

Real Time Vehicle Tracking Algorithm Based on Feature Compression and Kalman Filter Fusion

Bin ZHENG^{1,2}, Zhengbao LEI², Kang XU¹, Chen TANG¹

¹School of Computer and Communication Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, China

²School of Automotive and Mechanical Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, China

Email: Genbay.zheng@163.com, doclei@foxmail.com, astonxk@qq.com, tangchen098@qq.com

Abstract: Moving vehicle real time detection and tracking is one of the most important subjects in road traffic area, the research on detection and tracking based on video sequence has become a focal point. The Compressive Tracking algorithm performs well in terms of accuracy, robustness and speed, but it still has following deficit on application of road vehicle tracking, there were many blind searches in areas where the vehicle is unlikely to arrive, and its sampling area can't be adjusted timely with the change of the target size in picture. This leads to redundant calculation and target losing. In this paper, the Kalman filtering algorithm is used to predict the potential position of the road vehicle first, in order to reduce the search area and improve the real time capability. Then the actual contour of vehicle is extracted from the potential area and the target recognition is carried out finally to improve the system's accuracy. A new real-time moving vehicle tracking method based on feature compression and Kalman filter fusion is proposed at the end. The experimental results show that the method absorbs the advantages of the original compression tracking but has better performance in real time and accuracy.

Keywords: feature compression; Kalman filter; contour extraction; vehicle tracking

基于特征压缩和卡尔曼滤波融合的车辆实时跟踪算法

郑 斌^{1,2}, 雷正保², 徐 康¹, 唐 琛¹

¹长沙理工大学计算机与通信工程学院, 长沙, 中国, 410114

²长沙理工大学汽车与机械工程学院, 长沙, 中国, 410114

Email: Genbay.zheng@163.com, doclei@foxmail.com, astonxk@qq.com, tangchen098@qq.com

摘 要: 运动车辆的实时检测及跟踪是道路交通领域中的一项重要课题, 基于视频图像的车辆检测跟踪已经成为研究的重点和热点。基于特征压缩的目标实时跟踪算法在精度、稳健性和实时性上具备显著的优势, 但是在道路车辆跟踪应用中仍然表现出目标搜索的盲目性、采样区域不能跟随目标的画面尺寸的变化进行实时调整从而导致冗余搜索及目标丢失等不足。本文针对道路车辆运动轨迹特点采用卡尔曼滤波算法预估目标潜在位置以缩小搜索区域提高实时性; 在潜在区域先提取车辆实际轮廓再进行目标识别从而提高准确度; 最后提出一种基于特征压缩与卡尔曼滤波融合的实时运动车辆跟踪新方法, 实验结果表明, 本方法吸收了原压缩跟踪的优点但具有更好的实时性和准确度。

关键词: 特征压缩; 卡尔曼滤波; 轮廓提取; 目标跟踪

1 引言

运动车辆的实时检测及跟踪是智能道路交通系统中的一项重要课题和重要环节, 基于视频图像的车辆检测跟踪是近年来计算机视觉领域备受关注的方向。车辆检测的目的是判断是否有车经过检测区, 并建立一个与之对应的跟踪对象, 并提供车流量等信息。减少车辆检测算法的计算量和提高实时性是车辆检测算法的关键所在。由于姿态、光照、运动形变等因素的存在使得提高目标跟踪的稳定性仍然相当具有挑战性, 常用的车辆检测主要有帧间差分法、背景差分法、高斯模型法等^[1], 有基于轮廓的和基于车辆特征等常用的跟踪算法。张开华等采用基于压缩感知理论的压缩跟踪算法实现了多尺度图像空间的自适应降维^[2], 并有较好的处理速度。但由于交通监控摄像机所处

位置的高度和倾角导致运动车辆在图像画面中会发生较严重的形变，而特征压缩跟踪算法的搜索区域在整个跟踪过程中不会根据车辆目标的实际尺寸进行动态调整，当车辆朝远离摄像头运动时，会引入更多的背景干扰导致跟踪丢失错乱，当车辆靠近摄像头运动时，目标将会变大，目标与背景区分度降低，从而导致算法响应性差。本文提出一种基于压缩感知和卡尔曼滤波融合的车辆跟踪算法，采用卡尔曼滤波算法来预测跟踪目标的轨迹，缩小样本搜索区域，减小数据量，提高实时性。并通过Otsu阈值分割法提取目标轮廓实时更新采样框大小，实现了目标标记框的动态调整，增强响应性。

2 特征压缩跟踪算法及优化

压缩感知理论取决于两个基本准则：稀疏性和有限等距特性^[13,14]。类似于声音、视频等可以压缩的信号都在某个变换域是稀疏的，就可以通过一个观测矩阵将其降维投影，然后通过优化求解从低维空间以高概率重构出原信号^[12]。特征压缩算法采用一个非常稀疏的测量矩阵有效的压缩了从前景对象和背景中提取的特征。跟踪的任务可以被归纳为在压缩域内采用在线更新的二分类问题^[17]，特征压缩跟踪过程如图 1 所示：

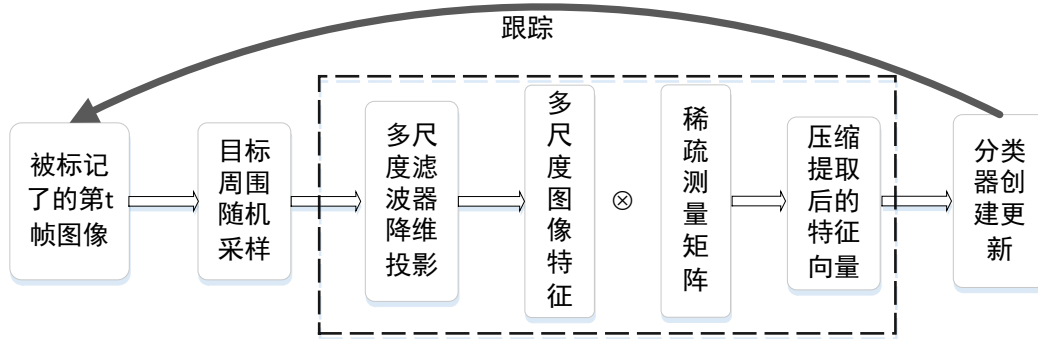


图 1 特征压缩跟踪过程

特征理论主要包括三个部分：

- (1) 信号特征的稀疏表示。对于一个高维图像 $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^m$ 采用一个独立的随机稀疏矩阵 $\mathbf{R} \in \mathbb{R}^{n \times m}$ 将高维特征图像投影到低维空间 $\mathbf{v} \in \mathbb{R}^n$ ，其中 $n \ll m$ ，降低处理复杂度。
- (2) 特征分析，采用非常系数的多尺度矩阵^[5]对大量样本的 Haar-Like 特征^[8,9]进行压缩采样，并且使用 boosting 算法^[10]来缓解大量特征计算带来的计算负载。
- (3) 利用式(1)的朴素贝叶斯分类器分别提取正负样本特征计算概率分布并更新分类器。

$$H(\mathbf{v}) = \log \left(\frac{\prod_{i=1}^n p(v_i | y=1) p(y=1)}{\prod_{i=1}^n p(v_i | y=0) p(y=0)} \right) = \sum_{i=1}^n \log \left(\frac{p(v_i | y=1)}{p(v_i | y=0)} \right) \quad (1)$$

图像特征向量降维如图 2 所示：

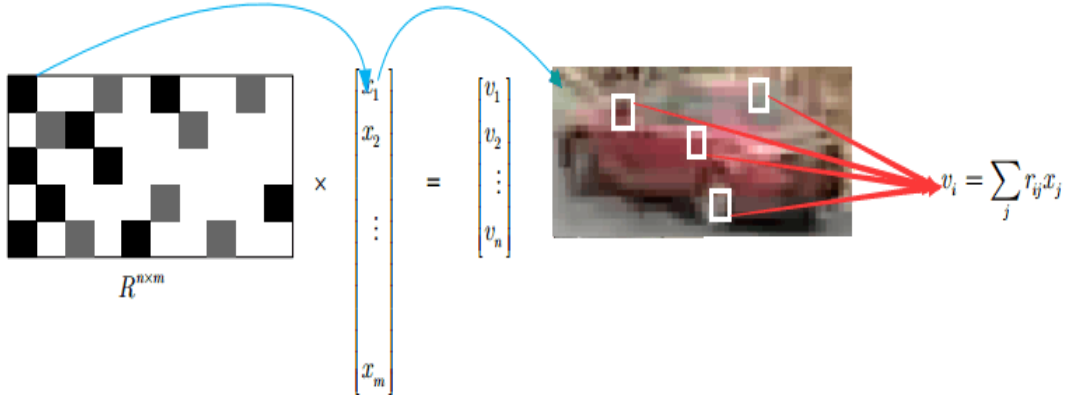


图 2 图像特征向量降维投影

图像特性降维压缩后使用朴素贝叶斯分类器^[11]分别提取正负样本的特征值便可以区分出目标与背景。Diaconis 和 Freedman^[14]指出，高维随机向量的随机投影几乎总是符合高斯分布的。然而特征压缩算法虽然通过非自适应

性特征压缩实现了较好性能的跟踪效果，但其跟踪过程中样本搜索框大小保持不变，当由于运动形变导致目标与背景占比发生很大变化时容易发生目标丢失或误判，使得其无法很好的适应目标形变较大的情况，如图 3、4 所示：



图 3 原压缩跟踪算法第 77 帧跟踪结果



图 4 原压缩跟踪算法第 78 帧目标错乱情形

可以看出原始的压缩跟踪算法在第 77 帧实验序列跟踪窗口没有随车辆目标变小而变小，更多的背景信息被引入参数模型中，使得目标与背景的分度降低，在第 78 帧图像中跟踪目标发生丢失错乱。由此我们采用 Otsu 最佳阈值分割法^[12]进行轮廓提取，通过实时的检测跟踪目标的轮廓来实时的更新采样框大小。

在图像处理实践中，将灰度图转化为二值图^[18]是非常常见的一种预处理手段^[15]，在本研究中，我们引入了 Otsu 算法来自适应进行阈值分割^[13]，在 Otsu 算法中，定义一组内方差：

$$\delta_w^2(t) = \omega_0(t)\delta_0^2(t) + \omega_1(t)\delta_1^2(t) \quad (2)$$

通过选择恰当的阈值 t 可以使得组内方差最小化，由此前景背景将会尽可能的被分开， ω_0 与 ω_1 为一个像素可能为前景或背景的概率， δ 为 ω_0 和 ω_1 的方差。最小化组内方差与最大化组内方差是等价的， μ 为期望，可以推出：

$$\omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0(t)\omega_1(t)[\mu_0(t) - \mu_1(t)]^2 \quad (3)$$

这是 Otsu 算法运行效果图：



图 5 Otsu 算法获取的轮廓图

可以看出，经 Otsu 算法提取轮廓后重建的目标标记框比之前的更加吻合跟踪目标，背景干扰因素也大大减少，实现了跟踪标记框的实时动态调整，提高跟踪精确度。

3 卡尔曼滤波器设计及车辆位置预测

根据车辆运动特点，在经过特征压缩提取图像中的目标被检测到并被标记后，引入卡尔曼滤波预测算法^[16]，建立目标在下一帧中的预测信息，根据预测信息建立起连续图像帧间的目标匹配关系。卡尔曼滤波算法分为两个阶段：预测和测量。预测阶段的标准卡尔曼滤波方程是：

$$X_{t|t-1} = F_t X_{t-1|t-1} + B_t u_t \quad (4)$$

$$P_{t|t-1} = F_t P_{t-1|t-1} F_t^T + Q_t \quad (5)$$

$$F_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, B_t = \begin{bmatrix} \Delta t^2 / 2 \\ \Delta t \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 Q_t 是与噪声控制输入相关的协方差矩阵。 X_t 是根据上一状态推测而来的预估值， F 为状态转移矩阵，它表示我们如何从上一状态来推测当前状态。而 B 则是控制矩阵，它表示控制量 u 如何作用于当前状态。预测总是根据前一个状态来估计当前状态。卡尔曼滤波器预测轨迹后的样本搜索区域如图 6 所示：



图 6 卡尔曼滤波器示意图

箭头所示方向为卡尔曼滤波算法预测的车辆运动方向，引入卡尔曼滤波算法前，原始特征压缩跟踪算法是在目标标记点周围以半径为 R 的圆周内随机采样，搜索样本数量大。引入卡尔曼滤波算法后，根据预估得到的车辆运动方向，样本搜索范围缩减为原来的 $1/3$ 左右，有效减少计算量。

4 特征压缩与卡尔曼滤波融合算法

根据实际交通运行情况，车辆运动的轨迹一般不会发生较大的突变，我们提出通过卡尔曼滤波器来预测车辆目标在下一帧图像中可能运动的方向，建立目标在下一帧中的预测信息，将采样区域由传统算法的 360° 无差别采样改进为预估方向上的扇形区域，由此大大减少了采集的样本数量，后期处理数据量也大大减小，极大程度的提高了运行效率。

通过采用基于非自适应的随机投影技术的外表模型并压缩提取特征，但是传统的压缩采样算法采样框大小一般保持不变，无法很好的适应实际道路视频中车辆目标由于运动导致的较大形变，我们创新性的提出了根据轮廓检测算法检测出目标轮廓来实时的调整采样框大小，使得目标图像相对于整个目标框保持较高的占比，从而极大的减小了误判的可能性。

基于特征压缩与卡尔曼滤波融合的车辆实时跟踪算法：

Step1: 在 $t-1$ 帧标记了的跟踪目标周围 $D^y = \{Z \mid |l(z) - l_{t-1}| < \gamma\}$ ，采用卡尔曼滤波器预估出轨迹位置周围 $1/8$ 圆周角扇形区域采样；

Step2: 使用一个多尺度空间的矩形滤波器对所有特性向量进行滤波, 并以最大的滤波响应系数样本作为 t 帧像中的跟踪目标;

Step3: 采用 Ostu 算法提取目标轮廓, 检测出车辆目标真实轮廓并由此更新下一轮采样框大小;

Step4: 分别在跟踪区域 $D^\alpha = \{Z \mid l(z) - l_{t-1} \leq \alpha\}$ 和 $D^{\beta} = \{Z \mid \zeta \leq l(z) - l_{t-1} \leq \beta\}$ 进行正负样本采样;

Step5: 使用公式(1)分别提取正负样本的特征值并更新分类器, 重复 Step1。

5 实验结果及分析

在同样的计算机运行环境下, 使用同一组图像测试序列, 融合算法运行效果如图 7 所示:



图 7 融合算法第 77 帧跟踪结果

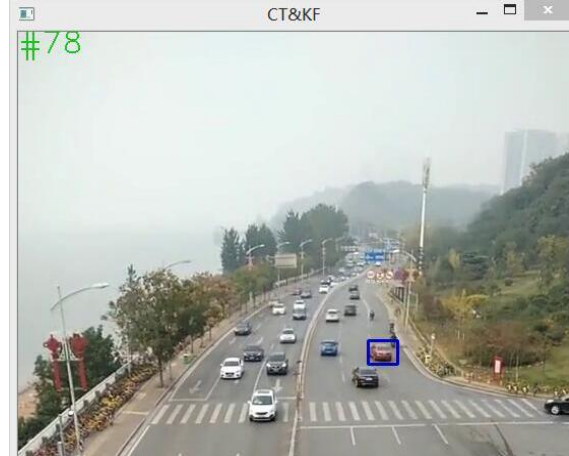


图 8 融合算法第 78 帧跟踪结果

对比原始的特征压缩跟踪算法, 融合算法在第 77 帧到 78 帧间跟踪目标没有丢失, 同时当目标变小时, 融合算法也相应地缩小跟踪窗口以减少背景因素的干扰, 提高了车辆跟踪的稳健性。

表 1. 融合算法与原跟踪算法实验对比

项目	CT&KF	CT
平均搜索区域数量	723	1932
平均每帧处理耗时(s)	0.0156	0.0218
识别准确率	95%	88%

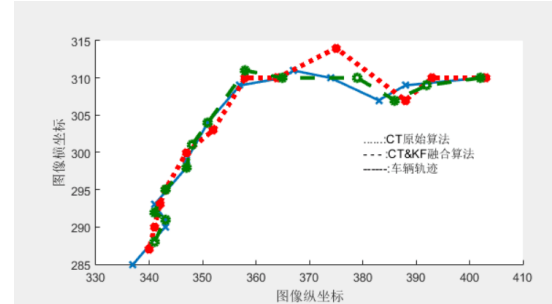


图 9 算法轨迹坐标对比图

6 总结

本文围绕基于视频图像的道路运动车辆识别及跟踪, 针对交通监控应用环境下车辆目标运动图像的具体特点, 在认真分析前人研究成果的基础上进行改进优化提出基于卡尔曼滤波及特征压缩融合的实时跟踪算法, 主要研究成果体现在:

(1) 基于卡尔曼滤波算法针对车辆实时检测及跟踪的适应性设计。考虑到车辆目标在道路上正常运动时一般不会发生运动轨迹突变, 因此首先利用卡尔曼滤波器预测运动车辆的下一时刻的位置及方向, 下一帧图像搜索时只需要在预估位置及行驶方向上进行, 因此大大地缩小了目标搜索区域, 从而减小了数据处理量, 极大的提高了算法处理速度。

(2) 采用轮廓检测算法实时更新目标采样区域提高跟踪准确性, 由于原压缩采样算法在跟踪过程中不能很好地适应监控现场的图像变形及距离拉伸而引起的尺度变化, 因此目标远离时目标尺寸缩小容易引进噪声干扰导致目标混淆及丢失, 或当目标靠近时虽然目标信息增加但却不能充分利用提高识别准确度等。本文在卡尔曼

预测的位置附近进行局部轮廓检测,很容易得到车辆的实际轮廓及尺寸,在此基础上更新特征采集范围可以更精准识别和跟踪目标,从而提高效率并能减小误判。

实验证明,本算法汲取了原特征压缩算法的全部优点,而且相比较而言具有更好的实时性和准确度,可有效应用于实时的道路车辆的车辆监控跟踪。但是,由于时间等因素的制约,本文仅对单一车辆的检测与跟踪进行了研究,尚未对多目标的实时跟踪进行具体试验讨论,极限环境下的算法稳定性也需进一步深入研究。

参考文献 (References)

- [1] 董春利,董育宁.基于视频的车辆检测与跟踪算法综述[J].南京邮电大学学报(自然科学版),2009,29(2):88-94.
- [2] Zhang K, Zhang L, Yang M H. Real-time compressive tracking[C]// European Conference on Computer Vision. Springer-Verlag, 2012:864-877.
- [3] Achlioptas D. Database-friendly random projections: Johnson-Lindenstrauss with binary coins[J]. Journal of computer and System Sciences, 2003, 66(4): 671-687.
- [4] Baraniuk R, Davenport M, DeVore R, et al. A simple proof of the restricted isometry property for random matrices[J]. Constructive Approximation, 2008, 28(3): 253-263.
- [5] Li P, Hastie T J, Church K W. Very sparse random projections[C].Proceedings of the 12th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ACM, 2006: 287-296.
- [6] Li J, Gong W, Li W. Dual-sparsity regularized sparse representation for single image super-resolution[J]. Information Sciences, 2015, 298(C):257-273.
- [7] Candes E, Tao T. Decoding by linear programming. IEEE Transactions on Information Theory, 2005, 59(8):4203-4215.
- [8] 江伟坚,郭躬德,赖智铭.基于新 Haar-like 特征的 Adaboost 人脸检测算法[J].山东大学学报(工学版),2014(2):43-48.
- [9] Lienhart R, Maydt J. An extended set of Haar-like features for rapid object detection[C]// International Conference on Image Processing. 2002. Proceedings. IEEE, 2002:I-900-I-903 vol.1.
- [10] 董乐红,耿国华,高原.Boosting 算法综述[J].计算机应用与软件,2006,23(8):27-29.
- [11] 王国才.朴素贝叶斯分类器的研究与应用[D].重庆交通大学,2010.
- [12] 李梅.基于 Otsu 算法的图像分割研究[D].合肥工业大学,2011.
- [13] 杨胜辉,李太君,肖沙,等.改进的 Otsu 算法及在运动目标检测中的应用研究[J].电视技术,2015,39(24):100-103.
- [14] Diaconis P, Freedman D. On the Consistency of Bayes Estimates[J]. Annals of Statistics, 1986, 14(1):1-26.
- [15] 王强,马利庄.图像二值化时图像特征的保留[J].计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(10):746-750.
- [16] 刘桂辛.改进的自适应卡尔曼滤波算法[J].电子设计工程,2016(2):48-51.
- [17] 王小英,杨岩丽,陈常龙.线性回归模型中响应值的选取对二分类问题的影响[J].Statistics & Applications, 2015, 04(2):47-55.
- [18] 陈思汉,余建波.基于二维局部均值分解的图像多尺度分析处理[J].计算机辅助设计与图形学学报,2015(10):1842-1850.