

基于改进压缩跟踪算法的航拍视频目标跟踪系统

张洋^{1,2} 胡勇¹ 张燕¹

(1. 金陵科技学院软件工程学院, 南京, 211169; 2. 南京师范大学计算机科学与技术学院, 南京, 210023)

摘要: 针对航拍视频的特性, 对经典的压缩跟踪(Compression tracking, CT)算法进行了研究, 发现了CT算法在样本采集和分类取样步骤中的不足并进行了相应的改进。采用Kalman滤波器预测目标的运动路径, 并将预测结果应用于样本采集, 自适应地修改搜索范围。更新了分类器的取样反馈过程, 先对分类结果进行判断, 评分绝对值低于某一阈值的分类结果不反馈给分类器, 有效地保持了分类器的正确性。在改进算法的基础上, 开发了基于航拍视频的目标跟踪系统。通过与经典压缩跟踪算法在实际航拍道路视频的测试和对比, 验证了本文算法的有效性和实时性。

关键词: 航拍视频; 目标跟踪; 压缩感知; 压缩跟踪

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Aerial Video Tracking System Based on Improved Compression Tracking Algorithm

Zhang Yang^{1,2}, Hu Yong¹, Zhang Yan¹

(1. School of Software Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing, 211169, China; 2. School of Computer Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing, 210023, China)

Abstract: An improved compression tracking (ICT) algorithm is proposed based on the characteristics of aerial video. After study on classic compression tracking(CT) algorithm, some shortcomings in sample collection and classification of the sampling processing are found and improved. Kalman filter is used to predict the target movement path and the prediction results are applied to sample collection for adaptive research. The sampling and feedback of the classifier are updated by using the classification results after determined. Values lower than a certain threshold are not transferred to the classifier for classification, which ensures the correctness and the accuracy of the feedback of the classifier. Based on the proposed algorithm, a target tracking system is implemented for aerial video. Compared with the classic compression tracking algorithm in real aerial video, the effectiveness and real-time performance are tested and verified.

Key words: aerial video; object tracking; compression sensing; compression tracking

引言

目标跟踪是计算机视觉领域的重要研究分支, 通过分析和标记视频序列来获取跟踪目标的状态信

息,包括位置、速度和外形等,为后续的处理做好准备。运动目标跟踪不仅有广泛的实际应用领域,其结果也直接影响了高阶的视觉分析如目标识别的性能。

航拍是近几年流行起来的数据采集方式,它采用视频捕捉设备,通过自顶而下的垂直拍摄方式,获得连续的俯视图。这种空中拍摄的方式具有独特的拍摄视角,可以实现全局补盲的效果,很大程度上避免了地面拍摄中常见的目标间遮挡的问题,有利于实时目标检测和跟踪。航拍的明显优势使其在军事侦察和情报收集等领域有广泛的应用,其拥有广阔的市场发展前景和重要的实用价值。

覃征等^[1]提出了一种基于雷达信息的地面集群目标跟踪方法,通过将地面的多个目标判定为一个群体进行跟踪,有效地减少了跟踪算法的复杂性以及对地面运动目标指示雷达的依赖,但是对于监控突发事件处理能力仍显不足。尚彬等^[2]提出了基于地面运动目标指示雷达系统的多目标跟踪方法,但在识别比较接近的两个或者多个物体时容易出错。赵晓光等^[3]提出了一种基于视觉的无人直升机目标跟踪系统,通过集成计算机视觉技术和微小型直升机控制技术,实现了无人机自主识别目标并跟踪的功能,但由于观测距离远、目标解析度低,很难实现精确识别。黄雁等^[4]提出了一种结合 Mean Shift 算法和 Kalman 滤波器的航拍视频目标跟踪方法,采用灰度直方图和彩色直方图建立目标模型,在一定程度上提高了算法的抗干扰性,但是算法的计算较为复杂,实时性不足。宗新冉等^[5]提出了基于 SIFT 的航拍影像自动配准与识别算法、基于尺度不变的 SIFT 特征提取方法,并采用基于投影的 M-估计算法,降低了邻帧之间的误匹配概率,加快了模型求解速度,但由于没有考虑遮挡问题的影响,导致系统鲁棒性不足。胡本川等^[6]提出了一种基于改进 Kalman 滤波的可见光极小目标检测前跟踪(Tracking before detection, TBD)跟踪方法,可以有效检测跟踪极小目标,但检测过程中的搜索策略和卡尔曼滤波中的 R 构造仍需要进一步探索。焦蓬斐等^[7]提出了一种基于多新息 Kalman 滤波的 TBD 改进算法,将多新息理论运用在机器视觉领域,实现了对跟踪目标位置的预测与修正,有一定的改进,但效果并不明显。在航拍视频监控中,被跟踪目标的所处环境一般比较简单、视野广阔,适合长时间跟踪,但是采集到的目标区域通常具有相对较少的像素和较小的尺寸,影响了跟踪算法的准确性。除此之外,目标跟踪的实时性也是应用需求的另一项重要指标,这就要求在进行跟踪时,能无延时地进行图像处理并反馈结果。

本文基于压缩感知理论,提出了一种改进的压缩跟踪算法(Improved compressive tracking, ICT),该算法采用 Kalman 滤波器预测目标的运动路径,有效地提高了跟踪效果;改进了分类器更新过程,提高了分类器的抗遮挡能力。在改进算法的基础上,开发了基于航拍视频的目标跟踪系统,出于安全和保密的原因,本文没有使用真实的视频监控环境,而是通过对真实航拍道路视频的仿真实验,验证了本文算法的有效性和实时性。

1 压缩跟踪算法

基于压缩感知理论,Zhang Kaihua 等^[8]提出了一种压缩跟踪算法(Compressive tracking, CT),通过构造一个符合等距约束性条件性质(Restricted isometry property, RIP)的稀疏矩阵来对采集到的样本进行重构,并提取其系数作为样本的特征,最后将提取的特征值通过一个朴素贝叶斯分类器分为两类,并在每一帧中迭代更新分类器,达到目标跟踪的目的。由于采用了区别于传统的新构造方法,使得构造出的观测矩阵十分稀疏,从而令计算复杂度大大下降,能有效满足算法的实时性需求。同时,RIP 的性质保证了低维空间上的投影也可以保持原空间的距离信息,从而满足了精确性需求。

一个经典的符合 RIP 性质的观测矩阵通常是一个随机高斯矩阵 $\mathbf{R} \in \mathbf{R}^{n \times m}$,其中 $r_{ij} \sim N(0,1)$ 。但是,该方法构造的矩阵非稀疏,存储和计算开销都会随着 m 的变大而上升,当 m 很大时,存储和计算开销将是巨大的。CT 算法提出了一个新的构造随机观测矩阵的方法,并且该矩阵是非常稀疏的,即

$$r_{ij} = \sqrt{s} \times \begin{cases} 1 & \text{以 } 1/2s \text{ 的概率} \\ 0 & \text{以 } 1 - 1/s \text{ 的概率} \\ -1 & \text{以 } 1/2s \text{ 的概率} \end{cases} \quad (1)$$

在确定了随机观测矩阵以后,对于每一个样本 $z \in \mathbf{R}^{w \times h}$,通过如下的多尺度算子提取所有尺度上的特征

$$h_{i,j}(x,y) = \begin{cases} 1 & 1 \leq x \leq i, 1 \leq y \leq j \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

从而得到一个高维多尺度特征向量 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$,其中 $m = (wh)^2$,通过如式(1)的随机观测矩阵,提取其特征值 $\mathbf{v} \in \mathbf{R}^n$,其中 $n \ll m$ 。

CT算法作为一种具有普适性的跟踪算法,在跟踪精度、计算速度和存储容量方面都具有明显的优点,其使用的稀疏随机观测矩阵在符合限制等距性质的同时,也十分便于计算、存储,同时在提取特征时的表现也非常优秀。在分类器方面,其使用的朴素贝叶斯分类器计算快捷,在样本线性可分时具有理论上最优的分类效果。但是,在将CT算法应用于航拍视频的时候发现其仍然具有许多值得改进的地方,在分类器的样本采集阶段和更新阶段都可以进行一些调整以更好地适应航拍视频,取得更好的跟踪效果。

2 改进的压缩跟踪算法

通过对航拍视频特性的分析,针对CT算法在样本采集和分类取样步骤方面的不足,对其进行了改进。

2.1 改进的样本采集

CT算法作为一个具有普适性的跟踪算法,由于跟踪目标的运动方向具有很大的随机性,所以使用一个圆形的搜索范围来随机抽取样本。当取样个数 n 比较小时比较容易丢失目标,而 n 设置得太大,又会加大计算量,使每次迭代的时间超过一帧图像的显示时间,从而失去实时性。特别是当跟踪目标运动速度过快时,有可能跳出搜索范围,从而导致跟踪失败。

航拍道路视频中的跟踪目标是公路上的车辆,其移动路径具有方向性,且一般为匀速直线运动或者匀加速直线运动,仅在转弯时路径会变化。田健等^[9]提出的融合速度特征的压缩感知目标跟踪算法,利用目标位置变化计算目标的速度来自适应地改变搜索范围,提高了目标高速运动时的跟踪效果,但仅用速度表示目标的变化趋势并不精确。本文采用Kalman滤波器预测目标的运动路径,并将预测结果应用于样本采集,自适应地修改搜索范围。由于Kalman滤波器的优秀预测能力,本文算法的跟踪效果得到了有效的提高。

2.2 改进的分类取样

CT算法在分类器更新阶段将当前帧位置作为圆心,取一个较小的半径作为正类样本取样范围,取一个较大的半径作为负类取样范围,然后利用两类样本训练分类器。在该算法中,训练阶段对作为当前帧目标位置的样本不经过任何判断,而是直接作为正确的结果反馈给分类器。然而在一些情况下,分类器选出的分类评分最高的样本不一定很好地保留样本的特征,此时,这种直接反馈的做法就会导致分类器在后面的分类中出现偏差,这些偏差会慢慢累积,最终导致分类器无法给出正确的结果,丢失跟踪目标。

重新观察分类器的设计,可以发现当分类器评分 $H(v)$ 的绝对值越小,样本的类别就越不明确,如果在分类阶段对所有样本给出的评分绝对值都比较小,那么即使其中评分最高的样本也已经丢失了样

本的原始特征(如样本被遮挡、发生了光照变化等)。此时,再将当前帧样本作为正类样本不合适,由于目标的这些变化一般都是暂时的,却被作为样本的特征用来训练分类器,那么当目标从被遮挡等变化中回到正常环境时,原算法就容易丢失跟踪目标。如果在更新分类器之前,先对分类结果进行判断,评分的绝对值低于某一阈值的分类结果不反馈给分类器,那么就可以有效地保持分类器的正确性。

依据上述分析,得到 ICT 算法,描述如下。

输入:第 t 帧的视频图像。

输出:第 t 帧的目标位置,分类器参数。

算法步骤:

(1)由上一帧的目标位置 L_{t-1} 经 Kalman 滤波器预测当前帧位置 \tilde{L}_t 为

$$\tilde{L}_t = \text{KalmanFilter}(L_{t-1})$$

(2)采集样本集 D^α 为

$$D^\alpha = \{z \mid \|L(z) - \tilde{L}_t\| < \alpha\}$$

其中, \tilde{L}_t 为第 t 帧的预测目标位置,并且提取了它的低维特征。

(3)对 D^α 中的每个样本 z ,提取其特征值 $v(z)$,对每个特征值使用分类器 H 计算评分,找到评分最高的样本 z_m 为

$$z_m = \arg\max (H(v(z))) \quad z \in D^\alpha$$

(4)判断 $H(v(z_m))$ 的绝对值是否高于预设的阈值 h_c ,若是则转步骤(5),否则将 z_m 的位置 L_t 输出, $t = t + 1$,转步骤(1)。

(5)采集两个样本集,正类样本集 D^β 为

$$D^\beta = \{z \mid \|L(z) - L_{t-1}\| < \beta\}$$

负类样本集 D^γ 为

$$D^\gamma = \{z \mid \zeta < \|L(z) - L_{t-1}\| < \gamma\}$$

其中, $\beta < \zeta < \gamma$ 。

(6)根据贝叶斯分类器计算结果更新分类器,并将 z_m 的位置 L_t 输出。

其中,步骤(1)使用 Kalman 滤波器对目标的当前帧位置进行预测,并在步骤(2)中作为采样中心,从而完成自适应调整搜索范围的功能,在步骤(4)加入对分类器评分的判断,从而保持分类器正确更新。

3 系统实现与实验分析

本文基于改进的 CT 算法,设计开发了基于航拍视频的目标跟踪系统,通过与原 CT 算法在实际航拍道路视频的测试和比较,验证了本文算法的有效性和实时性。

系统基于微软基础类库(Microsoft foundation classes, MFC)搭建,运行于 Windows 64 位平台,使用 OpenCV 进行后台处理。航拍视频来自大疆 Phantom 3 Professional 无人机的实时传输。图 1 显示了系统的主界面,可以看到无人机传回的实时视频情况。选取跟踪目标以后(图中方框),主界面下方可以显示目标在最近几帧的情况。点击参数,进入参数调节窗口。算法选择有原 CT 算法和 ICT 算法,并可以调整最大/最小采样数、特征数、外围半径、搜索窗口和学习率等参数。

通过对相同视频的多次测试,可以发现 ICT 算法的抗遮挡性能优于原 CT 算法(见图 2)。特别是当遮挡比例在 0.2~0.4 之间时,ICT 算法精度明显较高。

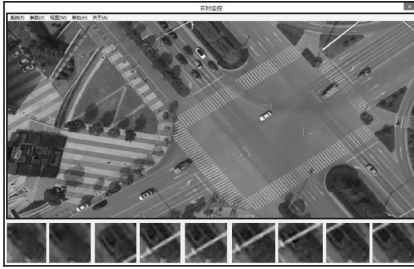


图 1 系统主界面

Fig. 1 Main interface of proposed system

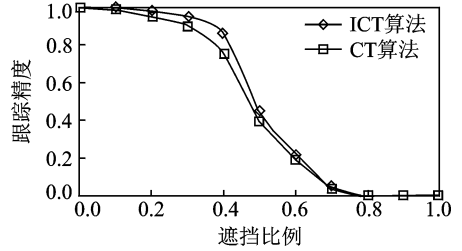


图 2 两种对比算法的抗遮挡性能

Fig. 2 Anti-occlusion performance comparison of two algorithms

同时还测试了两种算法在不同分辨率视频下的时空消耗和实时性,下面仅列出其中一次的实验结果。本次实验的参数设置为采样数:2~4;特征数:100;外围半径:4 像素;搜索窗口:25 像素;学习率 0.85。实验结果见表 1~3。

表 1 1 920 像素×1 080 像素实验结果

Tab. 1 Experimental results in 1 920 pixels×1 080 pixels

项目	CT 算法	ICT 算法
内存消耗/KB	176 442	211 729
CPU 占用/%	24	24
帧处理时间/ms	24~27	27~32
跟踪精度/%	96.43	97.22

表 2 1 536 像素×864 像素实验结果

Tab. 2 Experimental results in 1 536 pixels×864 pixels

项目	CT 算法	ICT 算法
内存消耗/KB	74 752	89 702
CPU 占用/%	24	24
帧处理时间/ms	16~18	20~24
跟踪精度/%	93.86	95.83

表 3 384 像素×216 像素实验结果

Tab. 3 Experimental results in 384 pixels×216 pixels

项目	CT 算法	ICT 算法
内存消耗/KB	29 407	35 288
CPU 占用/%	24	24
帧处理时间/ms	16~18	20~24
跟踪精度/%	89.89	90.64

从表 1~3 中可以看出,两个算法的跟踪精度都很高,ICT 算法的跟踪精度优于 CT 算法,同时也能满足实时性需求,但在内存消耗和单帧处理时间上也有相应的增加。

4 结束语

本文在充分研究经典 CT 算法的基础上,针对航拍视频的目标较小、移动较快等特性,提出了一种改进的 CT 算法,该算法采用 Kalman 滤波器预测目标的运动路径,有效地提高了跟踪效果;改进了分类器更新过程,提高了分类器的抗遮挡能力。基于上述的算法改进,开发了基于航拍视频的目标跟踪系统。通过与经典 CT 算法在实际航拍道路视频的测试和比较,验证了本文算法的有效性和实时性。

参考文献:

[1] 覃征,郭荣华. 地面集群目标跟踪方法[P]. 中国专利:200810097990,2008-10-22.
Qin Zheng, Guo Ronghua. Ground formation target tracking method[P]. China Patent:200810097990,2008-10-22.

[2] 尚彬,孙进平,李少洪. 一种基于地面动目标指示雷达系统的多目标跟踪方法[P]. 中国专利:200910086717,2009-12-30.
Shang Bin, Sun Jinping, Li Shaohong. A multi target tracking method based on ground moving target indication radar system [P]. China Patent:200910086717,2009-12-30.

[3] 赵晓光,谭民. 基于视觉的无人直升机目标跟踪系统[P]. 中国专利:200810119586,2010-03-10.
Zhao Xiaoguang, Tan Min. Vision-based unmanned helicopter target tracking system[P]. China Patent:200810119586,2010-03-10.

[4] 黄雁,罗喜伶,张军. 一种实时稳健的航拍视频目标跟踪方法[C]//通信理论与技术新发展——第十三届全国青年通信学术会议论文集(下). 北京:中国通信学会青年工作委员会,2008:1136-1141.

Huang Yan, Luo Xiling, Zhang Jun. A robust real-time approach for aerial video target tracking[C]//Proceedings of the 13th National Youth Conference on Communication. Beijing: Youth Committee, China Institute of Communication, 2008: 1136-1141.

- [5] 宗新冉,李哲英,刘元盛. 基于 SIFT 算法的航拍影像自动配准与识别[C]// 2011 年全国电子信息技术与应用学术会议论文集. 上海:上海禹捷文化传播有限公司,2011:712-715.
Zong Xinran, Li Zheyang, Liu Yuansheng. Automatic registration and recognition of aerial image based on SIFT algorithm. [C]// 2011 Proceedings of National Conference on Electronic Information Technology and Application. Shanghai: Yu Jie Culture Communication Co. Ltd., 2011:712-715.
- [6] 胡本川,张国宾,张建龙,等. 基于改进 Kalman 滤波的可见光极小目标 TBD 跟踪方法[J]. 数据采集与处理,2016,31(4): 799-808.
Hu Benchuan, Zhang Guobin, Zhang Jianlong, et al. Minimal target tracking method for visible image based on improved Kalman filter [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2016, 31(4): 799-808.
- [7] 焦蓬斐,秦品乐,苗启广,等. 基于多新息 Kalman 滤波的 TBD 改进算法[J]. 数据采集与处理,2016,31(3):592-598
Jiao Pengfei, Qin Pinle, Miao Qiguang, et al. Improved TBD algorithm based on multi-innovation Kalman filter [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2016, 31(3): 592-598.
- [8] Zhang Kaihua, Zhang Lei, Yang Mingsuan. Real-time compressive tracking[C]// Computer Vision-ECCV. Florence, Italy: Springer,2012: 864-877.
- [9] 田健,王开军,郭躬德,等. 融合速度特征的压缩感知目标跟踪算法[J]. 南京大学学报(自然科学),2016,52(1):149-158.
Tian Jian, Wang Kaijun, Guo Gongde, et al. Compressed sensing based target tracking algorithm by integrating speed features [J]. Journal of Nanjing University (Natural Science Edition), 2016, 52(1): 149-158.

作者简介:



张洋(1991-),男,硕士研究生,研究方向:机器学习,E-mail:leon0472@163.com。



胡勇(1972-),男,博士,副教授,研究方向:图像处理、机器视觉。



张燕(1969-),女,教授,研究方向:语音识别、机器学习。

