

引用格式:沈思源,李震霄,孙伟. 基于改进 Camshift 的无人机目标跟踪算法研究[J]. 微电子学与计算机,2019,36(11):76-83.
[SHEN S Y, LI Z X, SUN W. Research on target tracking of UAV based on improved camshift algorithm [J]. Microelectronics & Computer, 2019, 36(11): 76-83]

基于改进 Camshift 的无人机目标跟踪算法研究

沈思源,李震霄,孙 伟

(中国矿业大学 信息与控制工程学院,江苏 徐州 221008)

摘 要: 无人机在对地面目标进行跟踪时,传统 Camshift 算法易受相似颜色背景/目标、遮挡等干扰. 本文提出一种改进 Camshift 的目标跟踪方法. 通过提取跟踪目标的色度、饱和度和 LBP 纹理特征分量建立基于三维联合直方图的跟踪模板,并采用自适应加权策略来调整三种特征分量的权重值,提高算法的跟踪准确度;在跟踪目标受到遮挡干扰时,引入 Kalman 滤波机制,增强算法的鲁棒性. 实验结果表明,改进后的算法能够满足无人机对目标跟踪准确性与实时性的要求.

关键词: 无人机;目标跟踪;Camshift 算法;LBP 纹理特征;Kalman 滤波

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2019)11-0076-08

Research on target tracking of UAV based on improved Camshift algorithm

SHEN Si-yuan, LI Zhen-xiao, SUN Wei

(School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221006, China)

Abstract: When UAV tracks the ground target, the classic Camshift algorithm is susceptible to similar color background/target, occlusion, etc. The target tracking method based on improved Camshift is proposed. A tracking template based on three-dimensional joint histogram is established by extracting the Hue, Saturation and LBP texture features of the tracking target, and the weighting values of the three feature components are adjusted by the adaptive weighting strategy to improve the tracking accuracy of the algorithm. When the tracking target is blocked, Kalman filtering mechanism is introduced to enhance the robustness of the algorithm. The experimental results show that the improved algorithm can meet the requirements of target tracking accuracy and real-time for UAV.

Key words: UAV; target tracking; Camshift algorithm; LBP texture features; Kalman filter

1 引言

无人机全称为无人驾驶飞行器,是一种通过无线遥控设备控制飞行或者通过机载计算机控制进行自主飞行的无人飞机. 无人机前景广阔,成本低廉,用途广泛,且使用方便,机动性能强,使用灵活,无人员伤亡风险,不仅在军事发展中有极其重要的作用,在民用领域中也有极为广阔的发展前景^[1]. 无人机

航拍系统使用 PTZ(云台)摄像机快速采集中低空高分辨率的图像和视频. 随着计算机技术的发展,无人机航拍被越来越多的应用于交通信息采集、数据通信系统、森林消防和遥感测绘等领域. 在智能交通系统中,通过无人机搭载云台相机对道路上的车辆进行实时的检测与追踪,能够极大的节省警力,对违章违法车辆做到真正的无所遁形.

无人机航拍视频的可利用性取决于运动目标

跟踪算法的准确性和稳定性,故选取合适的运动算法尤为重要^[2],但由于目前常用的目标跟踪算法受相似背景、遮挡和光照变化等干扰,仍然存在一些问题,为此许学者们提出了许多改进的跟踪算法。

帧差法通过将相邻两帧图像对应点像素值相减求得差分图像,然后将像素值与阈值做比较,标记出运动目标的所在位置。屈晶晶等人^[3]提出了连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法;粒子滤波法是将粒子在全局均匀播撒,然后再计算每个粒子和目标的相似程度,贺若彬等人^[4]提出了将压缩感知理论及稀疏子空间的粒子滤波法应用到目标跟踪的算法;光流法是将图像灰度变化与光流场联系起来,通过计算每一个像素点的速度矢量,来描述运动目标的位置情况,李成美等人^[5]提出了将 Shi-Tomasi 角点检测和光流法结合,只计算强角点处的光流场的算法;Camshift 算法,计算简单、速度快,对尺度变化、旋转变换、背景变化和遮挡等干扰具有一定的鲁棒性^[6]。但是其仅提取 H 分量作为跟踪模板进行统计,使得运动目标在前景与背景颜色相似的情况下会导致跟踪效果变差^[7],Xiu C 等人^[8]提出了将 Camshift 算法与 SIFT 特征点匹配相融合,提高跟踪的准确性。Guo L 等人^[9]通过将 Camshift 算法与 Kalman 滤波相融合的方式来实现对跟踪目标的预测机制。

帧差法对光照和颜色的变化比较敏感,同时难以对快速移动的物体进行实时的跟踪,粒子滤波法样本数量巨大,计算复杂,且不适合长时间跟踪,故本文选取 Camshift 算法作为目标跟踪算法,在跟踪物体受到相似颜色背景/目标的干扰时,提出了提取颜色直方图的 Hue 和 Saturation 分量,并结合目标的 LBP 纹理特征,建立三维联合直方图,通过自适应调整各分量的权重值,提高算法的鲁棒性;当跟踪物体受到遮挡干扰时,引入 Kalman 滤波,建立预测机制,从而实现对目标物体的跟踪。

2 算法简介

2.1 Camshift 算法

由于 HSV 颜色空间对于光照等其它噪声因素的敏感度相较于 RGB 颜色空间更低一些,所以为了减少噪声对跟踪效果的影响,Camshfit 算法跟踪时首先将图像由 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间进行处理。

首先手动选择目标跟踪框,然后对框内所有像

素提取色调分量,从而建立目标的 Hue 直方图,则该直方图为目标的颜色直方图模型。对于在跟踪过程中出现在搜索窗口中的每个像素,查询颜色直方图模型以获得目标像素出现的概率。利用输入图像的反向投影获得搜索区域的颜色概率分布图。通过 MeanShift 算法不断的迭代计算跟踪窗口质心的位置,从而实现目标的定位,具体过程如下:

(1) 设 $\{(x_i, y_i)\}, i = 1, 2, \dots, s$ 为跟踪目标的像素位置, $b(x_i, y_i)$ 为 (x_i, y_i) 位置处像素所对应的色调特征值,建立色调特征直方图模型 $q = \{q_u\}, u = 1, 2, \dots, m$,

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

(2) 建立概率分布图。通过跟踪目标的色调直方图进行反向投影,建立跟踪目标的概率分布图,设跟踪目标的像素点 (x, y) 的色调特征值为 u ,则该像素点的概率分布图的像素值 $p(x, y)$ 为

$$p(x, y) = \left[\frac{q_u}{\max\{q_i | i = 1, 2, \dots, m\}} \times 255 \right] \quad (2)$$

式中, $[]$ 为向下取整符

(3) 计算搜索窗的零阶矩和一阶矩

$$M_{00} = \sum_x \sum_y p(x, y) \quad (3)$$

$$M_{10} = \sum_x \sum_y x p(x, y) \quad (4)$$

$$M_{01} = \sum_x \sum_y y p(x, y) \quad (5)$$

(4) 则搜索窗口的质心 (x_c, y_c) 为

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad (6)$$

$$y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (7)$$

(5) 自适应调整搜索窗口的边长

$$s = 2\sqrt{M_{00}/255} \quad (8)$$

(6) 计算二阶矩

$$M_{11} = \sum_x \sum_y x y p(x, y) \quad (9)$$

$$M_{20} = \sum_x \sum_y x^2 p(x, y) \quad (10)$$

$$M_{02} = \sum_x \sum_y y^2 p(x, y) \quad (11)$$

更新搜索窗口的大小和方向有

$$L = \sqrt{\frac{(a+c) + \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}} \quad (12)$$

$$W = \sqrt{\frac{(a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}} \quad (13)$$

式中, W 为搜索窗口的短轴; L 为搜索窗口的长轴;

a, b, c 分别为

$$a = \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2 \quad (14)$$

$$b = 2\left(\frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c\right) \quad (15)$$

$$c = \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2 \quad (16)$$

更新跟踪目标与水平方向的夹角为

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{b}{a-c}\right) \quad (17)$$

(7) 重新回到第一步继续对下一帧图像进行相同的处理。

2.2 Kalman 滤波

Kalman 滤波算法适用于估计一个动态系统的最优状态,是一种实时、有效的递推估计算法,能够比较快速准确地预测出目标的速度和位置。即使观测系统存在噪声,使得观测值不准确,Kalman 滤波也能完成对状态真实值的最优估计,其原理是利用观测目标的状态方程来描述其状态的转移过程^[10]。

系统的状态方程及观测方程分别为

$$X_k = A_{k,k-1} X_{k-1} + V_{k-1} \quad (18)$$

$$Y_k = H_k X_k + W_{k-1} \quad (19)$$

式中 X_k 和 X_{k-1} 分别为 k 和 $k-1$ 时刻跟踪目标的状态变量, $A_{k,k-1}$ 为 k 到 $k-1$ 时刻的状态变化矩阵; H_k 为 k 时刻的观测矩阵, V 为此动态系统中的状态噪声矩阵, W 为观测噪声矩阵, Q 和 R 分别为 V 和 W 的方差矩阵。设跟踪目标在 k 时刻的状态向量为 $X_k = [x_{sk}, y_{sk}, x_{tk}, y_{tk}]$, 其中 x_{sk} 和 x_{tk} 代表在 x 方向上的位置和速度, y_{sk} 和 y_{tk} 代表在 y 方向上位置和速度, 用观测向量 $Y_k = [x_{tk}, k, y_{tk}]$ 代表目标的观测位置, 推导公式如下所示

$$X_k = A_{k,k-1} X_{k-1} \quad (20)$$

$$X_k = X_{k,k-1} + K_k (Y_k - H_k X_{k,k-1}) \quad (21)$$

$$K_k = P_{k,k-1} H_k^T (H_k P_{k,k-1} H_k^T + R) \quad (22)$$

$$P_{k,k-1} = A_{k,k-1} P_{k-1} A_{k,k-1}^T + Q \quad (23)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_{k,k-1} \quad (24)$$

式中, $X_{k,k-1}$ 为状态转移后的预测值; X_k 为 X_{k-1} 的修正值; K_k 为 Kalman 滤波增益矩阵; $P_{k,k-1}$ 和 P_k 分别为 $X_{k,k-1}$ 和 X_k 的协方差矩阵^[11]。

3 本文算法改进

无人机在对地面物体进行跟踪时,易受风力等天气因素的干扰,即使自身安装了具有防抖功能的云台设备,仍会存在小范围无规则的抖动、倾斜,导致航拍视频质量下降,同时相较于传统固定摄像机

拍摄,视频中的背景不断更新,受到的干扰更多更复杂,这为目标跟踪带来了极大的挑战。

针对无人机对地面物体跟踪时可能受到的干扰,本文对 Camshift 算法提出以下改进。

(1) 在跟踪目标受到相似颜色背景/目标干扰时,通过提取跟踪目标的 Hue 分量、Saturation 分量和 LBP 特征分量来丰富算法的跟踪模板,构建基于 H-S-LBP 的三维联合直方图,并基于背景模型自适应的调整特征直方图三种分量的权重值,以此建立无人机对地面物体的跟踪模板。

(2) 在跟踪目标受到遮挡干扰时,通过引入 Kalman 滤波来预测目标可能出现的位置,增强算法的鲁棒性。

本算法主要针对目标的特征直方图统计进行的改进,并不涉及复杂的理论计算,所以在提升跟踪稳定性的同时也能满足无人机对地面物体跟踪实时性的需求,如图 1 所示。

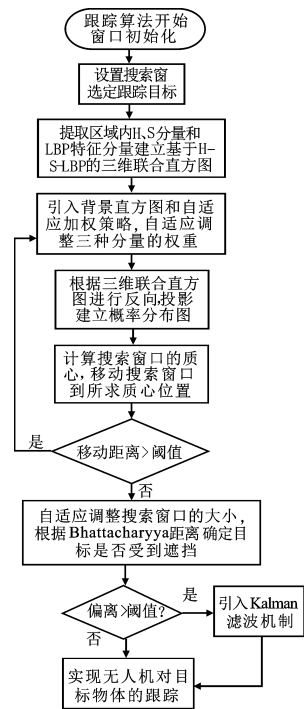


图 1 本文算法改进流程图

3.1 三维特征分量提取

3.1.1 Hue 和 Saturation 分量

传统的 Camshift 算法仅以 HSV 空间中的色调 H 分量为模板对目标进行跟踪,在饱和度 S 和明度 V 变化范围较大时,其跟踪效果会变差。本实验先将 RGB 颜色空间转换到 HSV 空间,如图 2(a)、(b)所示。

$H =$

$$\begin{cases} 0, & \max = \min \\ (60 \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^\circ) \bmod 360^\circ, & \max = r \\ (60 \times \frac{b-r}{\max-\min} + 120^\circ), & \max = g \\ (60 \times \frac{r-g}{\max-\min} + 240^\circ), & \max = b \end{cases} \quad (25)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \max = 0 \\ \frac{(\max - \min)}{\max} = \frac{1 - \min}{\max}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26)$$

$$V = \max \quad (27)$$

式中,设 $\max$ 等于 r, g 和 b 中的最大者; $\min$ 等于这些值中的最小者.所提取的色调 H 和饱和度 S 两个通道的分量如图 2(c)(d) 所示.

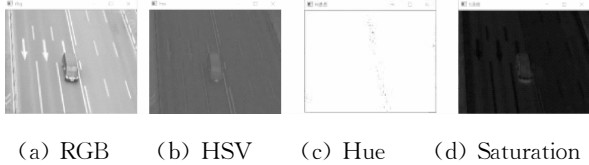


图 2 从 RGB 到 HSV 颜色空间的转换

首先对跟踪窗口内的 H 通道进行采样,得到待跟踪目标的 Hue 直方图,计算初始窗口内 H 分量的直方图,将其作为待跟踪目标的颜色直方图模型,如图 3(b)所示.在将 3 通道 8 位的 RGB 图像转为 HSV 图像时, H, S 和 V 分量分别占用 8 位深度,其中 H 分量的值域为 $[0, 360^\circ]$,本文中将其量化为 60 个 bin(每个 bin 长度为 6°), S 分量的值域为 $[0, 1]$,将其量化为 20 个 bin(每个 bin 长度为 $1/20$).

对初始化搜索窗口区域二维直方图的建立,通过提取 H 分量和 S 分量构建二维联合函数可以得到,在一维 H 直方图中将其量化为 60 个 bin,则在 $H-S$ 二维直方图共有 $60 \times 20 = 1\,200$ 个 bin,如图 3(c)所示.

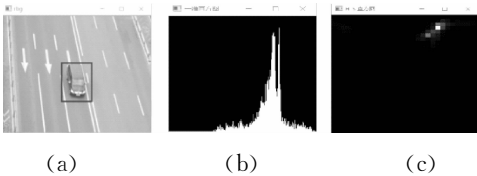


图 3 一维、二维直方图的建立

3.1.2 LBP 特征分量

LBP(局部二值模式)是一种有效的纹理描述算子,由 Ojala 于 1994 年提出,其主要是利用 LBP 算子提取灰度图像中跟踪区域的纹理特征^[12].在图像

中提取一个中心像素点与周围邻域 8 个像素的 3×3 矩阵块.在计算 LBP 特征值时,将中心像素的特征值逐一与邻域内的 8 个像素作比较,小于中心像素灰度值的记为 0,大于等于中心像素灰度值的记为 1,然后对邻域内 8 个像素赋予不同的权值,再将其转化为十进制数作为该 3×3 矩形块的特征值^[13],具体操作如图 4 所示.

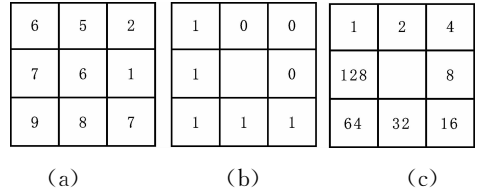


图 4 LBP 特征计算示意图

图 4(a)是当前算子覆盖区域的灰度值分布图,中心像素的灰度值为 6,经过二值化得到图(b),然后通过图(c)对中心像素周围邻域像素点赋予不同的权值,则该区域二值化后的特征串为 11110001,对应的十进制数为 241,该值为此矩形块的特征值.

以上算法仅能对固定大小的矩阵块提取纹理特征,无法对大尺度结构的纹理特征进行处理,故 Ojala 对以上方法进行了拓展,主要思想为通过灰度的分布来体现纹理特征的分布.设 L 为图像的待检测区域,则用灰度分布 G 来描述该区域的纹理特征 F_L ,即

$$F_L = G(g_c, g_0, g_1, \dots, g_{P-1}) \quad (28)$$

式中, g_c 为区域中心点的灰度值, $g_i (i = 0, 1, \dots, P-1)$ 为 P 个以 c 为圆心,以 R 为半径的圆周上的等距离分布的邻域像素点的灰度值,不同的 P, R 的取值,对应了不同尺度的 LBP 算子,如图 5 所示.

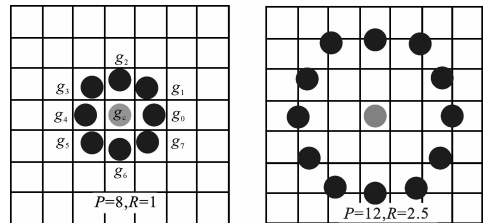


图 5 不同 P, R 值的 LBP 算子形式

推广到一般情况,LBP 特征值可用下式计算^[14]:

$$\text{LBP}_{P,R} = \sum_{i=0}^{P-1} s_i \times 2^i \quad (29)$$

式中, $s_i = g_i - g_c (i = 0, 1, \dots, P-1)$ 表示第 i 个邻域像素和中心像素的灰度差值.

对于目标窗口内的所有像素点进行 LBP 纹理特征提取,可建立基于纹理特征的一维直方图,其中纹理特征值的值域为 $[0, 255]$,将其量化为 16 个 bin(量化长度为 16)。

3.2 建立基于 H-S-LBP 三维联合直方图的跟踪模板

合理的构建运动物体的跟踪模板是实现无人机航拍对目标物体追踪的前提,本文通过引入饱和度 S 分量形成 H-S 二维直方图对 Camshift 算法进行改进,但是仅提取目标物体的颜色特征仍不能达到跟踪的理想准确度,考虑到纹理特征对噪声具有较强的抵抗能力,且具有旋转不变性,故在跟踪模板中引入了纹理特征,从而建立基于 H-S-LBP 三维联合直方图的跟踪模板,对原算法做出改进。

构建 H-S-LBP 三维联合直方图与 H-S 二维直方图相类似,首先统计初始化区域内每一个像素的特征值,然后建立 $60(\text{色调}) \times 20(\text{饱和度}) \times 16(\text{纹理特征分量})$ 共 19 200 个 bin 的三维联合直方图。

为了减少相似颜色背景的干扰,本文引入背景直方图的概念,其定义仍为 $60(\text{色调}) \times 20(\text{饱和度}) \times 16(\text{纹理特征分量})$ 共 19 200 个 bin 的三维联合直方图。采用自适应加权策略^[15],来自适应的减少待检测区域特征直方图和背景直方图的中比较接近的直方图分量的权重,该背景直方图中每个 bin 值为:

$$b = b_i, i = 1, 2, \dots, 19\ 200, \text{且} \sum_{i=1}^{19\ 200} b_i = 1 \quad (30)$$

将 b_i 集合中最小的非零值记为 $b_{\min}$,则其对应的待检测区域的特征直方图 h_i 的特征权重为:

$$\omega_i = \min\left\{\frac{b_{\min}}{b_i}, 1\right\}, i = 1, 2, \dots, 19\ 200 \quad (31)$$

在待检测区域的特征直方图中,当其中某个 bin 中的分量与背景直方图中对应的 bin 分量近似一致时,则该 bin 中的分量会对目标跟踪的准确性造成不良影响,因此要适当的降低其权重值。同理,在背景直方图中存在某个 bin 值较大的分量时,其在对应的待检测区域特征直方图 h_i 中的权重应较小,即其对应的 h_i 的权重 ω_i 越小。以特征权重值 ω_i 去加权待检测区域的直方图 h_i ,可达到自适应的调整:

$$h_i = h_i \omega_i, i = 1, 2, \dots, 19\ 200 \quad (32)$$

本文通过构建 H-S-LBP 的三维联合直方图,建立了无人机对地面物体的跟踪模板,如下式:

$$P = \frac{\rho_H}{\rho_H + \rho_S + \rho_{LBP}} P_H + \frac{\rho_S}{\rho_H + \rho_S + \rho_{LBP}} P_S + \frac{\rho_{LBP}}{\rho_H + \rho_S + \rho_{LBP}} P_{LBP} \quad (33)$$

式中, ρ_H 和 ρ_S 为颜色模板与候选模板的 Bhattacharyya 系数, ρ_{LBP} 为纹理模板与候选模板的 Bhattacharyya 系数。记跟踪过程中 H、S 和 LBP 的反向投影分别是 ρ_H 、 ρ_S 和 ρ_{LBP} , P 为加权合成的反向投影。由上式可以看出,跟踪过程中当 ρ_H 变小时, P_H 贡献小,相应的 P_S 和 P_{LBP} 贡献大,反之同理,所以通过调节 P_H 、 P_S 和 P_{LBP} 的权值,可以增强跟踪算法的鲁棒性。

3.3 改进的 Camshift 算法融合 Kalman 滤波

合理的引入预测机制可以在跟踪目标受到遮挡干扰时对其下一帧出现的位置进行预测,目前常用到的方法是 Kalman 滤波法,该方法首先对目标进行数学建模,将运动模型用高斯分布在 Kalman 滤波器中模拟,从而对目标的运动状态做出预测,在将预测值反馈回 Kalman 滤波器,不断的对其进行更新、修正。在进行目标跟踪之前,通过手工选择 ROI 以提取跟踪对象的颜色和纹理特征分布,然后以 Camshift 算法对搜索窗口进行运动检测。丢失跟踪目标后,引入 Kalman 滤波机制(达到一定条件),Kalman 滤波算法会根据前一帧目标的状态来对当前帧目标做出预判,实际上是通过线性拟合将两种算法融合到一起。

$$X_{k+1} = \alpha X_{k+1,k} + (1 - \alpha) Y \quad (34)$$

式中, X_{k+1} 为对目标在 $k+1$ 时刻的预测位置, $X_{k+1,k}$ 为 Kalman 滤波器的预测位置, Y 为 Camshift 算子的预测位置,比例因子 α 受目标遮挡干扰的程度会发生相应的改变。

本文通过 Bhattacharyya 距离^[16] $d(H_1, H_2)$ 对目标是否发生干扰进行判断, Bhattacharyya 距离可以度量两个颜色直方图的相似程度, $d(H_1, H_2)$ 值越小,表示相似程度越高, $d = 0$ 时则表示直方图完全相同。设定一个阈值 T , 当 $d(H_1, H_2) > T$ 说明目标发生严重干扰,此时引入 Kalman 滤波。经过大量实验证明, T 取值 0.45 时跟踪效果最好, $d(H_1, H_2)$ 的求解方式如下所示:

$$d(H_1, H_2) = \sqrt{1 - \frac{1}{\sqrt{H_1} \sqrt{H_2} N^2} \sum_I \sqrt{H_1(I) \cdot H_2(I)}} \quad (35)$$

式中, $H_1(I)$ 为目标模型的颜色直方图; $H_2(I)$ 为当前帧目标颜色直方图。

4 实验结果与分析

4.1 实验设计和衡量标准

本实验基于 VS2013 和 OpenCV2.4.9 平台开发,利用 C++ 编程语言实现。其中硬件系统:处理器为英特尔 Corei5-7300HQ@2.50 Hz 四核,内存

为 8 GB,硬盘为 1T,操作系统为 Windows 10. 实验以市内道路上的汽车为主要跟踪对象,相似颜色背景/目标干扰为道路上行驶的颜色背景与目标车辆相似的其它车辆,遮挡干扰为目标车辆经过天桥下方时所受到的遮挡. 选取大疆经纬 M100 四旋翼无人机搭载 Zenmuse X3 一体式云台相机在距离地面 70 米的高度拍摄的道路车辆跟踪视频,分别对传统的 Camshift 算法和改进之后的算法在相似颜色背景/目标干扰和遮挡干扰的情况下进行测试.

本实验采用 Bhattacharyya 距离和有效帧率作为相似颜色背景/目标干扰和遮挡干扰下算法跟踪准确性的衡量标准.

Bhattacharyya 距离可以衡量 Camshift 算法中待选模板和目标模板的相似程度,取值在 0~1 之间,其值越小,则代表待选模板和目标模板相似度越高,跟踪效果越好.

有效帧率是指跟踪视频中有效帧与总帧数的比值,利用 Bhattacharyya 距离可以判断视频中的某一帧为有效帧,设定一个阈值 ϵ ,当 Bhattacharyya 距离值小于 ϵ 时,则判定该帧为有效帧,经过实验证明, ϵ 取 0.4 时,判定结果最为准确.

4.2 改进的 Camshift 算法验证

传统 Camshift 算法、文献[17]中引入色度-微分二维联合直方图(下文简称 A 算法)和文献[18]中引入色度-饱和度-边缘梯度三维联合直方图(下文简称 B 算法)的算法与本文改进后的 Camshift 目标跟踪算法在目标车辆受到相似颜色背景/目标干扰情况下的实验结果如图 6 所示.

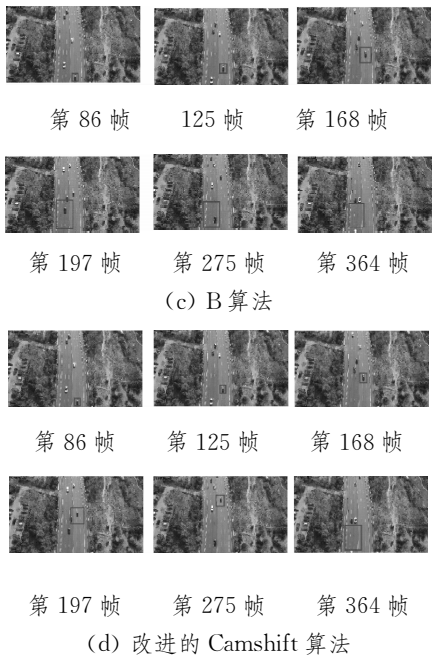
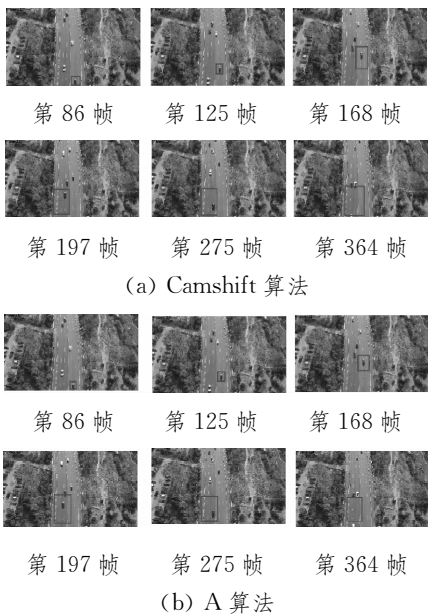


图 6 四种算法颜色干扰测试图

本次实验在跟踪前需要手动选定搜索窗口对目标车辆进行标定,由图 6(a)可以看出传统的 Camshift 算法在 86 帧、125 帧的时候对目标车辆跟踪较好,第 168 帧时,搜索窗口放大,目标丢失,直至目标车辆驶出视野,搜索窗口仍然无法重新标定目标车辆,导致跟踪失败. 由图 6(b)和(c)可知 A 算法和 B 算法均不能有效的对目标车辆进行跟踪. 从图 6(d)可以看出本文改进后的 Camshift 算法,从目标被标定的第 86 帧图像开始,直至第 364 帧,目标车辆驶出视野,跟踪效果良好,没有出现明显的丢失目标车辆的情况.

由图 7 和表 1 可知,本文改进的 Camshift 算法跟踪模板在颜色背景干扰的情况下 Bhattacharyya 距离可维持在 0.35 左右,高于另外三种算法,且有效帧率相较于传统 Camshift 算法、A 算法和 B 算法分别提高了 32%、27%和 19%.

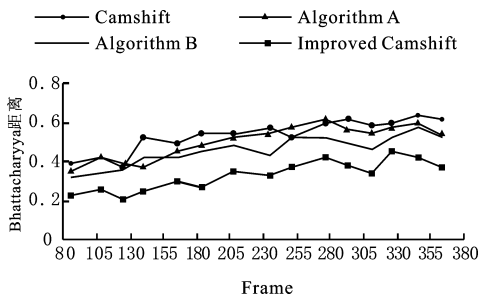


图 7 颜色干扰 Bhattacharyya 距离测试图

表 1 颜色干扰车辆跟踪有效帧率测试表

算法	测试帧数	有效帧数	有效帧率/%
Camshift	278	148	53
A 算法	278	162	58
B 算法	278	184	66
改进 Camshift	278	236	85

4.3 改进的 Camshift 融合 Kalman 滤波算法验证

为了测试改进的 Camshift 融合 Kalman 滤波算法在目标车辆受到遮挡干扰情况下的测试效果,本实验拍摄了目标车辆经过天桥下方时被遮挡的视频来对引入 Kalman 滤波后的算法进行验证,实验结果如图 8 所示.

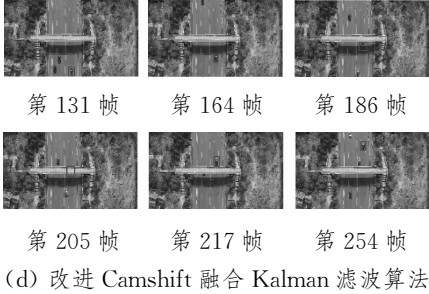
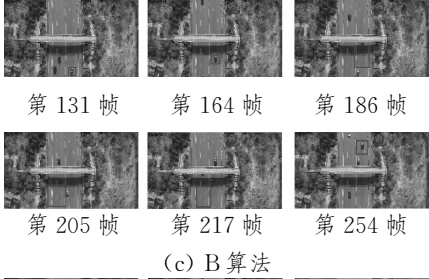
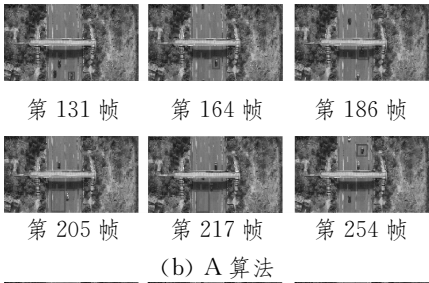
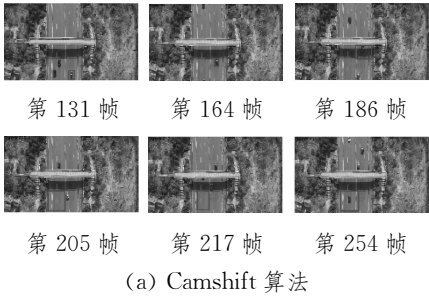


图 8 四种算法遮挡干扰测试图

如图 8(a)(b)(c)所示,三种算法在目标车辆未驶入天桥下方之前,仍能表现出较好的跟踪效果,但

当目标车辆受到遮挡干扰时,由于没有引入 Kalman 滤波的预测机制以及自身跟踪模板的单一性,其均有明显丢失跟踪目标的情况. 而由图 8(d)可知,在目标车辆受到遮挡干扰的情况下,改进的 Camshift 算法引入 Kalman 滤波表现出良好的抗干扰性,即使目标车辆短时间被天桥遮挡,当车辆再次出现时,跟踪框仍能重新标定车辆进行跟踪.

由图 9 和表 2 可知,改进的 Camshift 算法融合 Kalman 滤波后对受遮挡车辆仍能表现出很好的跟踪效果,其鲁棒性和跟踪效率也较之传统的 Camshift 算法有很大的改善,且有效帧率相较于传统 Camshift 算法、A 算法和 B 算法分别提高了提高了约 34%、28%和 18%.

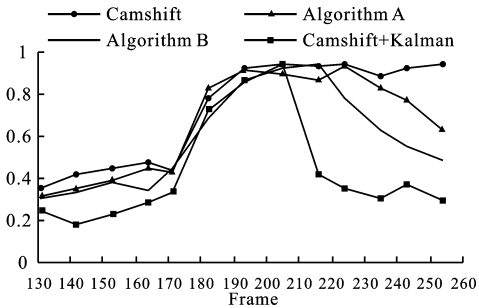


图 9 遮挡干扰 Bhattacharyya 距离测试图

表 2 遮挡干扰车辆跟踪有效帧率测试表

算法	测试帧数	有效帧数	有效帧率/%
Camshift	123	56	46
A 算法	123	77	52
B 算法	123	64	62
Camshift+Kalman	123	98	80

5 结束语

本文提出了一种基于改进 Camshift 融合 Kalman 滤波的无人机目标跟踪算法. 在跟踪目标受到相似颜色背景/目标干扰时,针对传统 Camshift 算法跟踪模板信息单一,仅提取 HSV 中色调 Hue 通道作为目标的颜色直方图模型的问题,通过提取饱和度和 Saturation 分量,同时引入 LBP 纹理特征建立基于 H-S-LBP 三维联合直方图的跟踪模板对原算法加以改进,并对这三个分量采用自适应加权选择,提高了算法的跟踪准确度;针对跟踪过程中目标受到遮挡干扰而导致跟踪失败的问题,本文通过引入 Kalman 滤波与改进后的 Camshift 算法进行融合,增强了算法的鲁棒性. 实验表明,本文所提出的改进算法能够实时、准确的跟踪目标. 但本文设计的对比

试验均处于白天,并没有考虑夜间低照度下对物体的跟踪算法,未来无人机可以结合红外探测装置对夜间目标跟踪做进一步研究。

参考文献:

- [1] COŞKUN M, ÜNAL S. Implementation of tracking of a moving object based on camshift approach with a UAV [J]. *Procedia Technology*, 2016(22):556-561.
- [2] 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]. 昆明:云南大学,2012.
- [3] 屈晶晶,辛云宏.连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法[J]. *光子学报*,2014,43(7):219-226.
- [4] 贺若彬,武德安,吴磊,等.稀疏子空间的粒子滤波法在目标跟踪中的应用[J]. *计算机工程与设计*,2016,37(11):3080-3085.
- [5] 李成美,白宏阳,郭宏伟,等.一种改进光流法的运动目标检测及跟踪算法[J]. *仪器仪表学报*,2018,39(5):249-256.
- [6] 赵欣,陈峰,吴立知.一种改进的 meanshift 运动目标跟踪算法[J]. *通信技术*,2011,44(11):76-79.
- [7] LI L, LUO Y. Improved video moving target tracking based on camshift[J]. *American Journal of Computational Mathematics*, 2016, 6(4):357-364.
- [8] XIU C, WEI S, WAN R, et al. Camshift tracking method based on target decomposition[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015(1):1-20.
- [9] GUO L, LI L, ZHAO Y, et al. Pedestrian tracking based on camshift with kalman prediction for autonomous vehicles[J]. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2016(13):1-5.
- [10] 翟卫欣,程承旗.基于 Kalman 滤波的 Camshift 运动跟踪算法[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2015, 51(5):799-804.
- [11] BAN L Y, HAN Y H, WU Y H. Target tracking based on improved camshift and kalman filter[J]. *Ad-*

vanced Materials Research, 2014 (989/994): 3587-3590.

- [12] 宋晓琳,王文涛,张伟伟.基于 LBP 纹理和改进 Camshift 算子的车辆检测与跟踪[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2013, 40(8):52-57.
- [13] WU X, LI L, LAI J, et al. A framework of face tracking with classification using CAM Shift-C and LBP[C]// *Fifth International Conference on Image and Graphics*. China, Xi' an, IEEE Computer Society, 2009:217-222.
- [14] YUAN G W, GAO Y, XU D. A moving objects tracking method based on a combination of local binary pattern texture and hue[M]. *Springer Berlin Heidelberg, Electrical Engineering and Control*, 2011: 3964-3968.
- [15] 初红霞,谢忠玉,王君祥,等.空间相关背景加权直方图均值漂移目标跟踪[J]. *控制与决策*, 2014, 29(3): 528-532.
- [16] 刘亚伟,李小民,陈为元.基于改进 CamShift 融合 Kalman 滤波的无人机目标跟踪研究[J]. *电光与控制*, 2017,24(8):33-37.
- [17] 修春波,魏世安,万蓉凤.二维联合特征模型的自适应均值漂移目标跟踪[J]. *光电子·激光*, 2015, 26(2): 342-351.
- [18] 覃跃虎,支琤,徐奕.基于三维直方图的改进 Camshift 目标跟踪算法[J]. *现代电子技术*, 2014, 37(2):29-33.

作者简介:

沈思源 男,(1993-),硕士研究生.研究方向为图像处理、模式识别.

李震霄 男,(1995-),硕士研究生.研究方向为图像处理.

孙伟(通讯作者) 男,(1963-),教授,博士生导师.研究方向为图像处理、智能控制、模式识别.

E-mail:neuqssy@163.com

(上接第 75 页)

王晶(通信作者) 女,(1982-),博士,副研究员.研究方向为计算机系统结构、高性能计算、容错计算、智能芯片设计.

E-mail:jwang@cnu.edu.cn.

张伟功 男,(1967-),博士,研究员.研究方向为高可靠计算机体系结构及 SoC 设计、高速高可靠总线技术、计算机容错技术.