

# 基于粒子滤波的 TLD 目标跟踪算法

谷文华, 蒋念平, 李振兴

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

**摘要** 在复杂背景下运动目标速度快速变化、目标丢失、或大面积遮挡时, TLD 算法跟踪的稳定性明显下降, 跟踪效果差。针对这一问题, 在 TLD 算法的跟踪模块中引入粒子滤波, 使其在长期稳定跟踪的基础上, 更好地完成复杂背景下快速运动目标的跟踪。实验以 OpenCV 和 VS2010 为测试环境, 结果表明, 改进后的 TLD 算法较原始 TLD 算法能够更好地跟踪快速运动的目标, 增强了跟踪的稳定性和鲁棒性。

**关键词** 目标跟踪; TLD 算法; 粒子滤波; OpenCV + VS2010

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A 文章编号 1007-7820(2015)12-045-04

## TLD Target Tracking Algorithm Based on Particle Filter

GU Wenhua, JIANG Nianping, LI Zhenxing

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract** The stability and tracking performance of TLD tracking algorithm decreased significantly with rapid changes in speed moving targets, goals lost in a complex background, or large shelter. The particle filter is introduced to the TLD algorithm tracking module to offer better complex background track fast-moving target as well as long-term stability. Experiments in OpenCV and VS2010 show that the improved TLD algorithm can better track fast-moving target, increasing the tracking stability and robustness.

**Keywords** target tracking; particle filter; TLD algorithm; OpenCV + VS2010

在目标跟踪过程中, 会出现各种问题。比如, 在长时间的目标跟踪过程中, 目标速度和加速度的变化、目标的位置偏移、目标的丢失、目标的变形和遮挡等问题。为了更好的解决这些问题, 提高跟踪的精度和稳定性, 本文采用基于粒子滤波的 TLD<sup>[2]</sup> (Tracking - Learning - Detection) 目标跟踪算法。

TLD 算法是一种对视频中未知目标进行长期跟踪的算法。其作为一种基于在线学习检测的单目标跟踪算法, 可高效地解决多种复杂的动态模型和在非线性分布下, 对跟踪目标的位置和状态进行估计。该算法通过一种改进的在线学习机制不断更新跟踪模块的“显著性特点”、检测模块的目标模型及相关参数<sup>[3]</sup>, 从而使得跟踪效果更加稳定、鲁棒、可靠。

### 1 TLD 算法基本原理

该算法主要由跟踪模块、检测模块和学习模块 3

个部分构成。TLD 算法在执行过程中, 跟踪器和检测器并行运行, 他们所产生的结果都将反馈到学习过程中, 学习后的模型又反作用于跟踪器和检测器, 并对其实时更新。这样就保证了即使目标外观发生变化, 也能被持续稳定跟踪。另外, 由于算法集成了在线检测器<sup>[4]</sup>, 因此在目标消失后具有良好的重检测能力, 一旦目标重新出现, 便能及时地恢复跟踪。

TLD 跟踪算法的具体执行过程为: 由金字塔 LK 光流的前后向跟踪器构成的 TLD 算法跟踪模块, 其对移动目标在相邻帧之间的运动进行跟踪, 一旦要跟踪的目标在视频序列帧中消失, 那么必然会引起跟踪失败。另外, 跟踪模块对跟踪目标所受的光照干扰和遮挡较敏感, 并且当目标遇到遮挡时容易丢失目标。由方差分类器、集合分类器和最近邻分类器共同构成的 TLD 检测模块, 会对当前视频帧中的所有扫描子窗口进行处理, 每次扫描一个图像片, 之后便会反馈其中是否含有待检测目标, 并估计出被跟踪目标可能出现的大致区域。但如果跟踪失败, 检测模块将运用检测到的结果去更新跟踪模块。随后, 跟踪模块跟踪到的结果和检测模块检测到的结果会共同输入到综合模块中, 综合模块将根据跟踪目标框和检测目标框得到下

收稿日期: 2015-04-26

作者简介: 谷文华 (1989—), 女, 硕士研究生。研究方向: 图像处理, 自动化控制。E-mail: gwh591854006@163.com。蒋念平 (1957—), 男, 副教授。研究方向: 计算机应用, 仪器仪表开发等。

一帧中目标边界框的位置信息。最后学习模块根据输入的跟踪结果和检测结果,产生新的正负样本,完成对在线模型的更新,进而实现对跟踪模块和检测模块的更新<sup>[5]</sup>。

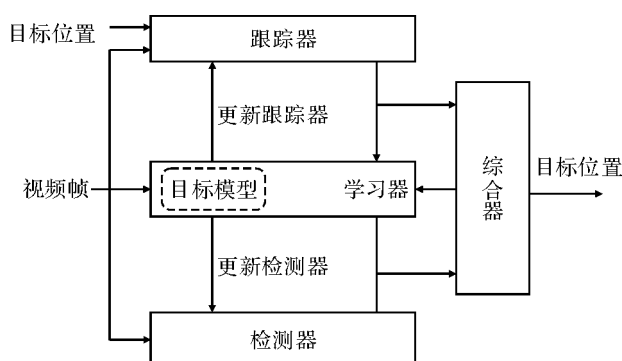


图1 TLD跟踪算法的执行结构

## 2 粒子滤波算法原理

通过以上分析,针对TLD算法的不足,将引入粒子滤波算法。粒子滤波是利用一系列随机抽取的样本及样本的权重来计算状态的后验概率分布。主要包括粒子重样、赋予权重及输出等几个步骤。首先,在状态空间中根据先验分布产生一组随机样本集合,即粒子。然后根据观测方程,调节每一个粒子对应权重的大小来获取服从实际分布的样本,粒子的状态及权重用于近似估计系统的后验概率密度,最后阶段对粒子进行重要性采样以获得均匀权重分布<sup>[6]</sup>。

粒子滤波通过非参数化的蒙特卡洛(Monte carlo)模拟方法来实现递推贝叶斯滤波,适用于任何能用状态空间模型描述的非线性系统,精度可以逼近最优估计<sup>[7]</sup>。粒子滤波具有简单、易于实现等特点,为分析非线性动态系统提供了一种有效的解决方法。

### 2.1 贝叶斯滤波

在目标跟踪中,动态系统的状态空间模型<sup>[8]</sup>可描述为

$$\begin{cases} x_k = f(x_{k-1}) + u_{k-1} \\ y_k = h(x_k) + v_k \end{cases} \quad (1)$$

其中  $f(x)$  为状态转移方程;  $h(x)$  为与观测方程;  $x_k$  为系统状态;  $y_k$  为观测值;  $u_k$  为过程噪声;  $v_k$  为观测噪声。为了方便描述,用  $X_k = x_{0:k} = \{x_0, x_1, \dots, x_k\}$  与  $Y_k = y_{1:k} = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$  分别表示  $0 \sim k$  时刻所有的状态与观测值。

在处理目标跟踪问题时,通常假设目标的状态转移过程服从一阶马尔可夫模型<sup>[9]</sup>,即当前时刻的状态  $x_k$  只与上一时刻的状态  $x_{k-1}$  有关。另一个假设为观测值相互独立,即观测值  $y_k$  只与  $k$  时刻的状态  $x_k$  有关。

假设已知  $k-1$  时刻的概率密度函数为

$p(x_{k-1} | Y_{k-1})$ , 贝叶斯滤波的具体过程<sup>[10-11]</sup>如下:

(1) 预测过程。由  $p(x_{k-1} | Y_{k-1})$  得到  $p(x_k | Y_{k-1})$ 。  

$$p(x_k | x_{k-1} | Y_{k-1}) = p(x_k | x_{k-1}, Y_{k-1}) p(x_{k-1} | Y_{k-1}) \quad (2)$$

当给定  $x_{k-1}$  时,状态  $x_k$  与  $Y_{k-1}$  相互独立,因此

$$p(x_k | x_{k-1} | Y_{k-1}) = p(x_k | x_{k-1}) p(x_{k-1} | Y_{k-1}) \quad (3)$$

上式两端对  $x_{k-1}$  积分,可得到 Chapman-Kolmogorov 方程<sup>[12]</sup>

$$p(x_k | Y_{k-1}) = \int p(x_k | x_{k-1}) p(x_{k-1} | Y_{k-1}) dx_{k-1} \quad (4)$$

(2) 更新过程。由  $p(x_k | Y_{k-1})$  得到  $p(x_k | Y_k)$ 。

获得在  $k$  时刻的测量  $y_k$  后,利用贝叶斯公式对先验概率密度进行更新,得到后验概率

$$p(x_k | Y_k) = \frac{p(y_k | x_k, Y_{k-1}) p(x_k | Y_{k-1})}{p(y_k | Y_{k-1})} \quad (5)$$

假设  $y_k$  只由  $x_k$  决定,即

$$p(y_k | x_k, Y_{k-1}) = p(y_k | x_k) \quad (6)$$

因此得到

$$p(x_k | Y_k) = \frac{p(y_k | x_k) p(x_k | Y_{k-1})}{p(y_k | Y_{k-1})} \quad (7)$$

其中  $p(y_k | Y_{k-1})$  为归一化常数

$$p(y_k | Y_{k-1}) = \int p(y_k | x_k) p(x_k | Y_{k-1}) dx_k \quad (8)$$

贝叶斯滤波以递推的形式给出后验概率密度函数的最优解。

## 3 改进 TLD 跟踪算法

本文提出的粒子滤波与 TLD 跟踪算法相结合的新算法实现步骤为:

步骤1 输入基于摄像头实时测试的视频的第一帧,并人工标记出待跟踪的目标。

步骤2 建立并初始化随机森林分类器和粒子滤波器。

步骤3 由随机森林分类器检测目标,粒子滤波跟踪器跟踪目标。

步骤4 判断跟踪是否成功;如果跟踪成功,则跳转到步骤6;如果没有跟踪成功则判断是否遮挡,如果有遮挡,则利用粒子滤波算法对目标位置进行预测,将得到的结果反馈给跟踪器,跳转到步骤6;如果没有遮挡,则跳转到步骤5。

步骤5 判断检测器是否检测到目标,如果检测到目标,跳转到步骤6;如果没有检测到目标,跳转到步骤7。

步骤6 更新跟踪器和检测器,显示目标位置。

步骤7 更新学习模块的正负样本。

步骤8 重复步骤3~步骤7,直到测试结束。

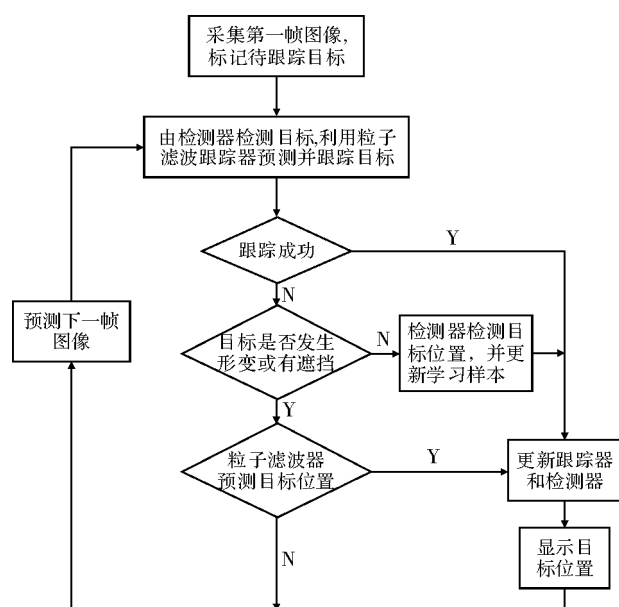


图2 改进 TLD 跟踪算法流程图

#### 4 实验结果分析

实验是在 Windows7 系统的 PC 机下运行测试的,该 PC 机的 CPU 为 Intel(R) Core(TM) i3,内存为 2 GB,采用的软件开发平台是 Microsoft Visual Studio 2010,利用开源库 OpenCV2.4.11 对图像进行处理<sup>[13]</sup>。试验为基于摄像头的实时测试,实验结果如图 3 所示。

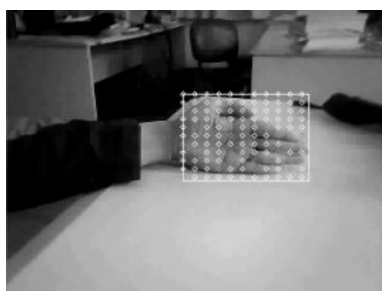


图3 第10帧

图3是对图像做初始化操作,人为选定跟踪的目标后,通过对跟踪点进行筛选,得到所跟踪的点,然后利用粒子滤波算法跟踪,彩色点即为所要跟踪的点。

图4则是演示遮挡环节,通过模拟一障碍物遮挡跟踪的目标,算法中学习器的存在使得遮挡部分作为正样本的一部分加入样本集合中,因此,能够较好地处理目标被暂时遮挡的情况。实验结果表明新改进方法仍能跟踪到原始的目标,能够解决障碍物对目标遮挡所造成的影响。

图5则是目标离开视野,然后经过几帧图像间隔的时间后,目标又重新进入视野,由于目标模型没有被错误更新,新改进算法在目标更新时仍能准确跟踪到了目标。



图4 第58帧

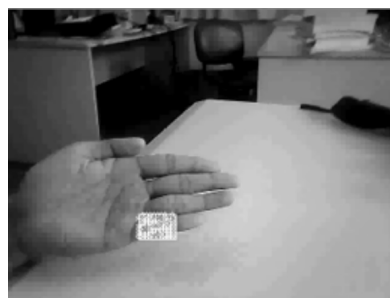


图5 第70帧

图6是目标角度或姿态发生变化变形,该方法仍能快速地跟踪到目标,提高了原 TLD 算法的准确性和适应性。

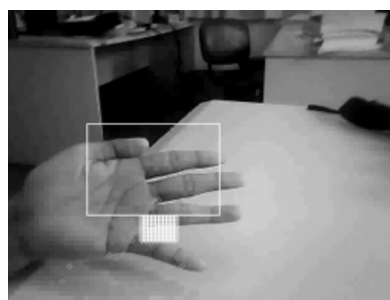


图6 第84帧

#### 5 结束语

本文提出了一种 TLD 算法与粒子滤波相结合的目标跟踪方法。在改进算法的跟踪器跟踪成功后加入遮挡判定过程,目标被遮挡后目标模型不再更新,且算法中的学习器也不再更新集合分类器。当目标遇到严重遮挡的时候,则改由粒子滤波算法预测目标的运动轨迹。实验表明,改进后的 TLD 算法不仅在非线性目标跟踪、跟踪目标大面积遮挡的情况下能稳定的跟踪,另外在目标变形时 also 具有良好的跟踪效果,具备更高的跟踪精度和更快的处理速度。即改进的 TLD 算法稳定、鲁棒、可靠,优于原始 TLD 算法。下一步对 TLD 的研究可以考虑进一步改进 TLD,并以 TLD 为核心研究多目标跟踪的方法。

(下转第 51 页)

(2) 对患者的管理。在传染病的控制过程中,首先要注意的是控制传染源患者是重要的传染源,对于患者的有效管理是传染病控制工作是否成功的标准之一,首先应该做到早发现、早报告、早隔离和早治疗而隔离患者是控制传染病散播的有效措施。

(3) 对接触者的管理。对接触者的管理是指对与传染源有过接触并有感染可能的人群根据传染病防治法的要求采取观察和隔离的措施,以防传染病的散发。

(4) 医院感染的控制。医院是患者最密集的地方,各种病菌存在医院,如果杀毒等措施进行不彻底,便可能使患者或工作人员感染其它病菌。

(5) 注意传染病的规律性。突发性、季节性、周期性、非线性的变化。

#### 4 结束语

防止传染病疫情的发生,直接关系到人民健康、经济发展和社会稳定,本文对传染病发生的特点进行了分析,利用传染病过去和当前观测值构成的时间序列,指出具有随时间变化的运动演变规律,进而提出一种基于 ARIMA 的传染病预测模型,并通过对某市 2013 年流行性感冒人数进行了预测,实验结果表明,本文提出的传染病预测模型综合考虑了传染病变化趋势、周期性和突发生等特点,预测精度高、结果可靠,结果说明 ARIMA 方法可用于传染病流行趋势的预测。本文所研究的传染病的预测适合用 ARIMA 模型,ARIMA 模型对该传染病拟合精度和预测效果均较为满意。根

据预测的数据,开展有针对性的防治工作,有助于提高防控呼吸道传染病的能力。

#### 参考文献

- [1] 陈田木,刘如春,谢知,等.流行性感冒数学建模研究进展[J].中国热带医学,2014(7):890-894.
- [2] 赵肖肖,朱宁,黄黎平.基于 ARIMA 模型的时间序列建模算法和实证分析[J].桂林电子科技大学学报,2012(5):410-415.
- [3] 熊志斌.基于 ARIMA 与神经网络集成的 GDP 时间序列预测研究[J].数理统计与管理,2011(2):306-314.
- [4] 张韬,张兴裕,刘元元,等.基于 ARIMA 模型的 Kalman 滤波算法在淋病发病率预测的应用初探[J].现代预防医学,2013,40(16):2958-2961.
- [5] 龚国勇. ARIMA 模型在深圳 GDP 预测中的应用[J].数学的实践与认识,2008(4):53-57.
- [6] 童明荣,薛恒新,林琳.基于季节 ARIMA 模型的公路交通量预测[J].公路交通科技,2008(1):124-128.
- [7] 王耕,王嘉丽,苏柏灵.基于 ARIMA 模型的辽河流域生态足迹动态模拟与预测[J].生态环境学报,2013(4):632-638.
- [8] 童明荣,薛恒新,林琳.基于季节 ARIMA 模型的公路交通量预测[J].公路交通科技,2008(1):124-128.
- [9] 魏巍,邹红文.基于 Matlab 的传染病动力学模型仿真平台[J].微计算机信息,2007(34):198-199,270.
- [10] 胡树煜.传染病预测的建模与计算机仿真研究[J].计算机仿真,2011(12):184-187.
- [11] 陈启军,陈越,杜生明.论传染病的危害及我国的防治策略[J].中国基础科学,2005(6):19-30.

(上接第 47 页)

#### 参考文献

- [1] Zhong Y, Ajain, Dubuisson J M. Object tracking using deformable templates [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(5): 544-549.
- [2] Kalal Z, Mikolajczyk K, Matas J. Face - TLD: tracking - learning - detection applied to faces [C]. Hong Kong: IEEE Press, 2010.
- [3] Bar - Shalom, Yaakov Li, X - Rong Kirubarajan, et al. Estimation with applications to tracking and navigation: theory, algorithms, and software [M]. New York: Wiley, 2001.
- [4] 李敏敏. 基于 TLD 模型的目标跟踪方法 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [5] Kalal Z, Matas J, Mikolajczyk K. Online learning of robust object detectors during unstable tracking [C]. Tianjin: IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), IEEE, 2009.
- [6] 于金霞, 汤永利, 刘文静. 粒子滤波自适应机制研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27(2): 417-422.

- [7] Arulampalam M S, Maskell S, Gordon N. A tutorial on particle filters for online nonlinear/non - gaussian bayesian tracking [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(2): 174-188.
- [8] 孙巧. 遮挡情况下基于粒子滤波的视觉跟踪算法研究 [J]. 科学技术与工程, 2012, 12(32): 57-59.
- [9] 郭晓松, 李奕芃, 郭君斌. 粒子滤波算法以及其应用研究 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(9): 2264-2269.
- [10] Simon Godsill. Improvement strategies for monte carlo particle filters [D]. Cambridge: University of Cambridge, 2002.
- [11] Julier S J. A new method for the nonlinear transformation of means and covariance in filters and estimators [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2000, 43(3): 477-482.
- [12] Miodrag B, Hong S J, Petar M D. Finite precision effect on performance and complexity of particle filters for bearing - only tracking [J]. Department of Electrical and Computer Engineering, Stony Brook, 2002, 1(10): 838-842.
- [13] Bradski G, Kaehler A. 学习 OpenCV [M]. 于仕琪, 刘瑞祯, 译. 北京: 清华大学出版社, 2009.