

基于自适应搜索的空时上下文目标跟踪算法

叶瑞哲¹, 许卓斌²

(1 厦门理工学院信息中心, 福建 厦门 361024; 2 厦门大学信息与网络中心, 福建 厦门 361005)

摘 要: 视频监控行业已经快速进入了智能监控的时代. 然而, 自然非受控条件下获取的视频中, 环境复杂多变, 对其中各类行人目标检测跟踪带来挑战. 针对各种复杂场景及不同目标, 如何设计实现效率高、鲁棒性好、实时性强的目标跟踪识别技术仍然是当今业界研究的热点及难点. 因此以监控领域非刚性的行人作为主要研究对象, 拟实现目标稳定检测跟踪, 尤其是提高复杂背景下行人跟踪的精度. 实验表明本文所提算法的重叠率准则(OR)和跟踪中心误差(CLE)超过现有最优目标跟踪算法, 同时其跟踪速度也超过大多数算法.

关键词: 视频监控; 目标跟踪; 空时上下文; 自适应搜索

中图分类号: TP309

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)06-0088-04

DOI:10.19304/j.cnki.issn1000-7180.2018.06.019

Spatio-Temporal Context-based Object Tracking Algorithm in Video Surveillance

YE Rui-zhe¹, XU Zhuo-bin²

(Information And Network Center, Xiamen University, Xiamei 361005, China)

Abstract: The entire video surveillance industry has rapidly entered the era of intelligent surveillance. However, the environment is complex and changeable in the video obtained under natural uncontrolled conditions, which poses many challenges for the detection and tracking of various types of pedestrian targets. For a variety of complex scenarios and different goals, how to design a target tracking and recognition technology with high efficiency, good robustness, and strong real-time performance is still a hot and difficult topic in the industry. Therefore, this paper focuses on non-rigid pedestrians in the monitoring field, and uses multi-features collaborative learning to analyze and research object tracking. It is intended to achieve Spatio-Temporal Context model for tracking, especially to improve the accuracy of the descendant tracking in a complex background. Experiments show that the overlapping rate (OR) and tracking center location error (CLE) for our proposed algorithm exceed the existing optimal algorithms, and its tracking speed is more than that of most algorithms.

Key words: video surveillance; target tracking; spatio-temporal; adaptive search

1 引言

伴随着信号处理技术和数字技术的成熟, 视频监控系统在数字化、网络化、智能化和集成化方向飞速发展, 整个视频监控行业已经快速进入了智能监控的时代.

2 量的书写规则

视频监控行业的事前预防、事中响应、事后追查的特性刚好吻合了人工智能的算法和技术. 在云计算、大数据、芯片、智能算法等技术的助推下, 视频监控行业也从单一的安全领域向多行业应用、提升生产效率、提高生活智能化方向发展^[1].

由于行人目标具有非刚性结构的特点, 受环境、

收稿日期: 2017-08-05; 修回日期: 2017-09-22

基金项目: 福建省教育厅科技项目(AT170435)

姿态等影响较大,这些不确定性等实际因素,都对行人检测跟踪的效果提出挑战.在实际应用领域,仍有许多难点亟待解决,例如光照、遮挡、体型、姿态等影响^[2-3].

现有的目标跟踪算法大致上可分为判别模型^[4-6]、生成模型^[7-10]以及二者的混合模型^[11-14].基于生成模型的跟踪算法是通过搜索与目标模板最相似的区域来跟踪目标,但生成模型并没有将背景信息考虑其中,损失了非常有用的背景信息^[15].

为了实现干扰条件下对目标的稳定跟踪,本文以空时上下文(STC)^[16]跟踪模型为基础框架,利用目标运动模型和置信度加权策略,提出了一种鲁棒有效的改进空时上下文目标跟踪算法,该算法不仅具有空时上下文算法跟踪的实时性,还具有鲁棒的跟踪能力,能够在干扰条件下对目标稳定跟踪.

2.1 基于空时上下文(STC)的视觉跟踪算法

在空时上下文(STC)目标跟踪算法中,跟踪问题被描述为计算一个估计目标位置似然的置信图 $m(x)$ 的过程,即: $m(x) = p(x|o)$, 其中 x 是疑似目标位置, o 是目标信息. 为了便于描述,假设目标位置为 x^* , 因此上下文特征集合 $X^c = \{c(z) = (I(z), z) | z \in \Omega_c(x^*)\}$, 其中, $I(z)$ 表示红外图像中 z 点的特征; $\Omega_c(x^*)$ 则表示目标中心 x^* 附近区域.

因此,将空间上下文先验信息添加到跟踪过程中,基于贝叶斯框架得到置信度方程表示如下:

$$\begin{aligned} m(x) &= \sum_{c(x) \in X^c} p(x, c(z) | o) \\ &= \sum_{c(x) \in X^c} p(x | c(z), o) p(c(z) | o) \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $p(x | c(z), o)$ 是条件概率,表征了目标及其附近区域空间关系; $p(c(z) | o)$ 是在目标特征条件下的上下文先验概率,其定义为:

$$\begin{aligned} p(c(z) | o) &= I(z) w_\sigma(z - x^*) \\ &= I(z) \cdot \alpha \cdot \exp\left(-\left|\frac{z - x^*}{\sigma}\right|^\beta\right) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $w_\sigma(z - x^*)$ 是图像特征的加权高斯函数; α 与 σ 分别表示正则参数与尺度参数; β 是形状参数.

假定 $p(x | c(z), o) = h^*(x - z)$, 结合以上分析,可以得到如下等式:

$$\begin{aligned} c(x) &= \sum_{c(z) \in X^c} h^*(x - z) I(z) w_\sigma(z - x^*) \\ &= h^*(x) \otimes I(x) w_\sigma(x - x^*) \end{aligned} \quad (3)$$

式中, \otimes 代表卷积操作,经过一次傅里叶变换可将

其转换到频率域:

$$F(c(x)) = F(h^*(x)) \odot F(I(z) w_\sigma(z - x^*)) \quad (4)$$

可以看出对上述公式进行一个变换,得到空时上下文模型的计算公式:

$$h^*(x) = F^{-1}\left(\frac{F(c(x))}{F(I(z) w_\sigma(z - x^*))}\right) \quad (5)$$

STC 算法计算出上下文模型后,其后续的目标跟踪任务就转换成检测问题.不失一般性,假设第 t 帧中的空时上下文用 $h_t^*(x)$ 来表示,则 $t+1$ 帧中目标中心位置,可以通过求取第 $t+1$ 帧的置信图的最大值所在位置得到:

$$x_{t+1}^* = \operatorname{argmax}_{x \in \Omega_c(x_t^*)} c_{t+1}(x) \quad (6)$$

将等式(4)逆变换,即可得到 t 帧的 STC 模型,其中 $t+1$ 帧的更新模型如下表示:

$$H_{t+1}^{sc} = (1 - \rho) H_t^{sc} + \rho h_t^* \quad (7)$$

STC 算法充分利用目标局部上下文区域信息建立时空上下文模型计算置信图,将置信图中概率最大的位置作为目标位置.经过监控系统仿真测试,STC 算法能够很好地解决微弱形变、目标旋转等常见的跟踪问题,但是在目标运动过程中,如果目标被遮挡,或对比度差异较大,那么目标及局部背景区域灰度会发生波动,获得的置信图不准确,导致目标漂移甚至跟踪失败.

3 本文提出的目标跟踪算法

大多数基于区域搜索的目标跟踪算法都是以上一帧目标位置为中心选取一个大于目标尺寸的搜索窗口.太大的搜索窗会造成虚假目标的干扰,太小又不能完全覆盖目标.本文采用运动模型的不确定性理论对其进行鲁棒的估计:

$$\delta^{k+1} = \frac{\{|\alpha_x^{k+1} - \alpha_x^k|, |\alpha_y^{k+1} - \alpha_y^k|\}}{T \sqrt{wh}} \quad (8)$$

式中, T 表示采样率; w, h 分别表示目标的长度与宽度.上式可以看出,动态系统中不确定度参数 δ 是相邻帧中目标加速度 α 的差分值.对于常规速度运动,加速度的差分近似为零.而对于大速度的运动,系统具有较大的不确定值.因此,相邻两帧的目标的运动参数的差值可以表示为:

$$\Delta s = s^{k+1} - s^k \quad (9)$$

值得注意的是,运动模型的预测可以由不确定度进行约束限制

$$\hat{s}^{k+1} = s^k + \Delta s \theta(\delta^k) \quad (10)$$

$$\theta(\delta^k) = \exp(k_\theta \|\delta^k\|_2) \quad (11)$$

式中, $\theta(\delta^k)$ 是有由不确定度计算的约束函数; k_θ 是校正系数, 作为经验值, 一般设置为 15 可以获得最优的搜索窗口. 最后, 搜索窗口的中心就可以由预估的目标位置 \hat{s}^{k+1} 进行调整.

因此, 本文提出的策略是通过运动模型预测出目标可能的位置, 并以此确定搜索区域, 避免了目标机动时移动出搜索区.

4 实验结果及其分析

为了验证本文提出的基于空时上下文(STC)的监控目标跟踪算法的有效性, 本文选择跟踪精度(OR)和跟踪重叠度(CLE)两个指标进行定性定量分析, 并与现有算法进行比较. 实验硬件仿真平台采用 MATLAB(R2010a), 并在 CPU 为 Core i3 处理器; 主频 2.94GHZ, 内存 8G, 操作系统: Windows 7 上运行. 实验选用了 10 组视频序列进行测试.

4.1 参数设定

为了比较所提出算法的性能, 目前最优算法被采用作为对比算法 KCF^[12], FCT^[5], STC^[16],

TLD^[11]. 为了算法公平比较, 本文采用的对比算法都使用作者提供的源代码, 参数及其初始化值选取其默认值. 同时, 所有跟踪算法的跟踪目标初始位置保持一致.

4.2 定性定量对比

本文选用最常用的两种指标评价跟踪算法性能: 中心位置误差(Centre Location Error, CLE)和重叠精度(Overlap Precision, OP). 表 1 展现了所有算法在基准测试视频序列上的平均 OR 和 CLE 跟踪性能, 其中深黑和斜体表示所有算法中最好的结果. 可以看出, 本文提出的算法在不同场景的基准视频下都取得不错的跟踪效果. 例如, 基准视频序列 1 Deer 在跟踪过程中目标在被遮挡后, KCF 算法跟踪波门有漂移而 FCT 算法会由于相似背景干扰而偶尔发生跳跃, 这导致 OR 与平均 CLE 指标影响较大. 本文提出的算法则在遮挡时能较好的跟踪上目标, 取得不错的跟踪精度, 主要归功于利用运动模型的不确定性理论对目标的位置进行初始估计, 提出一种自适应搜索区域定位的方法.

表 1 自然图像下不同跟踪算法的定量对比

视频序列 指标	平均 OR					平均 CLE				
	TLD	KCF	STC	FCT	Our	TLD	KCF	STC	FCT	Our
Deer	0.615	0.607	0.612	0.552	0.753	8.2	8.6	18.8	10.1	6.5
Car11	0.825	0.808	0.391	0.782	0.843	1.7	2.2	1.8	1.9	1.6
Cliffbar	0.457	0.543	0.504	0.516	0.737	25.3	21.4	22.7	11.3	4.3
Singer1	0.797	0.822	0.387	0.878	0.752	5.3	4.7	3.3	4.9	7.1
Stone	0.506	0.663	0.352	0.626	0.548	3.6	1.7	2.4	2.9	3.2
Walking	0.751	0.701	0.619	0.657	0.820	2.3	20.2	66.9	10.9	2.4

为了验证在背景干扰、运动模糊等干扰因素影响下跟踪性能的精度, 本文利用 6 组视频序列进行对比试验. 在外序列 1 中, 第 43 帧以前 KCF 算法、本文算法等四种算法都能很好地进行跟踪, 其跟踪指标基本一致, 但是当目标对比度降低, 出现背景干扰后, TLD 跟踪算法出现了跟踪漂移, FCT 算法则丢失了目标, 而本文提出的算法则稳定跟踪目标, 充分说明了本文提出的算法对干扰因素的适应性能力.

5 结束语

本文在总结国内外研究成果的基础上, 以监控领域非刚性的行人为主要研究对象, 拟实现目标稳定检测跟踪, 尤其是提高复杂背景下行人跟踪的精

度. 大量实验表明本文所提算法的重叠率准则(OR)和跟踪中心误差(CLE)超过现有最优目标跟踪算法, 同时其跟踪速度也超过大多数算法.

参考文献:

- [1] 郑浩, 董明利, 潘志康. 基于背景加权的尺度方向自适应均值漂移算法. 计算机工程与应用, 2016, 52(22). doi: 10.3778/j.issn.1002-8331.1604-0175.
- [2] 徐少飞, 刘政怡, 桂斌. 基于循环核矩阵的自适应目标跟踪算法. 计算机工程与应用, 2016, 52(20). doi:10.3778/j.issn.1002-8331.1412-0335.
- [3] 吴盈, 刘哲等. 基于随机局部均值 Hash 特征的在线学习目标跟踪. 计算机工程与应用, 2016, 52(14): 21-27.
- [4] 曹义亲, 周小辞, 黄晓生等. 基于压缩感知的互补特征

- 加权目标跟踪算法. 计算机工程与应用, 2016, 52(19):110-116.
- [5] 汤春明, 卢永伟. 基于改进的稀疏重构算法的行人异常行为分析. 计算机工程与应用, 2017, 53(8): 98-104.
- [6] I. Matthews, T. Ishikawa, S. Baker, The template update problem, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 26(6), (2004), 810-815.
- [7] 程帅, 孙俊喜, 曹永刚等. 增量深度学习目标跟踪. 光学精密工程, 2015, 23(4): 1161-1170.
- [8] 陈东成, 朱明等. 在线加权多示例学习实时目标跟踪. 光学精密工程, 2014, 22(6): 1661-1667.
- [9] Henriques J F, Caseiro R, Martins P, et al. Exploiting the circulant structure of tracking-by-detection with kernels // Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision. New York: ACM Press, 2012, Part IV: 702-715D.
- [10] Liu, Ting, Gang Wang, and Qingxiong Yang, "Real-time part-based visual tracking via adaptive correlation filters," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015.
- [11] A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton, Imagenet classification with deep convolutional neural networks, in: Advances in Neural Information Processing Systems, 2012, 1097-1105.
- [12] 王向华, 覃征, 杨新宇, 等. 基于多次卡尔曼滤波的目标自适应跟踪算法与仿真分析. 系统仿真学报, 2008, 20(23):6458-6465.
- [13] Hilke Kieritz; Stefan Becker et al. Online multi-person tracking using Integral Channel Features, in 13th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 2016, 122-130.
- [14] M Danelljan, FS Khan et al. Adaptive Color Attributes for Real-Time Visual Tracking, in Computer Vision & Pattern Recognition, 2014 :1090-1097.
- [15] CHEN S Y. Kalman filter for robot Vison. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2012, 59(11): 4409-4420.
- [16] Kaihua Zhang, Lei Zhang, Ming-Hsuan Yang, and David Zhang, Fast Tracking via Spatio-Temporal Context Learning, in Computer Science, 2013.

作者简介:

叶瑞哲 男, (1976-), 工程师. 研究方向为校园信息化建设、计算机网络技术. E-mail: ray@xnut.edu.cn.

许卓斌 男, (1975-), 硕士, 高级工程师. 研究方向为数据中心、园区网、信息化应用建设、虚拟化、并行计算、大数据.