出显著性检测算法在跟踪过程中融入了目标先验信息,从而使得目标区域显著度较高,提高了显著性特征对目标的表达能力;二是本文采用的遮挡判断方法和特征融合算法能够根据遮挡情况来自适应地选择跟踪策略,提升了算法应对遮挡问题的能力。

#### 5 结论

为应对跟踪过程中的遮挡问题,本文对遮挡类型做了详细的说明和分析,并在此基础上构建了基于目标先验信息的视觉显著性检测和跟踪算法。



本文跟踪算法通过视觉显著性特征可以对该部分信息进行充分利用,从而避免了跟踪失败;当目标发生了一定程度的自遮挡时,显著性特征能够先于颜色特征做出反应,使得目标区域在显著图中的显著度依然较高,从而为实现鲁棒跟踪奠定了基础。

## 参考文献

- [1] 任加勒, 孟利民. 基于数字喷泉码的视频监控系统研究[J]. 微型机与应用, 2015, 34(10): 44-47.
- [2] 陈娴, 彭宏, 吴海巍, 等. 视频监控在高速路作业调度系统上的应用[J]. 微型机与应用, 2015, 34(1): 20-22.
- [3] PEREZ P, HUE C, VERMAAK J, et al. Color-based probabilistic tracking [C]. the 7th European Conference on Computer Vision. Copenhagen: Springer Berlin Heidelberg, 2002: 661-675.
- [4] 牛德智, 陈长兴, 班斐, 等. 基于变步长重采样的非高斯非线性目标跟踪[J]. 电子技术应用, 2014, 40(8): 129-132.
- [5] SAKARI V, SETHI I K. Feature point correspondence in the presence of occlusion[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(1): 87-91.
- [6] RANGARAJAN K, SHAH M. Establishing motion correspondence [C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1991: 103-108.
- [7] ADAM A, RIVLIN E, SHIMSHONI I. Robust fragments-based tracking using the integral histogram [C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006: 798-805.
- [8] 赵宇宙, 陈宗海, 显著子区域在线选择的目标鲁棒跟踪[J]. 控制与决策, 2014, 29(10): 1788-1792.
- [9] BORJI A, ITTI L. State-of-the-art in visual attention modeling [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(1): 185-207.
- [10] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid sceneanalysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [11] Cheng Mingming, Zhang Guoxin, MITRA N J, et al. Global contrast based salient region detection [C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011: 409-416.
- [12] 钱生, 林明强, 陈宗海, 等. 基于条件随机场和图像分割的显著性检测[J]. 自动化学报, 2015, 41(4): 711-724.

(收稿日期: 2015-10-29)

## 作者简介:

吴世东(1989-), 通信作者, 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 目标跟踪. E-mail: wsd123@mail.ustc.edu.cn.

(上接第45页)

以看出 ViBe 算法在光照不变的情况下检测效果很好,但是在光照变化的情况下,出现了大面积的像素点误判。改进之后的 ViBe 算法不再受光照变化的影响,依然可以检测到运动目标,大大提高了 ViBe 算法在光照变化时的目标检测准确率。

## 4 结论

将 ViBe 算法与帧差法融合在一起,根据阈值判断当前帧图像是否发生了光照变化来决定最终目标检测结果的算法,在监控视频中有光照变化的情况下依然可以检测到近乎完整的目标。但是 ViBe 算法还存在对阴影敏感和鬼影<sup>[8]</sup>长时间不能消除的问题,这将是下一步的研究计划。

## 参考文献

- [1] PANDER R P, MISHRA N D, GULBANE S, et al. Detection of moving object with the help of motion detection alarm system in video surveillance [J]. Journal of Signal and Image Processing, 2012, 2(3): 118-121.
- [2] STAUFER C, GRIMSON W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1999(2): 241-252.
- [3] BARNIEH O, VAN DROOGENBROECK M. ViBe: a powerful random technique to estimate the background in video sequences

[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE, 2009: 945-948.

- [4] 邱祯艳, 王修晖. 一种结合 Grabcut 的 Vibe 目标检测算法[J]. 中国计量学院学报, 2012, 23(3): 250-256.
- [5] 严红亮, 王福龙, 刘志煌, 等. 基于 ViBe 算法的改进背景减去法[J]. 计算机系统应用, 2014(6): 130-134.
- [6] BARNICH O, M. VAN DROOGENBROECK. ViBe: A universal background subtraction algorithm for video sequences [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6): 1709-1724.
- [7] SAMUELE S, ANDREA C, LUIGI D S. Adaptive appearance modeling for video tracking: survey and evaluation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(21): 4334-4348.
- [8] 张杜, 陈元枝, 邱凭婷. 基于 ViBe 算法及 Canny 边缘检测的运动目标提取[J]. 微型机与应用, 2015, 34(14): 36-38.

(收稿日期: 2015-10-27)

## 作者简介:

史瑞环(1987-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理与模式识别。

吴斌(1965-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 人工智能及其应用、智能控制、图像处理与模式识别。

李务军(1991-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能控制、模式识别。