

文章编号: 1005-0523(2010)04-0039-05

利用自适应组合模型实现车辆跟踪

曲巨宝

(武夷学院 数学与计算机系, 福建 武夷山 354300)

摘要:针对视频序列图像目标车辆跟踪中经常因场景光照变化、目标旋转、遮挡等因素导致丢失问题,提出了基于颜色自适应的改进 CamShift 算法;通过建立凸函数组合模型,利用多目标规划最优求解算法获取自适应颜色识别最佳组合,提高了算法抗干扰能力;利用目标倾角预测识别目标发生形变和旋转,构造多变量状态信息预测目标发生遮挡和瞬间消失,并通过 IIR 滤波器快速预测目标在下一时刻的运动方式。实验表明,本算法跟踪精度高,鲁棒性强。

关键词: Camshift; 多模式; 自适应; 跟踪; 倾角

中图分类号: TP393

文献标识码: A

运动车辆跟踪一直是道路交通管理和肇事逃逸追踪关注的焦点。利用城市道路监控摄像机,如何准确而有效地定位视频序列中待跟踪车辆目标的位置,一直是计算机图像处理、视觉计算领域中的一个热门课题。其中车牌自动识别也是智能交通系统一个重要的部分^[1],但其前提是要对视频图像进行提取后获得车牌信息。绝大多数应用场合中要求目标跟踪算法对遮挡、光线变化以及目标缩放、旋转具有鲁棒性,且跟踪算法耗时少,实时性高。目前,常用的 MeanShift 算法、CamShift 算法和粒子滤波被广泛应用于目标跟踪领域中。MeanShift 以其无需参数、快速模式匹配的特性而受到广泛关注。但该算法无法更新跟踪窗核宽,当目标发生明显的尺寸变化时,容易造成目标的丢失^[2]。粒子滤波是通过随机样本的状态和权值来计算后验概率分布,是一种简单、有效的由非高斯、非线性的观测数据计算后验概率的方法。但是计算量较大,尤其是随着状态空间的维数的增加计算量增加更快^[3]。CamShift 算法通过 H 分量方向投影图中目标区的一阶矩计算获得目标尺度和跟踪窗,依靠连续迭代计算,获取目标形心位置^[4]。该算法可以对人脸等具有特定颜色的目标进行跟踪,但在复杂背景中、运动目标色彩丰富或者当目标与背景颜色接近时,跟踪结果往往难以令人满意。为此,本文在深入研究了 CamShift 算法之后,提出了基于自适应颜色识别、倾角旋转、信息识别的改进 CamShift 算法,以应用于复杂场景情况下车辆目标的精确跟踪。

1 CamShift 算法

CamShift 算法是一个基于随机颜色概率模型的跟踪算法,它通过聚类的方式搜寻运动目标,而与跟踪对象的具体模型无关,利用区域内的颜色信息实现快速可变核窗宽跟踪。它由反向投影、MeanShift 算法和 CamShift 跟踪三个主要部分构成^[5-6]。

1.1 反向投影图

RGB 颜色空间对光照亮度变化比较敏感,为了减少该变化对跟踪效果的影响, CamShift 算法将图像从 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间。HSV 空间是一种符合主观感觉的色彩模型,由色调(Hue)、饱和度(Saturation)、亮度(Value)三个分量组成,它们相互独立,能够提高算法的稳定性。CamShift 算法选择 HSV 颜色空间 H 分量建立目标色彩概率直方图,得到反向投影图。设 $\{x_i\}_{i=1, \dots, n}$ 为目标图像的像素坐标,目标直方图表示为:

$q_u = \sum_{i=1}^n \delta [c(x_i) - u]$, $u = 1, 2, \dots, n$ 。将原始图像的像素用直方图中相应像素的统

收稿日期: 2010-04-13

基金项目: 福建省教育厅科技项目(JA09240);武夷学院智能计算网格科研团队项目(2009)

作者简介: 曲巨宝(1963-),男,副教授,研究方向为计算机视觉、图形图像和人工智能。

计量所代替,然后将得到的结果重新量化,就得到颜色概率分布图。

1.2 CamShift 算法

CamShift 算法是在颜色概率分布图中执行 MeanShift 算法,MeanShift 算法根据反向投影和初始搜索窗口位置,利用迭代方法寻求质心,当搜索窗口中心的移动小于某个给定值或者函数已经达到最大迭代次数时,认为收敛条件满足,停止迭代。设 $I(x, y)$ 是反向投影图中 (x, y) 处的像素值, x 和 y 的变化范围为搜索窗的范围。

CamShift 算法流程如下:

- (1) 在颜色概率分布图中选取大小为 S 的搜索窗;
- (2) 计算阶距 $M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y)$, $M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x, y)$, $M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x, y)$;
- (3) 计算搜索窗口质心 $(x_c, y_c) = \left(\frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right)$;
- (4) 更新搜索窗宽度 $s = 2 \sqrt{M_{00}/256}$, 长度 $1.2s$;
- (5) 如 $|x_0 - x_c| < \epsilon$ 并且 $|y_0 - y_c| < \epsilon$ 或者迭代次数大于某个阈值时,执行(7);
- (6) 令 $x_0 = x_c, y_0 = y_c$, 执行(2);
- (7) 输出跟踪窗口中心 (x_c, y_c) , 读入下一帧, 重新执行(1), 直到本序列图像跟踪结束。

2 改进 CamShift 算法

2.1 存在的问题

由于 CamShift 算法使用单一的 HSV 颜色模型,很难适应物体大范围运动或场景背景变化和大幅度光照变化^[4];其以 HSV 模型中 H 分量作为目标建模特征,当 S 或者 V 值较小或者较大时势必降低灰色、黑色等色调模糊的目标模型与背景模型的可分度,导致跟踪失败^[7-8];其次是当目标发生倾斜、角度变化时无法正确识别目标,当目标被遮挡、瞬间消失等情况发生时都无法正确跟踪。如图 1 的 a 列所示。在 a1 和 a2 两图中目标能被 CamShift 算法准确跟踪,在 a3 和 a4 两图中天空突然变晴朗,亮度增大,可以看到此时的跟踪已经发生偏离。

2.2 自适应颜色组合识别

为使 CamShift 算法同样适用于 HSV 模型中的 S 和 V 分量,设基于 HSV 颜色空间的三个 H, S, V 颜色分布直方图目标模型分别为 q_1, q_2, q_3 , 令三维直方图为 $Q = [q_i]_{i=1,2,3}$, 为在不同场景下使用不同模型以获得最优匹配效果,令向量 $X = [x_1, x_2, x_3]^T$ 为组合系数且满足: $\sum_{i=1}^3 x_i = 1, x_i \geq 0, i = 1, 2, 3$ 。于是得到一个凸组合模型:

$$q_x = \sum_{i=1}^3 x_i q_i = QX \quad (1)$$

为了确定最优组合系数 x_i , 使得组合模型和目标模式有较高的相似,且与背景模式有较大的差异性,对目标区域及目标周围背景区域的颜色分布进行概率统计,分别用 p_a, p_b 表示,它们与凸组合模

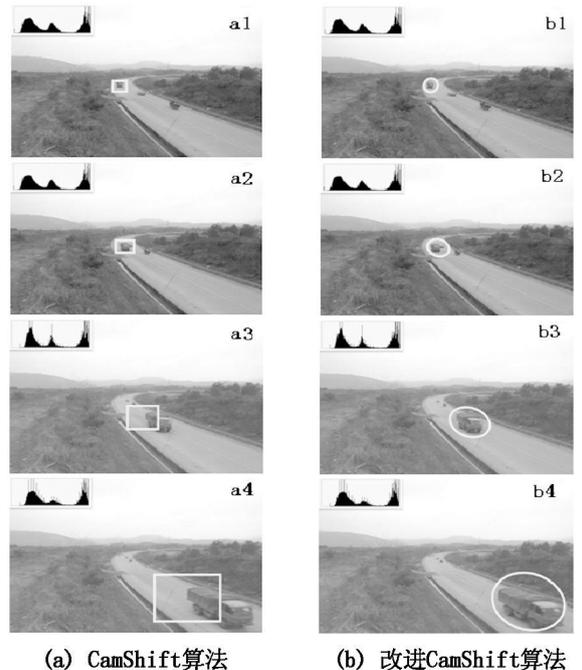


图 1 两种算法实验结果比较

型 q_x 间的欧氏距离平方表示为

$$d_a^2 = || q_x - p_a ||^2, d_b^2 = || q_x - p_b ||^2 \tag{2}$$

最优目标模型应使 d_a^2 尽量小,同时使 d_b^2 尽量大。这是一个典型的多目标规划(LVP)问题,用线性加权法将其转化为单目标规划问题,令 β_1, β_2 为选定的权系数,其值表示两个目标函数的信任程度,并满足 $\beta_1 \geq 0, \beta_2 \geq 0, \beta_1 + \beta_2 = 1$,于是得到目标函数

$$d^2 = \beta_1 d_a^2 - \beta_2 d_b^2 \tag{3}$$

将式(1)(2)代入(3),则得

$$d^2(\mathbf{X}) = (\beta_1 p_a^T p_a - \beta_2 p_b^T p_b) + (\beta_1 - \beta_2) Q^T \mathbf{X}^T Q \mathbf{X} - 2(\beta_1 p_a - \beta_2 p_b)^T Q \mathbf{X} \tag{4}$$

模型选择问题就转化为求 $x_i^* \in \mathbf{X}$,使 $d^2(\mathbf{X})$ 最小: $x_i^* = \arg \min_{x_i \in \mathbf{X}} d^2(\mathbf{X})$ 。利用多目标规划求解法获得

对应的最优系数 $\mathbf{X} = [x_1^*, x_2^*, x_3^*]^T$,具体求解过程描述如下:

- (1) 根据目标和背景区域构造线性多目标规划(LVP)问题相应的子问题 $\{s_j\}_{j=1,2,3}$ 。
- (2) 利用单纯形方法分别求解子问题 $\{s_j\}_{j=1,2,3}$,若子问题无可行解,则(LVP)无解,算法终止。
- (3) 若 $x^{i*} = x^{j*} (\forall i, j \in \{1, 2, 3\})$,则 LVP 具有绝对最优解,输出 x^* 与 $f(x^*)$ 的值,算法终止。
- (4) 根据凸组合 q_x 得弱有效解子集 Ω ,确定组合系数: $\beta^i = (\beta_1, \beta_2, \beta_3)^T, i = 1, 2, 3$ 。
- (5) 由 $\beta^i (i = 1, 2, \dots, q)$ 得 3 个 $\{x^i\}_{i=1,2,3}$,若 $x^i \in \partial \Omega_{i=1,2,3}$,则 x^i 为弱有效解;否则舍去 x^i ,重新选取 β^i ,直到 $x^i \in \partial \Omega$ 为止。记得到的弱有效解为 x^1, x^2, x^3 构成集合 \mathbf{X} 。
- (6) 对集合 \mathbf{X} 进行加权优序,计算 x^* 与 $f(x^*)$ 的值。
- (7) 若 $|x^{i*} - x^{j*}| > \epsilon$ (差分阈值) 则重新构造一个有限集 Q ,转(4)继续计算,直到满足为止,输出最优解 $\mathbf{X} = [x_1^*, x_2^*, x_3^*]^T$ 。

2.3 车辆倾角识别

当车辆在运动中与摄像机间的视角发生变化时,其目标图像内的像素组成就发生了变化,仅靠一阶 CamShift 是无法正确识别目标的,为此进一步利用二阶矩阵求取车辆目标倾角和搜索窗^[9]构造目标二阶矩分别为

$$M_{20} = \sum_x \sum_y x^2 I(x, y), M_{02} = \sum_x \sum_y y^2 I(x, y), M_{11} = \sum_x \sum_y xy I(x, y) \tag{5}$$

令: $a = M_{20}/M_{00} - x_c^2, b = 2(M_{11}/M_{00} - x_c y_c), c = M_{02}/M_{00} - y_c^2$ 。得到在下一幅图中搜索窗口的长度(l)、宽度(w)和长轴倾角 θ 分别为

$$l = \sqrt{\frac{(a+c) + \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}}, w = \sqrt{\frac{(a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}}, \theta = \frac{1}{2} \arctan \left[\frac{b}{a-c} \right] \tag{6}$$

2.4 车辆状态信息识别

为能更好地预测车辆目标在下一时刻可能出现的位置和运动特性,为运动目标建立状态信息模型和加速度位移方程^[10]:

$$Z_n = (p_k, \hat{p}_k, \Delta p_k, v_k, \hat{v}_k, \Delta v_k, a_k, \hat{a}_k, \Delta a_k)_{k=1, \dots, n}$$

$$\hat{p}_{k+1} = p_k + v_k \Delta t + a_k \Delta t^2 / 2, \Delta p_{k+1} = \Delta p_k + \Delta v_k \Delta t + \Delta a_k \Delta t^2 / 2 \tag{7}$$

式中: p_k 是车辆目标的质心(x_c, y_c)位置; \hat{p}_{k+1} 是质心在下一帧中的预测位置; Δp_{k+1} 是预测目标可能存在的区域; $v_k = (p_k - p_{k-1}) / \Delta t; a_k = (v_k - v_{k-1}) / \Delta t$ 是目标质心的速度与加速度; Δt 为两帧时间间隔。由 \hat{p}_{k+1} 和 Δp_{k+1} 可求得目标匹配搜索的范围 $\hat{p}_{k+1} \pm \Delta p_{k+1}$ 。

为了确保状态识别能准确地描述运动车辆的当前运动方式,提高跟踪效率,需要将新得到的测量值进行修正,采用改进的 IIR 滤波器进行快速计算:

$$\hat{v}_{k+1} = \alpha v_{k+1} + (1-\alpha) \hat{v}_k, \Delta v_{k+1} = \alpha |v_{k+1} - \hat{v}_{k+1}| + (1-\alpha) \Delta v_k$$

$$\hat{a}_{k+1} = \beta a_{k+1} + (1-\beta) \hat{a}_k, \Delta a_{k+1} = \beta |a_{k+1} - \hat{a}_{k+1}| + (1-\beta) \Delta a_k \tag{8}$$

其中： α, β 是一个介于 $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ 的常数。

3 算法实现与效果分析

利用 VC6.0 及 MATLAB7.0 为平台, 在 P4 3.0GHz 512M 的机器上开发了本算法的实验系统, 对各种场景下的车辆视频序列进行连续跟踪实验。在实验中, 首先利用自适应 HSV 颜色组合模型对场景中 H, S, V 三分量进行凸组合建模, 通过多目标规划法求取最优组合系数, 实现自适应 CamShift 跟踪识别; 为确保当车辆发生旋转、倾斜时也能够正确识别, 采用二阶矩进行倾角预测; 通过构造车辆状态信息方程, 预测车辆在下一时刻可能出现的位置和运动特性, 避免因车辆遮挡、瞬间消失、重现时给跟踪系统带来的扰动, 同时对系统跟踪效率也有很大提高。其算法实现流程如图 2 所示。

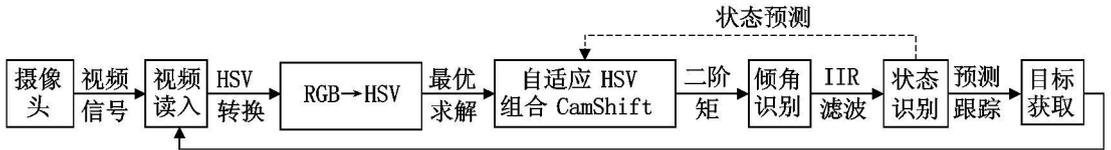


图 2 自适应组合 CamShift 算法流程图

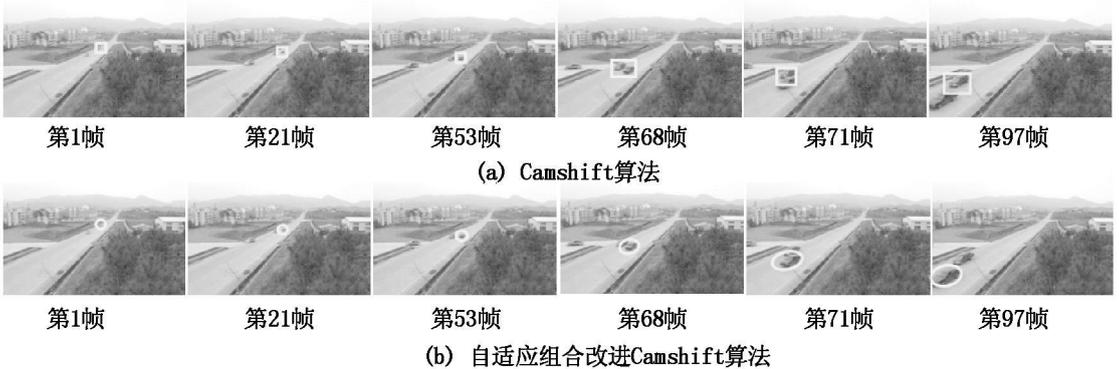


图 3 深颜色车辆超车时两种算法跟踪结果比较

为验证本算法的有效性, 对道路上的实际车辆视频进行了大量的跟踪测试实验。图 1 是使用本算法前后的实验结果比对。其中 a 列图像是利用传统 CamShift 算法进行目标跟踪的结果, b 列是本文算法。尽管在 b3 和 b4 两图中目标快速地移向摄像机, 且天空光照增强, 本文算法依然可以很好地跟踪到目标, 而传统的 CamShift 算法已经丢失了目标。图 3 是一辆深色轿车超车过程视频跟踪过程。从第 1 帧标定了该车辆到第 53 帧, 传统 CamShift 算法(图 a)都能很好地跟踪到目标, 但当进入到第 68 帧超车后, 由于 H 分量的作用, 使得搜索窗将两部色度相近的车都框入跟踪区, 到第 97 帧时已经完全失去了目标车辆;

图 b 是利用本文算法进行的跟踪。在第 68 帧时由于运用了车辆状态信息识别算法, 对车辆质心、加速度等信息做了很好的预测, 因此保证了跟踪质量和效率。图 4 是两种算法在跟踪时的车辆质心状态仿真图, 在第 420 帧至 620 帧时亮度增大, 传统 CamShift 算法明显偏离目标, 而本算法却没有受到干扰, 能够正常跟踪。

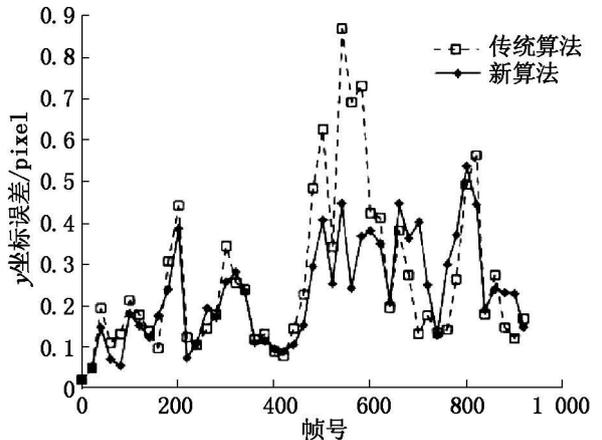


图 4 车辆质心跟踪仿真图

4 结论

针对 CamShift 算法只适于跟踪 H 分量等特定颜色目标的不足,本文采用 HSV 空间的 H, S, V 三个分量建立目标的三维直方图,并利用凸函数和多目标规划最优求解法获得自适应颜色识别最佳组合算法,提高了算法适应场景变化的能力。进一步提高车辆目标跟踪过程的识别率,建立了多变量状态模型和旋转的跟踪和预测,提高了目标跟踪的准确性和鲁棒性。经大量的现场实验表明,本文算法跟踪效果好,识别率高,实时性强,易于工程实现,有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 石晓瑛,许智榜.车牌自动识别系统设计与实现[J].华东交通大学学报,2009,26(3):48-51.
- [2] CRISAN D, DOUCET A. A survey of convergence results on particle filtering methods for practitioners[J]. IEEE Trans Speech and Audio Proc. 2002, 10(3):173-185.
- [3] 李静,陈兆乾.基于颜色的粒子滤波非刚性目标实时跟踪算法[J].郑州大学学报:理学版,2006,38(4):60-63.
- [4] JINMAN K, COHEN I, MEDIONI G. Continuous Tracking within and across Camera Streams[C]//2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2003:267-272.
- [5] BOYLE M. The Effects of Capture Conditions on the CAMSHIFT Face Tracker[R]. Alberta, Canada: Department of Computer Science, University of Calgary, 2001:45-47.
- [6] NOUAR OULD-DRIS, ALI GANOUN, RAPHAEL CANALS. Improved Object Tracking with CamShift Algorithm[C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Procession, 2006:165-167.
- [7] NUMMIARO K, KOLLER-MEIER E, VAN GOOL L. An adaptive color-based particle filter[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21(1):99-110.
- [8] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel based object tracking[J]. IEEE Trans Pattern Analysis Machine Intelligence, 2003, 25(5):564-575.
- [9] ALLEN J G. Object tracking using CamShift algorithm and multiple quantized feature space[C]// Proceedings of 2003 Pan-Sydney Area Workshop on Visual Information Processing. Darlinghurst, Australia: Australian Computer Society, 2004:3-7.
- [10] COMANICIU D, RAMESH V, Meer P. Kernel-based object tracking[J]. PAMI, 2003, 5:564-577.

Vehicle Tracking Implemented by Auto-adaptive Combination Model

Qu Jubao

(School of Mathematics and Computer, Wuyi University, Wuyishan 354300, China)

Abstract: Aiming at problems caused by illumination changing of the scene, goal revoking and masking during the video sequence image target tracking, the paper proposes the improved color auto-adaptive CamShift algorithm. Through establishing the convex function combination model, the multi-objective programming optimal algorithm is used to gain the auto-adaptive color and to recognize the best combination. The anti-jamming ability of the algorithm is improved. The target dip is used to forecast the target's deformation and revolving. The multivariable status messages are constructed to forecast the masking and instantaneous vanishing of the goal. IIR filter is employed to forecast quickly mode of motion of goal in next moment. The massive experiments indicate that this algorithm has a high tracking accuracy and strong robust.

Key words: Camshift; multi-pattern; auto-adaptive; track; dip

(责任编辑 刘棉玲)