

文章编号: 1672-8785(2017)09-0014-06

## 基于机器视觉的天基动目标自主监视技术

冯珂堃<sup>1,2,3</sup> 饶鹏<sup>2,3</sup>

(1. 中国科学院大学, 北京 100049 ;

2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083 ;

3. 中国科学院红外探测与成像技术重点实验室, 上海 200083 )

**摘 要:** 未来遥感卫星的分辨率将越来越高, 覆盖范围越来越广, 观测数据越来越多, 现有的人工监视已经远远不能满足需求, 因此监控的“智能化”变得越来越迫切。天基动目标自主视频监控技术是计算机视觉领域的研究热点, 涉及到图像处理、模式识别以及人工智能领域, 研究内容丰富, 应用领域广泛。从三个模块对动目标自主识别关键技术进行了归纳总结, 介绍了关键技术算法, 并对典型的算法进行了优缺点分析, 给出了相对鲁棒性强、实时性高、检测效果好的技术路线。

**关键词:** 目标检测; 目标跟踪; 计算机视觉; 天基动目标; 自主识别

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.09.003

## Autonomous Monitoring Technology of Space-based Moving Targets Based on Machine Vision

FENG Ke-yao<sup>1,2,3</sup>, RAO Peng<sup>2,3</sup>

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

3. Key Laboratory of Infrared System Detection and Imaging Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China )

**Abstract:** With the increasing of the imaging resolution of remote sensing satellites in the future, their coverage range will become wider and wider and their observation data will increase greatly. The existing manual monitoring is far from meeting the demand. Therefore, ‘intelligent’ monitoring becomes more and more urgent. At present, the space-based independent video surveillance technology is a hot spot in the field of computer vision, which involves in image processing, pattern recognition and artificial intelligence. This research is rich in content and has a wide application range. The key independent recognition technologies of abnormal moving targets are summarized from three aspects. The key algorithms are presented. The advantages and disadvantages of some typical algorithms are analyzed. The technical route with excellent robustness, high real-time performance and good detection effectiveness is given.

**Key words:** target detection; target tracking; computer vision; space-based moving target; self-identification

收稿日期: 2017-05-19

作者简介: 冯珂堃(1992-), 男, 山西长治人, 硕士研究生, 主要研究基于计算机视觉的动目标智能监视技术。

E-mail: fengky@mail.ustc.edu.cn

## 0 引言

随着社会的发展和科技的进步,人们对安全性的要求越来越高。目前,视频监视网络已经覆盖到了人类活动的各个场所,在很大程度上可以保障人们的财产安全,减少违法犯罪行为,预防和打击恐怖活动。传统的视频监视仅提供视频存储回放等简单功能,很难起到预警作用,因此自主视频监视技术已经成为当前计算机视觉领域的研究热点。随着航天技术的发展,未来遥感卫星观测的分辨率将越来越高,覆盖范围越来越广,观测数据越来越多。而现有的数据处理方式多为地面人工处理,因此处理速度慢、数据应用单一,实时、快速、多元化处理遥感数据已经成为未来卫星遥感观测发展的迫切需求之一。因此将自主视频监视技术推广至天基平台,针对卫星观测数据量大、观测数据多元、多尺度等现状,在天基平台下对数据进行处理,可以提高观测的准确性、响应速度以及数据利用率。目前,国内外的研究人员都在努力追求实现全方位大视场的目标自主识别技术。与传统的视频监控相比,自主视频监视技术的主要优势体现在能提高监控的可靠性、报警的精准度以及响应速度。它未来在日常社会视频监控和天基对地监视领域必定具有良好的应用前景。

## 1 动目标自主监视技术路线

1996~1999 年间,美国国防高级研究计划局 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 资助卡内基梅隆大学等十几家高校和科研机构,联合研发了视频监控系统 VSAM<sup>[1]</sup>。该监视系统允许单个人工操作员利用分布式视频传感器网络在复杂环境中进行监视,实现了半自主的实时视频监视。

DARPA 则提出了 ARGUS-IS 广域视频监视系统。该系统利用十亿像元的焦平面阵列形成千兆像素的图像;用先进的图像处理算法检测识别欺骗性强的军事目标;使用先进的光学镜头获取高分辨率图像。采用 368 个成像镜头拼接得到面积 40 km<sup>2</sup> 区域的影像,实现了在 5000

m 高空下约 0.15 m 分辨率的广域高分辨监控和对任何移动物体的自主跟踪。同时针对红外系统视场较窄、分辨率较低、帧速率较慢的状况,DARPA 还提出了 ARGUS-IR 红外自主实时对地全方位监视系统。该系统采用 130 个独立可控的监控视频流对整个视场中的单个目标进行跟踪,具有持久、实时、高分辨率的广域夜间视频监控能力。ARGUS-IR 提供的夜间监控能力与 ARGUS-IS 相结合,可形成 24 h 持续不断的自主监控。ARGUS-IR 必须克服与红外焦平面阵列传感器尺寸、重量、功率等相关的苛刻技术的约束。DARPA 正在努力克服困难,以实现 24 h 昼夜监控系统。

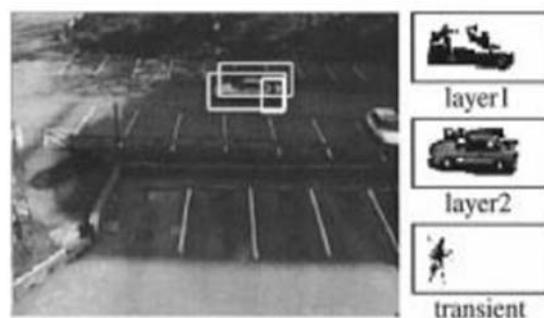


图 1 美国 VSAM 系统界面



图 2 美国 ARGUS 系统界面

仿生学研究起源于 20 世纪中期,关于视觉仿生技术的研究是仿生学研究中的热点。日本东京工业大学基于鹰眼的生理结构设计了一种可对重点监控目标进行变焦跟踪的广域跟踪系统<sup>[2]</sup>。

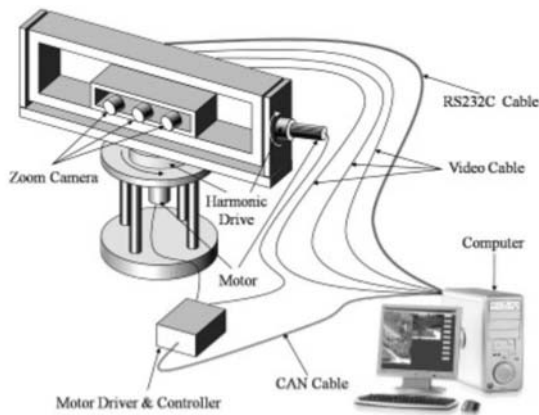


图3 日本鹰眼广域跟踪系统结构图

如图4所示，该跟踪系统利用扫描相机在大范围视场下对目标进行扫描并定位，然后利用高分辨率长焦相机实现动目标的重点跟踪。



图4 鹰眼系统变焦跟踪示意图

以色列的 Fayman 等人针对目标和传感器相对位置的变化会导致目标尺度变化、目标信息

量变化的问题，提出了一种变焦控制的主动跟踪方法——变焦跟踪<sup>[3]</sup>。该跟踪方法运用基于光流法的闭环视觉反馈算法计算所需焦距并对相机焦距进行连续自主调整，实现了精确跟踪目标的功能。

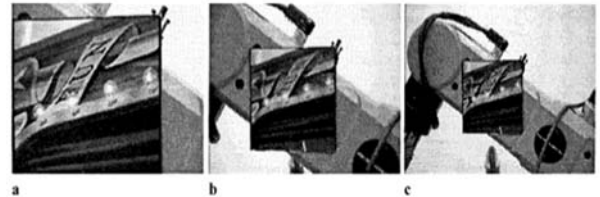


图5 以色列变焦跟踪目标

英国 Surrey 大学开发了一套具有实时探测目标和小目标长时间精确跟踪能力的 Predator 系统<sup>[4]</sup>。该系统将长时间跟踪任务分为跟踪、学习、检测三个部分。通过利用跟踪器和检测器的正负样本迭代训练分类器，改善了检测器的精度。检测器可以估计跟踪器的误差，全面搜索并找到目标形状相似的物体，正负样本经由分类器学习后，可进一步更新跟踪器。检测器、跟踪器、分类器相结合，实现了对各个场景目标的实时监测和精确跟踪。

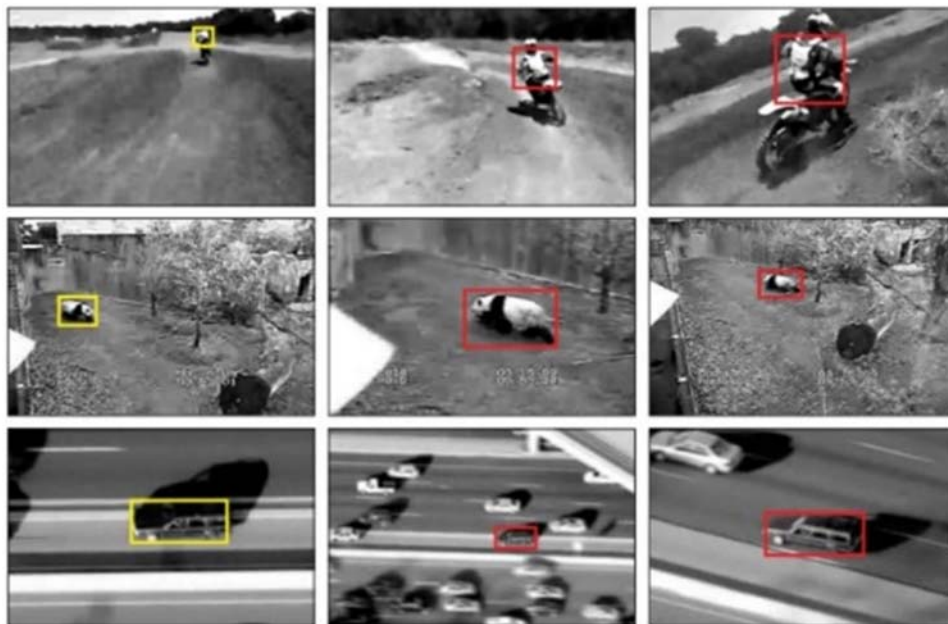


图6 Predator 系统跟踪目标

对国内外广域动目标自主监视技术进行研究分析后,可以发现该技术主要包括三个步骤:

(1) 目标检测与跟踪:利用光学系统采集视频图像序列,对感兴趣目标进行检测和跟踪。

(2) 目标特征提取:提取目标特征,为下一步的分析、识别与分类打好基础。

(3) 目标识别分类:利用机器视觉分类算法对目标的行为特征进行分类,识别异常动目标并给出预警。

上述算法在国内外的研究中已经取得了长足的进展,本文将分别就目标检测、跟踪、特征提取和目标识别分类等方面进行概述。对现有技术进行归纳整理,从中获得一定的启发,有助于更全面地深入探讨。

## 2 动目标自主监视算法

### 2.1 目标检测

目标检测是从视频图像序列中提取出运动前景目标,确定目标在当前帧中的位置以及大小,为目标跟踪和识别分类提供有效的目标信息。常见的方法有背景差法、相邻帧差法和光流法三种。

背景差法是将当前图像与背景图像相减以实现前景目标提取。文献 [5] 提出了基于 SCBP 特征的背景建模算法以及基于时空连续性约束的前景检测算法。文献 [6] 提出基于自适应最优特征值背景模型的运动感检测算法。文献 [7] 提出基于时空上下文与背景建模的运动目标检测算法。背景建模的方法一般可以达到实时性要求,但是要求背景保持不变,所以在动态背景下,传统的背景建模法不能满足需求。

针对动态背景,文献 [8] 提出了基于区域分割的复杂背景建模算法。该算法利用 Stauffer 等人提出的混合高斯模型 [9] 和 Elgammal 等人提出的非参数化模型 [10],在色度和亮度空间对监控背景进行有效的区域分类,采用合并方法聚类填充动态区域中的小空隙,并在边界处向外适当扩充像素进行背景建模。

帧差法是将相邻两帧图像对应点像素值相减,标记出变化较大的像素区域,即可认为是

运动目标。帧差法适用于动态背景,其计算速度快,实时性强,但在运动目标内部会产生空洞现象,对大目标检测效果不是很理想 [11]。文献 [12] 采用性能较好的 ViBe 方法弥补了目标空洞现象。文献 [13] 在相邻两帧帧差法的基础上进一步提出了三帧差分法提取运动目标。文献 [14] 提出了一种结合相位相关和差分相乘算法的运动目标检测方法。文献 [15] 使用帧差法和背景差法融合实现了运动目标检测。

光流法是计算运动物体在图像上产生的瞬时二维运动场,包含物体表面结构、动态行为等重要信息。大多数光流检测方法都具有噪声阴影的影响较大、计算复杂和实时性差的缺点 [11]。文献 [16] 采用光流与深度融合的方法,可检测摄像机运动不明显的目标。文献 [17] 结合光流与自运动模型估计图像序列的自运动光流,提取出了完整的目标。

除了以上三种主要的目标检测方法之外,文献 [18] 提出了基于运动能量的目标检测算法。文献 [19] 提出了基于多个颜色空间分量信息融合的目标检测算法。文献 [20] 提出了基于选择性注意机制的显著性检测算法。文献 [21] 结合连续图像间的互信息值对目标进行了检测。文献 [22] 提出了基于自回归滑动平均模型 (Auto Regressive Moving Average, ARMA) 的运动目标检测。

表 1 目标检测算法的优缺点比较

算法	目标信息	优点	缺点
二帧差分	边界	计算简单 实时性好	动态背景不适用,存在空洞
三帧差分	位置边界	定位标准 实时性好	慢速目标不适用,时间滞后
简单背景差法	位置形状 大小	目标完整精确 实时性好	对光照变化、背景抖动敏感
混合高斯模型	位置形状 大小	克服背景干扰 鲁棒性好	计算量大,实时性差,阴影敏感
光流法	位置形状 大小	支持动态背景 鲁棒性好	需要特殊硬件支持,抗噪性差

针对多种算法的优缺点,结合各个方法的优点,对不同方法进行比较。文献 [23] 提出了光流法与三帧差分法相结合的运动目标检测算法。金字塔 LK 光流法 [24] 的检测实时性较好,但无法检测完整的目标。而 HS 光流法 [25] 可以检测运动背景下的完整运动目标。因此文献 [26]

利用 LK 光流的稀疏光流提取背景的运动矢量作为初始值, 结合 HS 光流法实现了完整运动目标检测。

## 2.2 目标跟踪

目标跟踪用来确定我们感兴趣的目標在视频序列中的连续位置, 记录目标的运动轨迹和运动参数, 并对感兴趣目标进行重点放大监控。

文献 [15] 提出了基于尺度空间的 Mean Shift 算法, 同时提出了 Kalman 滤波器的遮挡补偿算法, 在一定程度上解决了目标遮挡带来的问题。文献 [6] 提出了基于颜色空间分析的粒子滤波多目标跟踪算法, 并提出了与之适应的遮挡情况处理方法。文献 [27] 通过引入颜色跟踪算法作为补偿, 提出了基于位置跟踪和颜色跟踪的混合跟踪算法。文献 [28] 把颜色特征与 Mean shift 算法相结合, 在遮挡情况下采用 Kalman 滤波进行目标位置预测, 否则采用 Mean shift 算法对目标进行跟踪。文献 [8] 利用 SIFT 特征匹配和单应性变换使跟踪系统达到稳定连续跟踪。文献 [5] 提出的矩阵模型和权重策略有效减轻了跟踪器的漂移问题。文献 [23] 提出了联合 LBP 纹理和色度信息的 Camshift 跟踪算法, 并且提出了基于 Kalman 滤波器和 Blob 匹配法的目标跟踪算法。文献 [29] 提出用多区域采样目标跟踪方法提高目标跟踪的准确度, 并且提出了双环 Mean shift 视频跟踪算法。

比较各个跟踪算法的优缺点, 可以采用颜色特征和位置空间相结合的方法, 无遮挡情况下利用 Mean shift 算法进行位置跟踪, 遮挡情况下利用 Kalman 滤波器完成遮挡补偿, 进行目标位置的预测。

## 2.3 目标特征提取

目标特征有形状特征、颜色特征、纹理特征等。理论上, 特征越多, 特征向量的维数越多, 越有利于目标分类。但是维数增多会给计算带来巨大的负担, 因此选择合适的特征对于描述运动目标非常重要<sup>[6]</sup>。

文献 [12] 对 SIFT 特征、SURF 特征以及 ORB 特征进行了分析与研究, 提出了两种新的 SIFT

特征描述符生成方法, 采用特征点局部匹配算法代替全局匹配算法, 提升了算法的效率。文献 [11] 提出了基于块匹配的运动估计方法, 按照一定的方式将图像划分为互不重叠的小块, 对当前图像块, 在图像一定范围的搜索区域内寻找最佳匹配块, 有效减少了算法计算量。文献 [30] 提出用一种度量运动轨迹相似度的算法提取目标的轨迹数据, 对多条轨迹进行关联处理, 提取完整的运动轨迹, 获得了丰富的时空语义信息。

随着目标特征提取数据维数的增多, 必然会导致数据量大幅增大, 使得特征提取算法的实时性难以保证。在未来星上数据处理的过程中, 实时性是一个重要的技术要求。如何改进算法, 获得实时快速的目标检测算法是未来的一个研究方向。

## 2.4 目标识别分类

机器视觉是利用摄像机和电脑替代人眼对目标进行识别、跟踪和分类, 并进一步做图像处理, 使计算机像人一样观察世界, 建立从图像中获取信息的人工智能系统。随着数据库的进一步发展, 大量的识别算法被提出, 深度学习模型的训练方法逐渐成为研究的热点。

支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 是目前应用较为广泛的分类方法, 将特征向量映射到  $N$  维空间里, 在  $N$  维空间里建立  $N-1$  维超平面, 使得不同类别的数据分别在分割超平面的两边, 实现数据分类。

文献 [31] 自动从未标记数据中挑选样本标记后加入 SVM 训练集, 通过设置阈值保证了所选样本的高分辨性。对于支持向量机不好判定的样本, 采用最近邻方法判断, 能提高分类的准确率。文献 [32] 提出了基于增量学习向量的支持向量机学习方法, 大幅度降低了大容量数据集上支持向量机的学习时间。文献 [32] 提出了基于密度法的模糊支持向量机, 削弱了噪音以及鼓励点对支持向量机分类的影响, 同时提出了一种三次支持向量机函数的拟合方法, 提高了支持向量机函数拟合的外插值能力和在训练样本范围外的函数预测能力。文献 [27] 采用与轮廓有关的特征, 用主成分分析法做降维和特征提取, 获得了描述行为的特征向量, 并通过训练得到了

可以辨识异常行为的 SVM 分类器。文献 [27] 通过建立马尔科夫随机场提出了基于马尔科夫随机场能量的群体异常行为辨识方法。文献 [34] 提出了基于运动轨迹分析判断轨迹异常行为的方法。文献 [35] 提出了一种在多示例学习框架下基于轨迹分段的异常行为检测方法。

基于机器学习算法的目标识别分类算法要求足够多的数据来训练分类器,而在目前天基平台的应用中,如何获得足够多的训练样本数据将成为未来发展的技术难点之一。天基平台自主监视系统中的训练样本集需要实时更新,因此监视系统的自主在轨更新也是未来发展的难点。

### 3 总结

天基动目标自主监视技术作为未来卫星遥感观测发展的趋势,具有广阔的发展前景。卫星遥感数据的智能处理,对解决当前卫星观测中存在的问题有着重要的意义。目前已提出的技术方法种类繁多,虽然在地面监控应用上智能视频监控已经取得长足发展,但完整的天基动目标自主监视系统仍需要深厚的技术功底作为支持。天基平台下的训练样本数据获取、遥感探测数据库实时更新、目标数据自主实时分析等难点需要解决,并需要不断地进行实验验证。国内外众多高校和研究机构都进行了自主视频监控的研究,地面上自主实时监视技术已经有了一些基础。随着卫星遥感观测技术的发展,未来基于机器视觉的天基动目标自主监控技术必定会获得更大的进步与发展。

### 参考文献

- [1] Collins R T, Lipton A J, Fujiyoshi H, et al. Algorithms for Cooperative Multisensor Surveillance[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2001, **89**(10):1456-1477.
- [2] Gao Y, Zhang X L. Zoom Control of Wide Area Tracking System[C]. *DBLP Conference: 5th IEEE International Conference on Intelligent Systems*, 2010:402-407.
- [3] Fayman J A, Sudarsky O, Rivlin E, et al. Zoom Tracking and Its Applications[J]. *Machine Vision and Applications*, 2001, **13**(1):25-37.

- [4] Kalal Z, Matas J, Mikolajczyk K. P-N Learning: Bootstrapping Binary Classifiers by Structural Constraints[C]. *Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE*, 2010:49-56.
- [5] 周维. 视频监控中运动目标发现与跟踪算法研究[D]. 中国科学技术大学, 2012.
- [6] 刘飞裔. 监控视频中运动目标视觉分析[D]. 国防科学技术大学, 2008.
- [7] 沈梨. 复杂视频监控环境下的运动目标检测与跟踪算法研究[D]. 中国科学技术大学, 2015.
- [8] 李志华. 智能视频监控系统目标跟踪与分类算法研究[D]. 浙江大学, 2008.
- [9] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive Background Mixture Models for Real-Time Tracking[C]. *cvpr. IEEE Computer Society*, 1999:2246.
- [10] Elgammal A, Harwood D, Davis L. Non-parametric Model for Background Subtraction[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2000, **1843**:751-767.
- [11] 曹艺华. 面向视频监控的大尺度人群行为分析[D]. 上海交通大学, 2013.
- [12] 冯艳. 动态背景下基于 SIFT 特征匹配的目标检测算法[D]. 西安电子科技大学, 2014.
- [13] 范莹. 视频监控中运动图像检测与识别技术的研究[D]. 大连理工大学, 2003.
- [14] 周许超, 屠大维, 陈勇, 等. 基于相位相关和差分相乘的动态背景下运动目标检测[J]. *仪器仪表学报*, 2010, **31**(5):980-983.
- [15] 李彤. 智能视频监控下的多目标跟踪技术研究[D]. 中国科学技术大学, 2013.
- [16] Giosan I, Nedeveschi S. Superpixel-based Obstacle Segmentation from Dense Stereo Urban Traffic Scenarios Using Intensity, Depth and Optical Flow Information[C]. *IEEE, International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2014:1662-1668.
- [17] 闵琪, 黄影平. 基于立体视觉与光流融合的运动目标检测[J]. *光学技术*, 2016(1):28-33.
- [18] 张明修. 实时的运动目标视觉分析中关键技术研究[D]. 大连理工大学, 2008.
- [19] 张中方. 基于 FPGA 的动态背景下移动目标检测系统研究[D]. 济南大学, 2011.
- [20] 郭明玮. 基于视觉记忆的目标检测算法: 一个特征学习与特征联想的过程[D]. 中国科学技术大学, 2014.
- [21] 李建楠. 动态背景下的目标检测与跟踪系统设计[D]. 南京信息工程大学, 2013.
- [22] 宋先睿. 动态纹理背景下的运动目标检测[D]. 哈尔滨工程大学, 2012.
- [23] 袁国武. 智能视频监控中的运动目标检测和跟踪算法研究[D]. 云南大学, 2012.
- [24] 江志军, 易华蓉. 一种基于图像金字塔光流的特征跟踪方法[J]. *武汉大学学报信息科学版*, 2007, **32**(8):680-683.
- [25] 王亮. 光流技术及其在运动目标检测和跟踪中的应用研究[D]. 国防科学技术大学, 2007.

(下转第 46 页)