

文章编号: 1674-8085(2015)05-0060-06

基于改进型 Camshift 和卡尔曼滤波器的 车辆跟踪算法

马平华, *徐晓光, 夏雯娟, 陆 涛

(安徽工程大学, 电气工程学院检测技术与自动化装置重点实验室, 安徽, 芜湖 241000)

摘 要: 针对车辆跟踪过程中跟踪目标丢失或者失败的情况, 提出一种改进型 Camshift(Continuously Adaptive Mean Shift)算法和卡尔曼滤波相结合的跟踪方法。首先, 利用卡尔曼滤波器实现跟踪目标的位置估计, 以克服目标被遮挡造成的跟踪失败的问题, 然后再利用改进型 Camshift 算法依据目标距离搜索中心的位置, 对 H 分量创建的颜色直方图中的每个像素位进行高斯模型核函数的加权处理, 并自适应计算得到最优的搜索窗口, 从而改善了传统 Camshift 不能直接抵制噪声干扰的缺点, 解决了因跟踪目标在同色背景噪声干扰下出现的丢失问题。最后通过仿真实验表明: 改进型 Camshift 算法和卡尔曼滤波的结合有效地提高了车辆跟踪的准确性和连续性。

关键词: 车辆跟踪; Camshift 算法; 卡尔曼滤波; 加权高斯模型核函数

中图分类号: TP391

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2015.05.012

VEHICLE TRACKING SYSTEM BASED ON IMPROVED CAMSHIFT ALGORITHM AND THE KALMAN FILTER

MA Ping-hua, *XU Xiao-guang, XIA Wen-juan, LU Tao

(Anhui Polytechnic University, Detection technology and Automation Key Laboratory of the College of Electrical Engineering, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: In the process of vehicle tracking, a new tracking algorithm that combines the improved Camshift and the Kalman filter has been proposed when tracking target loss or failure. Firstly, the Kalman filter is used to estimate the target position in order to overcome the cover of target. We use an improved Camshift algorithm based on the distance of search center to weight every pixel with Gauss model core function in color histogram created by H component. We also achieve the optimal search window by self-adaptive calculation and improve traditional Camshift shortcoming which is powerless for directly resistance noise under the same color background. Finally, the simulations and experiments show that the method improves the accuracy and continuity of vehicle tracking.

Key words: vehicle tracking; camshift algorithm; kalman filter; weighted Gauss model core function

0 引言

在机器视觉领域, 通过对车辆的视频序列进行

分析, 并预测出目标车辆的大小、位置、速度和运动轨迹^[1], 从而实现有效的目标跟踪, 这已成为视频监控和智能交通系统研究的一个重要课题^[2]。为

收稿日期: 2015-05-07; 修改日期: 2015-07-09

基金项目: 安徽省高校省级自然科学基金项目 (KJ2014A024)

作者简介: 马平华(1987-), 男, 江苏南京人, 硕士生, 主要从事先进传感与检测技术研究(E-mail:bjmph15@qq.com);

*徐晓光(1972-), 男, 安徽明光人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事自动化方向和信息融合研究(E-mail:16089922@qq.com);

夏雯娟(1990-), 女, 江苏泰州人, 硕士生, 主要从事运动控制系统的分析和设计研究(E-mail:1770396516@qq.com);

陆 涛(1991-), 男, 江苏南通人, 硕士生, 主要从事智能信息处理与应用研究(E-mail:1065547303@qq.com).

应对不同的跟踪环境,近年来,人们提出了 Meanshift^[3]的跟踪算法,但因其核函数窗宽固定不变^[4],因此不能准确定位目标,从而导致跟踪失败。为了解决这些问题,Bradski 基于 Meanshift 算法推导了 Camshift 算法^[5],它通过对视频图像中目标的颜色概率分布图的计算,又以颜色直方图为特征,再使用 Meanshift 作为演算法,利用 Meanshift 算法中概率密度梯度爬升的方向来寻找局部最优的搜索窗口,从而实现准确的目标跟踪^[6]。

然而,一些特定情况却会导致 Camshift 算法跟踪失败,例如:跟踪车辆的背景过于复杂,车辆在移动过程中被树木或者其他物体遮挡等等^[7]。卡尔曼滤波器是一种高效率的递归滤波器,可以提供有效的状态估计,可以比较精确地预测目标车辆的移动速度和位置^[8]。

本文通过 Camshift 与卡尔曼滤波的组合算法,使用运动车辆的讯息来提高匹配目标的精度。实验表明,这种组合处理的方法,鲁棒性强且高效地实现了跟踪。

1 Camshift 算法

Camshift 算法^[5]的核心是 Meanshift 算法^[3],它是一种基于密度函数梯度的非参数估计,通过迭代搜索,不断匹配概率密度的最优值,从而实现目标跟踪。Camshift 算法是 Meanshift 算法的扩展,可以实现连续目标的运动跟踪,具有自适应调整窗口大小、位置的能力,抗噪性更强。Camshift 算法是通过颜色特征来实现目标跟踪的,由于 RGB 色域在光照亮度变化时比较敏感,所以 Camshift 算法先将图像从 RGB 色域先转换到 HSV 色域,并使用其中的 H 分量来创建目标的颜色直方图,再得到其反向投影,从而降低光照强度对目标跟踪的影响^[9]。

Camshift 算法的流程如下^[5]:

1) 先将跟踪目标视频的第一帧图像从 RGB 色域转换到 HSV 色域,并提取 H 分量。

2) 根据选定的区域创建 H 分量的颜色直方图,其颜色直方图 q_u 可表示为:

$$q_u = \sum_{i=1}^n \delta[b(x_i) - u], \quad u = 1, \dots, m$$

(1)

其中 δ 为 Kronecker Delta 函数, x_i 为第 i 个像素, $b(x_i)$ 为第 i 个像素的值。

3) 根据颜色直方图 q_u 计算颜色概率分布图 p_u , 即做反向投影。

4) 在所选定的区域内,利用 Meanshift 算法,计算搜索窗口的零阶矩 M_{00} :

$$M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y) \quad (2)$$

计算 x 和 y 的一阶矩 M_{10} , M_{01} :

$$M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x, y), \quad M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x, y) \quad (3)$$

计算搜索窗口的质心 (x_c, y_c) :

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \quad y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (4)$$

更新搜索窗口的大小:

$$s = 2 \sqrt{\frac{M_{00}}{256}} \quad (5)$$

根据公式(2)~(5)计算出搜索窗口的质心。

5) 重复上述的 2)~4) 步骤,直至收敛为止(即质心位置的偏差值小于阈值范围)。

6) 自适应调整搜索窗口。

7) 识别新的搜索窗口,并继续进行下一帧的计算。

2 Camshift 算法的改进

在现实场景中,由于受到外部环境的噪声影响,前人已经提出过在 Camshift 算法中引入加权直方图的方法,是在 H(色调)分量和 S(饱和度)分量的基础上,分别选取不同的系数,或者单独在 H 分量的基础上进行核函数的简单加权,而本文是通过引入一个高斯模型函数,根据 H 分量创建的颜色直方图中的每个像素位的可信度不同而进行不同处理,一般而言,距离目标区域中心越远的像素位可信度越低,该像素位受同色背影影响的可能性也越大,这就是普通 Camshift 算法不能够直接抑制噪声干扰,造成跟踪目标失败的直接原因。所以,

本文充分运用位置讯息,利用高斯模型函数对跟踪目标进行轮廓化处理,给予目标邻近中心范围的选取区域更加清晰,有别于最优阈值的处理方法,使越靠近中心的权重值越大,反之,权重值越小。

根据式(1),在其基础上引入加高斯函数,则加权颜色直方图可表示为:

$$q_u = \sum_{i=1}^n w_i \delta[b(x_i) - u], \quad u = 1, \dots, m \quad (6)$$

其中 w_i 为加权核函数,本文采用的核函数为单位高斯核函数,满足如下条件:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (7)$$

同时,为了提高选取的准确性,需要对 w_i 高斯模型进行实时更新:

$$w_{i,t} = (1 - \alpha)w_{i,t-1} + \alpha \quad (8)$$

其中, $w_{i,t}$ 为当前时刻的加权函数, $w_{i,t-1}$ 为前一时刻的加权函数, α 为更新系数,可取 $1/T$, T 为采样周期。

当 x_i 像素位的像素值 $b(x_i)$ 与选取区域高斯函数的均值不匹配时,即 $|b(x_i) - \mu_i| < 2.5\sigma_i$ 时(其中 μ_i 为 w_i 的均值, σ_i^2 为 w_i 的协方差),就用公式(8)对区域内高斯模型权重小的那些模型进行更新,用新的高斯模型进行替代,从而对区域的轮廓选取更加容易。

下面给出采用 Meanshift 算法、传统 Camshift 算法和引入高斯模型核函数的改进型 Camshift 算法分别对同一视频跟踪的精度误差图:

由图 1 可以看出,Meanshift 算法误差最大,这是因为它没有采用 H 通道分量建立颜色直方图,对光线颜色等比较敏感,核函数的窗宽又固定不变,而传统的 Camshift 算法相对于 Meanshift 算法而言,窗宽可以自适应调节,跟踪精度有所提升,但对比引入高斯模型核函数的改进型 Camshift 算法,它又缺少加权高斯核函数,无法抵制无关噪声的干扰,因此跟踪精度还是相对较低。

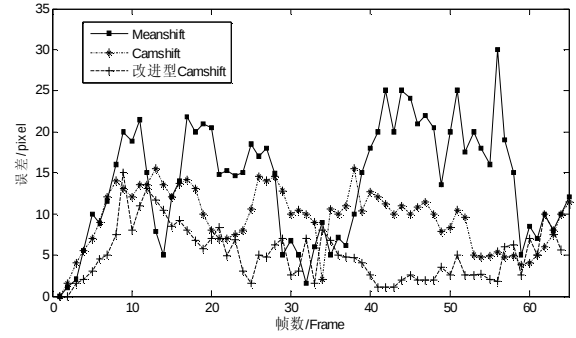


图 1 不同跟踪算法的精度误差图

Fig. 1 Accuracy error chart of different tracking algorithm

3 改进型 Camshift 与卡尔曼滤波相结合的车辆跟踪算法

在一般环境下,改进型 Camshift 算法即能够实现很好的目标跟踪结果,但由于它不会对任何运动对象做出相应的预测,在复杂条件下不能解决跟踪目标被遮挡或目标移动太快导致跟踪失败等问题。因此,本文选用卡尔曼滤波器来估计目标位置,提升跟踪精度。卡尔曼滤波^[10]又称最小方差线性递推滤波,可在及时测量的讯息中去除随机噪声和无用信息,利用目标的动态特征,得到目标位置的最优估计。

定义系统的状态向量 $X_k = [x, y, v_x, v_y]^T$, 观测向量 $Z_k = [x, y]^T$, x 和 v_x 表示目标在水平方向的位置和速度, y 和 v_y 表示目标在垂直方向的位置和速度, $\hat{X}_k = [\hat{x}, \hat{y}, \hat{v}_x, \hat{v}_y]^T$ 为卡尔曼滤波预测的状态向量。再定义系统的状态转移阵:

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

上式中 T 为采样时间间隔,即相邻帧数差,故 T 取 1。

由定义得到观测矩阵 H_k , 另取动态噪声和检测噪声的相关协方差矩阵 Q_k 和 R_k 分别为:

$$H_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad Q_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(10)

先从卡尔曼滤波预测的状态向量 $\hat{X}_k$ 中取 $[x, y]$ （即水平和垂直方向的位置）通过改进型 Camshift 算法来计算搜索窗的中心位置，然后将此中心位置作为观测向量 Z_k 来修正系统的状态向量 $\hat{X}_k$ 。最后，根据卡尔曼滤波原理，就可以得到下一时刻的系统状态向量 X_{k+1} 。

如图 2 所示，改进型 Camshift 与卡尔曼滤波组合跟踪算法实现步骤如下：

- 1) 输入视频，初始化搜索窗口；

2) 通过卡尔曼滤波器估计下一时刻目标可能出现的位置；

3) 利用改进型 Camshift 算法在预测的范围内确定最终的目标位置。如果这次搜索是成功的，则跟踪的结果将被视为卡尔曼滤波的观测值来估计下一时刻的目标。若未成功，则把预测值直接用于估计下一时刻的位置。
- 这样，就可以利用匹配目标的位置作为卡尔曼滤波的观测值，不断更新状态值，提高目标跟踪精度。

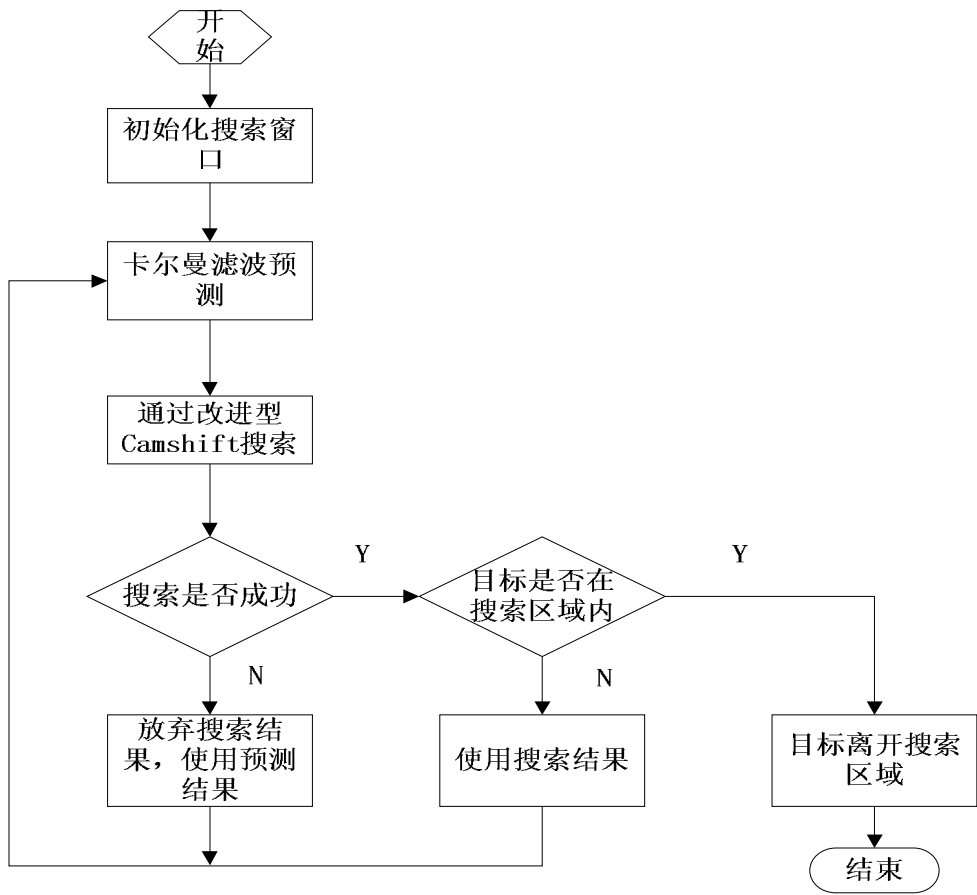


图 2 改进型 Camshift 与卡尔曼滤波组合跟踪算法方框图
Fig. 2 Block diagram of improved Camshift and Kalman filter tracking algorithm

4 实验和结果分析

4.1 高斯模型核函数加权颜色直方图

通过改进型 Camshift 算法，增加了高斯模型的核函数，进行了加权处理，使得背景颜色的干扰权

重变弱，如图 3 所示为原始图像，图 4 为传统 Camshift 算法的颜色概率分布图（即作反投影），图 5 为改进型 Camshift 算法的颜色概率分布图（即引入高斯模型核函数的反投影）。

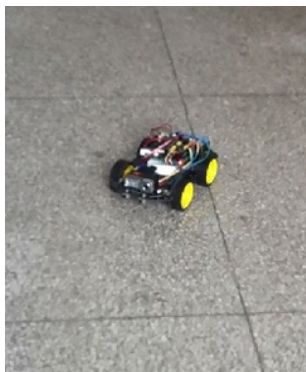


图3 原始图像
Fig. 3 Original image

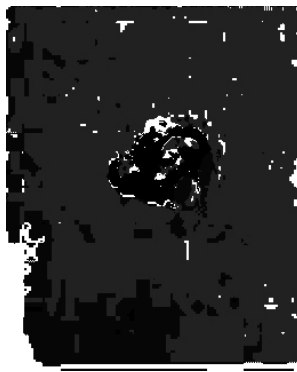


图4 传统算法的反投影
Fig. 4 Back projection of traditional algorithm

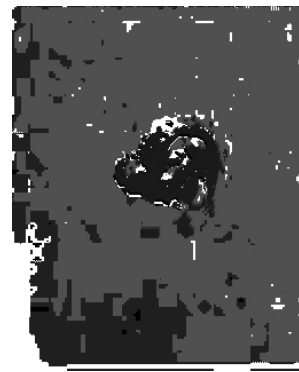


图5 改进型算法的反投影
Fig. 5 Back projection of improved algorithm

4.2 改进型 Camshift 与卡尔曼滤波器的组合算法

根据本文提出的组合算法, 为验证其有效性, 采用二组车辆高速公路上实际行驶的视频序列, 再

利用 OpenCV 配合 Visual Studio 2010 在 Win7 平台 (CPU: Intel G2030 3.0GHz 内存: 2GB) 上进行实验。



图6 车辆变道组图
Fig.6 Vehicle lanes changing images



图7 黑色车辆经过高架桥底部
Fig. 7 Images of black vehicles passing through the viaduct

如图6所示, 这四张组实验图是车辆在变道时, 车辆因为视角晃动, 可能被前后车辆所遮挡; 如图7所示, 黑色车辆经过高架桥底部时, 因为暂时光

线被遮挡, 而造成同色背景干扰。综上所述, 由于采用了改进型 Camshift 和卡尔曼滤波器相结合的算法, 很好的克服了噪声干扰。

5 结论

本文利用一种改进的 Camshift 与卡尔曼滤波器相结合的算法实现了对运动车辆的检测与跟踪。首先讨论了传统 Camshift 的原理, 然后在其基础上引入了高斯模型核函数从而改进了 Camshift 算法, 再利用嵌入卡尔曼滤波器, 通过预测搜索窗口来寻找目标的中心位置。最后使用组合算法, 通过实验得知, 该算法跟踪目标, 具有很高的鲁棒性和可行性。

参考文献:

- [1] Li Y C, Sun P. The Design of Embedded Video-Based Vehicle Tracking System[C]. Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), 2013 Fourth International Conference on. IEEE, 2013: 1437-1440.
- [2] Abrougui K, Boukerche A. Efficient group-based authentication protocol for location-based service discovery in intelligent transportation systems[J]. Security and Communication Networks, 2013, 6 (4) : 473-484.
- [3] Cheng Y. Mean shift, mode seeking, and clustering[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1995, 17(8): 790-799.
- [4] 孙凯, 刘士荣. 多目标跟踪的改进 Camshift/卡尔曼滤波组合算法[J]. 信息与控制, 2009, 38(1): 9-14.
- [5] Bradski G R. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface[J]. Intel Technology Journal, 1998, 2(2): 1~15.
- [6] 李明锁, 井亮, 邹杰, 等. 结合扩展卡尔曼滤波的 CamShift 移动目标跟踪算法[J]. 电光与控制, 2011, 18(4): 1-5.
- [7] Wu H H, Zheng X S. Improved and efficient object tracking algorithm based on Camshift[J]. Comput Eng Appl, 2009, 45(27): 178-180.
- [8] Huang S, Hong J. Moving object tracking system based on camshift and Kalman filter[C]. Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2011 International Conference on. IEEE, 2011: 1423-1426.
- [9] Allen J G, Xu R Y D, Jin J S. Object tracking using camshift algorithm and multiple quantized feature spaces [D]. Sydney: University of Sydney, 2006.
- [10] Jang D S, Kim G Y, Choi H I. Kalman filter incorporated model updating for real-time tracking[C]. TENCON'96. Proceedings., 1996 IEEE TENCON. Digital Signal Processing Applications. IEEE, 1996, 2: 878-882.
- [5] Chen W T. Synthesis and structure of a cadmium 4,4'-bipyridine compound[J]. 井冈山大学学报: 自然科学版, 2014, 35(5): 38-41.
- [6] Chen W T, Yi X G, WEN J. Synthesis, crystal structure and property of $(\text{CdCl}_3)_n \cdot n\text{H}_2\text{O}$ with a one-dimensional infinite chain-like structure[J]. Asian Journal of Chemistry, 2014, 26(4): 1253-1254.
- [7] 闫炜, 张爱梅, 梅艳丽, 等. 水溶性 CdTe 量子点的合成及其用于荧光猝灭法测定肌红蛋白[J]. 分析试验室, 2008, 27(12): 28-28.
- [8] 杜晶, 付云芝, 李津如. 反胶束体系制备高度单分散小粒径量子点的研究进展[J]. 化工文摘, 2009, 3: 59-61.
- [9] 张皓, 陆广纪, 秀磊, 等. 反应型表面活性剂包覆 CdTe 纳米晶[J]. 高等化学学报, 2003, 24(1): 178-180.
- [10] 邓大伟, 王珊珊, 于俊生. 高荧光的水溶性 CdTe 量子点的合成及其生长规律研究[J]. 鲁东大学学报: 自然科学版, 2011, 27(1): 47-48.
- [11] 林谦, 苏英, 陈秀宇. 氨系水相优化合成 CdTe 量子点的研究[J]. 宁德师范学院学报: 自然科学版, 2012, 24(4): 337-341.
- [12] 张毅. 水溶性量子点碲化镉测定同型半胱氨酸的研究[J]. 分析测试学报, 2008, 27(8): 844-847.
- [13] Yu W W, Qu L, Guo W, et al. Experimental determination of the extinction coefficient of CdTe, CdSe, and CdS nanocrystals[J]. Chemistry of Materials, 2003, 15(14): 2854-2860.
- [14] GB/T 24370-2009. 碲化镉量子点纳米晶体表征紫外-可见分光光度法[S].
- [15] 杜保安, 郭红, 高露, 等. 在水相中优化合成 CdTe 半导体量子点[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2011, 31(2): 177-180.
- [16] 曲正, 张福辰, 王岩. 水热法合成水溶性 CdTe 量子点及其光谱表征[J]. 辽东学院学报: 自然科学版, 2006, 14(4): 48-51.
- [17] 郑晋生, 吴小丽, 吴川六, 等. 紫外-可见吸收光谱研究 CdS 量子点生长动力学[J]. 分析化学, 2009, 37(10): 127-127.
- [18] 张昭, 彭少方, 刘栋昌. 无机精细化工工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 169-172.

(上接第 42 页)