

引用格式: 卢艳军, 王诗宇, 张太宁, 等. 针对复杂环境问题的改进跟踪算法研究[J]. 微电子学与计算机, 2020, 37(9): 78-82.
[LU Y J, WANG S Y, ZHANG T N, et al. Research on improved tracking algorithm for complex environmental problems [J].
Microelectronics & Computer, 2020, 37(9): 78-82.]

针对复杂环境问题的改进跟踪算法研究

卢艳军, 王诗宇, 张太宁, 赵为平

(沈阳航空航天大学 自动化学院, 沈阳 辽宁 110136)

摘 要: 为解决无人机跟踪目标时面对的复杂环境问题, 选择以基于颜色特征进行跟踪的 MeanShift 算法为基础, 对其作出改进. 针对无人机跟踪目标时, 目标颜色与环境背景相似的问题, 提出改进 MeanShift 算法的跟踪特征, 将相机采集的视频格式由 RGB 颜色空间转化为 HSV 颜色空间, 并选取其中的色调分量作为跟踪特征; 针对无人机跟踪过程中目标被短期遮挡的问题, 提出将改进后的 MeanShift 算法与 Kalman 滤波相结合, 利用 Kalman 滤波的预测功能, 使算法在目标被短期遮挡的情况下依旧能稳定跟踪. 通过实验, 验证了本文提出的跟踪算法的有效性.

关键词: 目标跟踪; MeanShift 算法; 目标遮挡; Kalman 滤波

中图分类号: TP391. 41

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2020)09—0078—05

Research on improved tracking algorithm for complex environmental problems

LU Yan-jun, WANG Shi-yu, ZHANG Tai-ning, ZHAO Wei-ping

(College of Automation, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: In order to solve the complex environmental problems faced by the drone tracking target, the MeanShift algorithm based on color feature tracking is selected and improved. Aiming at the problem that the target color is similar to the environment background when the target is tracked by the drone, the tracking feature of the MeanShift algorithm is proposed. The video format captured by the camera is converted from the RGB color space to the HSV color space, and the hue component is selected as the tracking feature. For the problem that the target is short-term occlusion during the tracking process of the UAV, the improved MeanShift algorithm is combined with Kalman filtering, and the prediction function of Kalman filtering is used to make the algorithm stable in the face of short-term occlusion. The effectiveness of the tracking algorithm proposed in this paper is verified by experiments.

Key words: target tracking; MeanShift algorithm; target occlusion; Kalman filtering

1 引言

基于视觉的跟踪算法具有成本低、效果好等优势, 在各行各业都被广泛应用, 有着良好的发展前景. 其中, 传统的 MeanShift 算法由于其原理简单, 计算量小, 实时性强成为一种被普遍使用的跟踪算

法. 该算法利用目标的颜色特征进行跟踪, 不会随着目标尺度变化而改变, 具有局部不变性^[1], 对应用场合限制很小. 但是跟踪过程中面对的复杂环境问题, 如目标遮挡问题^[2]、颜色干扰问题^[3]等对跟踪算法的准确率会造成很大影响. 本文选择通过改进 MeanShift 算法的跟踪特征并与 Kalman 滤波相结

合,对目标位置进行预测来解决上述问题。

2 MeanShift 算法

均值漂移(MeanShift)算法由 Fukunage 提出,后来由 Yizong Cheng 进行扩充^[4-5],是一种高效的搜索算法,在目标跟踪领域有着广泛的应用。

均值漂移(MeanShift)算法的基本原理如图1所示,其中,将实心黑点作为中心点 x ,其周围存在大量距离各异的采样点 x_i ,箭头代表了 x_i 相对于 x 的偏移向量,对这些偏移向量求均值,就得到了使中心点向样本点最密集处移动的 Mean Shift 向量。Mean Shift 向量转移到样本点相对于点 x 变化最多(大)的地方,其方向也就是密度梯度的方向。但是,如式(1)的普通求向量均值方式,是理想化状态,即所有样本点,不论距离中心点的远近,对 Mean Shift 向量的贡献是均等的,实际上却并非如此。因此引进核函数,得到核函数加权下的 Mean Shift 向量,如式2^[6]。

$$m_{h,G}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x) \quad (1)$$

$$m_{h,G}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2\right)} - x \quad (2)$$

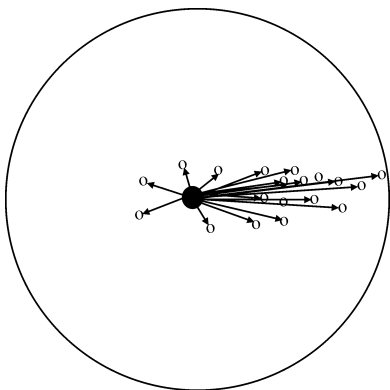


图1 MeanShift 算法原理图

在给定核函数 $G(x)$ 以及允许误差 ϵ 的情况下执行 MeanShift 算法,步骤如下:

- (1) 以当前中心点 x 为圆心,做一个半径为 h 的高维球,所有落在球内的点均为样本点 x_i ;
- (2) 根据式(2)计算 Mean Shift 向量;
- (3) 如果满足 $m_{h,G}(x) < \epsilon$,算法完成;否则,根据式(3)计算出新的中心位置 x ,重新执行步骤(1)~(3)。

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\| \frac{x - x_i}{h} \right\|^2\right)} \quad (3)$$

3 针对颜色干扰问题的改进跟踪算法

MeanShift 算法在 RGB 颜色空间下进行跟踪,RGB 指的是红(Red)、绿(Green)、蓝(Blue)三种颜色,这也是组成颜色空间的三轴坐标系,所有的颜色都可以由三轴分量通过不同的比例叠加而成,三者高度相关,互相影响,当遇到的物体中某一分量的颜色与目标相同时,叠加出的结果就可能相似,甚至当三分量均与目标不一致时,其叠加的颜色也有可能呈现相似的效果,从而对跟踪产生干扰,影响跟踪精度。在这一点上,RGB 并不适合进行跟踪,因此,我们需要找到一种各个因素相互独立的颜色空间取代它。

因此,本文选择将 RGB 颜色空间转化为 HSV 颜色空间,其组成分量分别为饱和度(saturation)、色调(hue)与亮度(value),方便对通道进行独立处理^[7]。相比较于 RGB 颜色空间单一描述色彩信息的方式,HSV 选择增加了对色彩明暗程度、鲜艳程度的描述,使颜色之间的对比更加细致,减少出错的概率。考虑到色调值是人眼感知颜色信息的传统描述,而亮度值、饱和度值与颜色信息不完全相关^[8],且亮度的提升又会引起饱和度的变化,因此,选用独立且鲜明的色调特征(H 分量)进行特征匹配进行跟踪最为适合。

改进后的 MeanShift 算法,其具体流程主要分为模型建立与相似性度量两部分:

(1) 颜色特征的建立

首先用鼠标在当前帧圈出一个包含完整目标的区域,如式(4)~(6)所示,对图像进行格式转换。将 H 分量均分为 k 个 bin,构成图像的特征空间,空间中每一个像素的值为其 H 分量所属 bin 的概率值,根据概率值设置像素灰度值,概率为1对应灰度值255,概率为0对应灰度值0,以此类推^[9],从而得到目标的颜色概率分布图。在鼠标圈定的目标区域内,设其中心为 x_0 ,对每一个像素点 $\{x_i\}_{i=1 \dots n}$,分别计算每个特征的概率值,这就是建立了目标区域的特征模型,如式(7)所示:

$$H = \cos^{-1} \frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \quad (4)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R+G+B} \min(R, G, B) \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad (6)$$

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{x_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i - u)] \quad (7)$$

式中,由于遮挡或背景造成的干扰,距离 x_0 近的样本点比远处的更可靠.因此,核函数 $k(x)$ 赋给近 x_0 像素较大权值,远 x_0 像素较小权值. $\delta[b(x_i) - u]$ 用于判断 x_i 是否属于第 u 个 bin,若属于,函数值为 1;若不属于,函数值为 0. C 是归一化系数,取值如式(8)、(9)所示:

$$\sum_{u=1}^m q_u = 1 \quad (8)$$

$$C = \frac{1}{k_1 + k_2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{x_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (9)$$

用同样的方法建立候选区域的特征模型:在中心坐标为 y 的候选区域内,对所有像素点 $\{x_i\}_{i=1 \dots n}$,计算特征值 $u = 1 \dots m$ 的概率密度,概率密度及归一化系数如式(10)、(11)所示:

$$\hat{p}_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{n_h} k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i) - u] \quad (10)$$

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_h} k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (11)$$

(2) 目标区域与候选区域的相似性度量

使用的如式(12)所示的 Bhattacharyya 系数进行相似性度量:

$$\rho(p, q) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u} \quad (12)$$

ρ 值越大,说明相似性越强.首先以前一帧目标中心 y_0 作为当前帧初始中心,寻找使 ρ 值最大的区域.在中心 y_0 处进行泰勒展开:

$$\rho(p, q) = \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y_0) \hat{q}_u} + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^{n_h} \omega_i k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \quad (13)$$

式中,

$$\omega_i = \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(y_0)}} \delta[b(x_i) - u] \quad (14)$$

式中,只有第二项随 y 变化,令

$$f_{n,K} = \sum_{i=1}^{n_h} \frac{C_h}{2} \omega_i k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \quad (15)$$

令 ρ 最大即是令 $f_{n,K}$ 最大,其极大化的过程通过从 y_0 向 y 的 MeanShift 迭代过程实现.在用 MeanShift 算法进行跟踪的过程中,每一步迭代,都会使跟踪目标区域的中心位置由 y_0 向新位置 y_i 偏移,如式(16)所示,计算 Mean Shift 向量,即 y_0 向 y_i 移动的向量:

$$y_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (y - x_i) \omega_i g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_h} \omega_i g \left(\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} + y_0 \quad (16)$$

在这个过程中,满足条件:

$$\|y_i - y_0\| < \epsilon \quad (17)$$

则收敛,终止迭代,若不符合条件,则返回重新开始.

4 针对遮挡问题的改进跟踪算法

本文提出通过将改进的 MeanShift 算法结合 Kalman 滤波的预测功能解决遮挡问题的方法, Kalman 滤波通过质心的移动速度与上一帧质心的坐标完成对当前帧目标位置的预测.

kalman 滤波的跟踪原理^[10]是,根据仪器当前对跟踪目标的“观测量”,上一刻对于跟踪目标运动信息预测的“状态量”,以及测量误差与预测误差,得到跟踪目标当前运动信息的最优解,并为下一刻的状态量预测提供数据.

首先,根据上一刻状态量(质心坐标,移动距离)预测当前状态量.

$$X(k|k-1) = AX(k-1|k-1) + BU(k) + W(k) \quad (18)$$

$$Z(k) = HX(k) + V(k) \quad (19)$$

式中, $X(k)$ 代表 k 时刻系统的状态, $Z(k)$ 是 k 时刻系统的测量值, $W(k)$ 和 $V(k)$ 是其对应的噪声. $X(k|k-1)$ 是利用上一刻状态预测的状态量, $X(k-1|k-1)$ 是上一刻 kalman 滤波器计算出的状态最优解.

$$P(k|k-1) = AP(k-1|k-1)A^T + Q \quad (20)$$

如式(20)所示, $P(k|k-1)$ 是 $X(k|k-1)$ 对应的偏差, $P(k-1|k-1)$ 是 $X(k-1|k-1)$ 对应的偏差, Q 是系统过程的偏差,式(18)、(20)是对系统状态的预测方程.

根据预测当前状态量与当前观测量,可得到当前的最优估计状态量 $X(k|k)$:

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K_g(k)(Z(k) -$$

$$HX(k|k-1)) \quad (21)$$

式中, K_g 为 kalman 增益, 通过式(22) 计算.

$$K_g(k) = \frac{P(k|k-1)H^T}{HP(k|k-1)H^T + R} \quad (22)$$

已经得到了 k 时刻的最优估计状态量 $X(k|k)$, 还要更新当前偏差 $P(k|k)$:

$$P(k|k) = (I - K_g(k)H)P(k|k-1) \quad (23)$$

当系统进入 $k+1$ 时刻, $P(k|k)$ 就是式(20) 中的 $P(k-1|k-1)$. 这样, 算法就可以自回归地运算下去.

定义目标的状态向量和观测向量分别如式(24)、(25) 所示:

$$X_{k|k} = [x_{k|k}, y_{k|k}, v_{x_{k|k}}, v_{y_{k|k}}]^T \quad (24)$$

$$Z_{k|k} = [x_{k|k}, y_{k|k}]^T \quad (25)$$

式中, $x_{k|k}$ 和 $y_{k|k}$ 为质心在像素坐标系上的坐标, $v_{x_{k|k}}$ 和 $v_{y_{k|k}}$ 则代表目标在 x 、 y 方向的速度. 设当前帧质心用 $poi2$ 表示, 上一帧质心用 $poi1$ 表示, 则有:

$$v_{x_{k|k}} = poi2.x - poi1.x \quad (26)$$

$$v_{y_{k|k}} = poi2.y - poi1.y \quad (27)$$

Kalman 滤波器的建模完成后, 将其预测和更新的过程与 MeanShift 跟踪算法相结合:

(1) 首先当前帧手动选取目标区域, 建立其颜色概率模型, 根据图像矩计算目标的初始质心坐标, 确定 Kalman 滤波器的初始状态量 (x, y, dx, dy) , 同时初始化其他必要的参数.

(2) 初始化结束后, 用 Kalman 滤波预测下一帧中目标的质心坐标, 进行初步定位.

(3) 到达下一帧, 使用 MeanShift 算法进行特征匹配, 从上一帧中 Kalman 滤波器预测出的质心坐标所在区域为起始, 计算目标模板的颜色模型与当前帧各个候选区域的相似度, 迭代进行, 直至收敛, 得到当前帧的真实质心坐标.

(4) 当前帧得到的质心坐标还要作为观测量, 更新修正 Kalman 滤波器, 为下一帧的先验估计提供数据.

(5) 修正后的 Kalman 滤波器再次重复步骤(2) 到步骤(4), 循环往复, 就实现了对整个视频中目标的视觉跟踪.

5 实验结果与分析

使用 Visual Studio 以及 OpenCV3.3 对相机拍摄的视频进行目标选取与后续跟踪处理. 对比常用的结合 Kalman 滤波的 Camshift 算法与本文提出的结合 Kalman 滤波的改进 MeanShift 算法的跟踪

效果.

实验中, 目标物体体积小, 颜色为黑色, 与背景颜色相近, 极易产生干扰, 跟踪难度较大. 如图 2, 是将 Kalman 预测与 Camshift 算法相结合对目标进行跟踪的实验结果, 图 3 是将 Kalman 预测与本文提出的改进 MeanShift 算法相结合跟踪目标的实验结果, 其中, 五幅图片分别是目标被选定、正常情况下的平稳跟踪、目标遭遇轻度遮挡、目标表面被严重遮挡以及遮挡结束后的跟踪效果.



图2 结合 Kalman 滤波的 Camshift 算法的跟踪实验



图3 结合 Kalman 滤波的改进 MeanShift 算法跟踪实验

对图 2 的跟踪效果进行分析: 正常情况下, Camshift 算法平稳跟踪, 目标被部分遮挡时, Camshift 算法自适应调整搜索框尺度, 但当目标被严重遮挡后, 算法跟踪受到颜色相近物体的干扰, 搜索目标转移, 跟踪出错, 一直持续到遮挡结束也无法自适应调整. 这是由 Camshift 的算法特性决定的, Camshift 算法虽然也是以 HSV 颜色空间进行特征提取, 但它是根据上一帧的颜色模型迭代匹配得到当

前帧的质心坐标的,因此,一旦由于颜色干扰导致跟踪目标偏移,后续就很难自适应调整回来.在这一点上,MeanShift 算法更具有优越性,因为它始终是以最初建立的颜色模型作为匹配目标进行跟踪的.分析图 3 的跟踪效果可以看出:正常情况下,改进算法能够稳定准确跟踪,目标被遮挡时,Kalman 滤波发挥其预测效果,无论部分遮挡还是严重遮挡,搜索框都稳定移动到目标所在处,直到遮挡结束,始终锁定目标,没有受到颜色干扰和遮挡影响.

6 结束语

针对无人机跟踪过程中复杂环境引发的颜色干扰及遮挡问题,本文提出了基于 MeanShift 跟踪算法的改进算法,将 MeanShift 算法的跟踪特征改为 HSV 颜色空间中色调分量的颜色概率分布图,并结合 Kalman 滤波的预测功能进行跟踪.实验结果表明,相对于传统 CamShift 算法融合 Kalman 滤波的算法,该算法能更好地应对跟踪过程中遭遇的颜色干扰及目标遮挡问题.

参考文献:

- [1] GAO W. Research on Target Tracking Technology of Airborne Optoelectronic Platform [D]. Changchun: Changchun Institute of Optoelectronics, Chinese Academy of Sciences, 2012.
- [2] DONG M F. Research on target tracking algorithm based on image saliency detection[D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [3] LIEN S F, HSIA K H, SU J P. Moving Target Tracking based on CamShift Approach and Kalman Filter[J]. Applied Mathematics & Information Sciences, 2015, 9(1):395-401.

- [4] FUKUNAGA K, HOATETLER L. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21(1):32-40.
- [5] CHENG Y. Mean shift, mode seeking, and clustering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 17(8):790-799.
- [6] LU X J. Research on moving target detection and tracking algorithm [D]. Suzhou: Suzhou University, 2011.
- [7] HILL B, ROGER T, VORHAGEN F W. Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula [J]. ACM Transactions on Graphics, 1997, 16(2): 109-154.
- [8] HE Q. Research on Moving Target Tracking Method Based on Image Sequence[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.
- [9] HE Y J, LI G X. Face detection tracking and feature point positioning system[J]. Electronic Design Engineering, 2012(8):189-192.
- [10] KALMAN R E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems[J]. Journal of Basic Engineering, 1960, 82(1):35-37.

作者简介:

卢艳军 女,(1968-),博士,副教授.研究方向为自主飞行控制技术和测试技术.

王诗宇(通讯作者) 女,(1995-),硕士研究生.研究方向为智能控制与嵌入式系统. E-mail:894625903@qq.com.

张太宁 男,(1985-),博士,讲师.研究方向为算法工程化.

赵为平 男,(1969-),博士,副教授.研究方向为无人机飞控技术.

(上接第 77 页)

- [9] HE K, SUN J, TANG X. Guided image filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6): 1397-1409.
- [10] CHENG Z, ZHANG D, XU Y. Research of polarized image defogging technique based on dark channel priori and guided filtering[J]. Procedia Computer Science, 2018(131):289-294.
- [11] DIAZ RAMIREZ V H, HERNANDEZ BELTRAN J E, JUAREZ SALAZAR R. Real-time haze removal in monocular images using locally adaptive processing [J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2017 (7):1-15.

作者简介:

何立风 男,(1963-),博士,教授,博士生导师.研究方向为模式识别、图像处理. E-mail: 1806035@sust.edu.cn.

周广彬 男,(1996-),硕士研究生.研究方向为图像处理、深度学习.

姚 斌 男,(1981-),博士研究生,副教授.研究方向为图像处理、图像特征提取.

赵 晓 女,(1978-),博士,副教授.研究方向为模式识别、图像处理.

李 笑 女,(1996-),硕士研究生.研究方向为计算机应用技术、图像处理.