

基于 Kalman 滤波器和改进 Camshift 算法的双眼跟踪

王 丽, 郝晓丽

(太原理工大学 计算机科学与技术学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 针对目前的人眼跟踪方法对人脸尺度变化、人眼部分遮挡和头部旋转等情况过于敏感, 经常因丢失目标而导致跟踪失败, 提出一种综合运用 Kalman 滤波器和改进 Camshift 算法的双眼跟踪方法, 该方法首先运用 Kalman 滤波器预测双眼在当前帧图像中的位置; 其次以该位置为中心运用改进 Camshift 迭代算法搜索双眼目标; 再利用双眼分布的对称性校正搜索到的双眼窗口; 最后更新 Kalman 滤波器和人眼模板. 实验证明该方法对上述情况具有较强的鲁棒性.

关键词: 人眼检测; Kalman 滤波; 改进 Camshift 算法; 双眼跟踪

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)06-0109-04

Eyes Tracking Method Based on Kalman Filter and Camshift Algorithm

WANG Li, HAO Xiao-li

(College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of the current eye tracking methods were too sensitive to conditions that face scale variations, partial occlusion of eye and head rotations in horizontality and verticality, which often resulted in tracking failure for the loss of objects. One eyes tracking method was proposed that was based on Kalman filter and improved Camshift algorithm. Firstly, predict the position of the eyes in the current image by Kalman filter; secondly, search the eyes region by Camshift iteration algorithm at the center of predicted position; thirdly, adjust the search window in the light of the symmetry of the eyes; finally, update Kalman filter and the eyes templates. The experimental results show this method is robustness to those proposed conditions.

Key words: Eye detection; Kalman filter; Improved Camshift algorithm; Eyes tracking

1 引言

目标跟踪技术是模式识别、机器视觉和人机交互领域的重要课题^[1], 目前目标跟踪算法已经可以在视频序列图像中区分对象, 获取目标的位置、运动速度和方向等运动状态. 人眼跟踪作为目标跟踪的一个特例, 它具有广泛的应用, 例如疲劳驾驶检测^[2]、表情识别^[3]等.

目前常用的人眼跟踪方法包括模板匹配、粒子滤波器、Meanshift 算法、Camshift 算法及其改进算法等等. 刘春辉等人^[4]提出一种基于模板匹配和

LK 的人眼跟踪算法, 郭君斌等人^[5]利用 Galerkin 投影法产生质量较高的粒子并将 BP 神经网络引入粒子滤波器中, 但该方法计算量大, 时间复杂度高, 难以达到实时性要求. 陈艳琴等人^[6]提出一种综合运用 Kalman 滤波和 Meanshift 算法的人眼跟踪算法, 当人脸尺度发生变化时难以实现有效地人眼跟踪. 李振龙等人提出一种基于 Camshift 算法的虹膜跟踪方法^[7-9], 该方法对于闭眼和眼睑遮挡都能达到较好跟踪效果, 但 Camshift 算法本身没有预测模块, 当头部出现大幅度移动或旋转时, 跟踪效果严重下降.

收稿日期: 2015-09-02; **修回日期:** 2015-10-22

基金项目: 山西省基础研究项目(2013011016-3)

针对上述问题,本文结合基于运动的方法和基于模型的方法提出一种基于 Kalman 滤波器和改进 Camshift 算法的双眼跟踪方法,如图 1 所示。

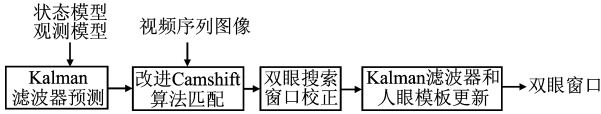


图 1 双眼跟踪方法框图

2 Camshift 算法及其改进

2.1 传统的 Camshift 算法

Camshift 是一种基于颜色分布特征的跟踪算法,其核心思想是利用迭代运算在视频序列图像中寻找与目标模板的颜色特征分布最相似的潜在目标,具体步骤如下所示。

(1) 读取一帧图像,提取 HSV 三通道图像的 H 通道,选取大小为 s 的搜索窗口,反向投影获得目标在搜索窗口的离散二维颜色概率投影图,即目标模板。

(2) 利用 Meanshift 算法获取目标的最优搜索窗口。

① 在搜索窗口内计算目标的质心位置 (x_c, y_c) ,

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (1)$$

式中, M_{00} 为搜索窗口的零阶矩, M_{01} 、 M_{10} 为搜索窗口的一阶矩, $M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y)$, $M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x, y)$, $M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x, y)$, $I(x, y)$ 是位置 (x, y) 处的像素值,位置 (x, y) 变化范围为搜索窗口的范围 s 。

② 将搜索窗口中心位置移动至质心位置;

③ 重复步骤 ①、② 直到收敛。

(3) 自适应调整搜索窗口的长 l 、宽 w 和方向 θ 。

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

$$w = \sqrt{\frac{(a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}} \quad (3)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{b}{a-c}\right) \quad (4)$$

式中, $a = \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2$, $b = 2\left(\frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c\right)$, $c = \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2$, M_{02} 、 M_{11} 、 M_{20} 为搜索窗口的二阶矩, $M_{11} = \sum_x \sum_y xyI(x, y)$, $M_{20} = \sum_x \sum_y x^2 I(x, y)$, $M_{02} = \sum_x \sum_y y^2 I(x, y)$ 。

Camshift 算法计算简单,对平移、尺度变化、旋转和部分遮挡具有鲁棒性,并且可以快速高效地跟踪目标,但该算法没有预测模块,当目标出现大幅度移动或旋转时,跟踪效果会严重下降,而且当目标与所处背景颜色相近或者目标存在严重遮挡时,则很容易丢失目标,本文针对这些缺点进行了改进,如图 2 所示。

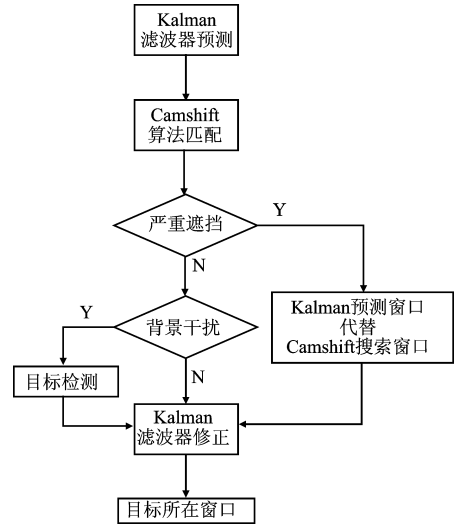


图 2 改进 Camshift 算法流程图

2.2 Kalman 滤波器和改进 Camshift 算法

由于 Camshift 算法本身没有预测模块,本文将 Kalman 滤波器引入到 Camshift 算法中。Kalman 滤波器是一个在误差协方差最小准则下的最优估计算法,通过实际的运动参数不断地修正未来运动状态进而提高估计的准确性。

Kalman 滤波器主要包含系统状态方程和系统观测方程。

系统状态方程为

$$\mathbf{X}_k = \mathbf{A}\mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{w}_k \quad (5)$$

式中, $\mathbf{X}_k$ 是目标在 k 时刻的状态向量,其可以表示为位置和速度,假设 (x_k, y_k) 表示 k 时刻目标的位置, (v_{kx}, v_{ky}) 表示 k 时刻目标在水平和垂直方向的速度,则 $\mathbf{X}_k = (x_k, y_k, v_{kx}, v_{ky})^T$; $\mathbf{A}$ 是状态转移矩阵,

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 由于视频序列中相邻两帧图}$$

像时间间隔较短,通常假设目标作匀速运动, Δt 为相邻两帧图像之间的时间间隔; $\mathbf{w}_k$ 是系统噪声。

系统的观测方程为

$$\mathbf{Z}_k = \mathbf{H}\mathbf{X}_k + \mathbf{v}_k \quad (6)$$

式中, $\mathbf{Z}_k$ 是目标在 k 时刻的观测向量, $\mathbf{Z}_k =$

$(x_k, y_k)^T; \mathbf{H}$ 是观测矩阵, 由于 $\mathbf{Z}_k$ 只与位置有关, 所以 $\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$; v_k 为观测噪声。

Kalman 滤波器是一个不断“预测 - 修正”的递推过程, 如图 3 所示。在目标跟踪过程中, 给定状态模型和观测模型等一些初始条件后, 就可以根据当前时刻的目标状态向量 $\hat{\mathbf{x}}_k$ 和修正误差协方差矩阵 $\mathbf{P}_k$ 预测下一时刻目标状态向量 $\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^-$ 和协方差矩阵 $\mathbf{P}_{k+1}^-$ 。

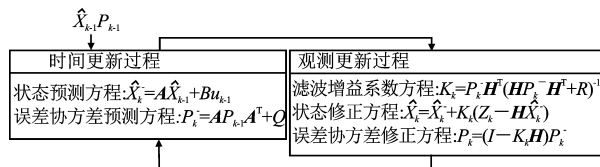


图 3 Kalman 滤波器过程示意图

然而当目标颜色与背景相近或目标出现大面积遮挡时, 仅依靠 Kalman 滤波器和 Camshift 算法仍然很容易丢失目标, 本文改进了 Camshift 算法。根据搜索窗口与目标窗口的大小分别加以处理, 假设目标窗口大小为 `object_area`, 搜索窗口大小为 `search_area`。

①当 $\text{search_area}/\text{object_area} < \alpha$ 时, 表示搜索到的目标窗口太小, 目标出现大面积遮挡, 此时将搜索窗口移动至 Kalman 滤波器预测位置。

②当 $\text{search_area}/\text{object_area} > \beta$ 时, 表示搜索到的目标窗口太大, 背景区域在目标跟踪过程中产生干扰, 此时应重新确定目标(即进行目标检测)。

③当 $\alpha < \text{search_area}/\text{object_area} < \beta$, 表示搜索到的窗口即为目标所在区域。

3 基于 Kalman 滤波器和改进 Cam-shift 算法的双眼跟踪

在目标跟踪过程中, 搜索窗口的大小会直接影响跟踪效果。搜索窗口太大, 则会增加许多干扰因素并延长搜索时间; 搜索窗口太小, 则因特征不明显导致跟踪效果不尽理想。目前已有的人眼跟踪大都针对单个眼睛进行, 然而人眼区域在整个视频序列图像中所占面积很小, 不同人的眼睛大小不一, 同一个人的眼睛在睁开和闭合情况下特征变化也会非常明显, 这无疑增加了人眼跟踪的难度。考虑到人的双眼不管如何移动和变化, 它们具有对称性和相对不变性, 因此本文提出一种基于 Kalman 滤波器和改进 Camshift 算法的双眼跟踪方法, 具体步骤如下所示。

(1) 人眼检测。为了解决人眼跟踪半自动化问题, 首先必须精确检测人眼。传统的基于 Adaboost 的人眼检测算法误检率较高, 为了有效提高人眼跟踪的时间效率和减小人眼跟踪的代价, 本文采用三层结构 Adaboost 分类器对视频序列的初始帧图像进行人眼检测(即人脸-双眼-人眼检测), 如图 4 所示。该方法不仅有效保持了较高的检测率, 并抑制了误检率。



图 4 三层结构 Adaboost 分类器

(2) 获取人眼模板。将检测到的双眼区域转换为 HSV 颜色空间, 分别计算双眼、左眼、右眼的 H 通道直方图, 即获取人眼模板。

(3) Kalman 滤波器预测。初始化 Kalman 滤波器的状态模型和观测模型, 将检测到的双眼模板和双眼质心位置作为初始目标和初始状态, 预测双眼在下一帧图像中的位置和协方差矩阵。

(4) 改进 Camshift 算法匹配。将 Kalman 滤波器的预测值作为改进 Camshift 跟踪算法的初始值进行迭代, 搜索出与双眼模板颜色特征分布最相似的潜在目标(双眼)。

(5) 搜索窗口校正。根据双眼分布的对称性, 将搜索到的双眼区域一分为二, 分别利用左、右眼模板计算左、右搜索区域的质心位置 (x_l, y_l) 、 (x_r, y_r) , 校正搜索区域中心位置为 (x_c, y_c) 。其中, $x_c = \lfloor \frac{x_l + x_r}{2} \rfloor$, $y_c = \lfloor \frac{y_l + y_r}{2} \rfloor$ 。

(6) 更新。更新 Kalman 滤波器的状态和人眼模板, 并输出双眼窗口。

4 实验结果与分析

本文实验运行环境为 Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU@3.40 GHz, 8.00 GB 内存, Window7 操作系统, 在 Visual Studio 2012 和 opencv3.0 平台上进行了实验。分别对基于 Kalman 滤波器和传统 Camshift 算法、本文算法进行双眼跟踪。实验表明本文提出的双眼跟踪方法在跟踪效果和实时性方面都表现很好。

将本文算法应用于多个人的部分跟踪结果, 可

以看出当双眼出现大幅度的移动时,本文算法也可以准确跟踪得到. 由于没有标准的视频库进行人眼跟踪测试,本文录制了一段包含部分遮挡、人脸尺度变化和旋转的视频,图 5 显示了部分跟踪结果,其中(a)~(c)反映了双眼处于微睁、闭眼和部分遮挡的

情况;(d)反映了双眼尺度变化情况;(e)~(f)反映了双眼水平旋转情况;(g)~(h)反映了双眼垂直旋转情况,实验证明本文提出的方法对双眼所处的各种情况都可以准确跟踪得到.

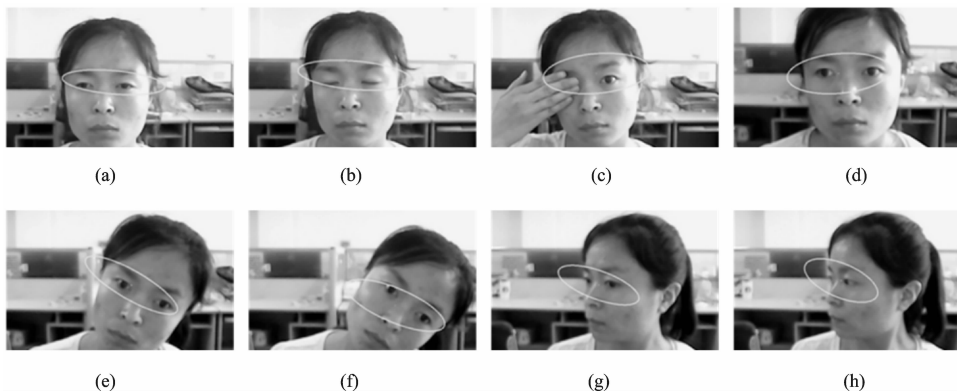


图 5 部分双眼跟踪结果

为了充分验证本文提出的双眼跟踪方法的准确性,本实验采用 Jesorsky 等人的度量标准^[10]来定义错误率:

$$d = \frac{\max(\|c_l - c_l'\|, \|c_r - c_r'\|)}{\|c_l - c_r\|} \quad (7)$$

式中, c_l 、 c_r 分别为手工标注左右人眼位置, c_l' 、 c_r' 为跟踪到的左、右人眼质心位置, d 越小表示跟踪越精确. 本文将 $d = 0.25$ 作为跟踪正确与否的标准, 当 $d < 0.25$, 则认为跟踪正确, 否则跟踪错误. 本文方法对自制视频的正确跟踪率达到 85.7%.

5 结束语

本文提出一种基于 Kalman 滤波器和改进 Camshift 算法的双眼跟踪方法, 根据双眼颜色分布特征在预测的邻域范围内进行目标搜索, 并利用双眼分布的对称性和相对不变性对搜索到的双眼窗口进行校正. 该方法计算简单, 跟踪时间短, 对人脸尺度变化、人眼部分遮挡和头部旋转都有较强的鲁棒性, 在人眼微睁甚至完全闭合的情况下也可以准确跟踪到. 但在整个跟踪过程中, 仅仅依靠颜色分布特征进行目标匹配有可能跟踪到无关物体, 今后的工作可以将目标的形状因素加入到目标匹配过程中以便更准确地跟踪.

参考文献:

- [1] Murawski K, Ró4anowski K, Krej M. Research and parameter optimization of the pattern recognition algorithm for the eye tracking infrared sensor[J]. Acta

Physica Polonica, 2013, 124(3):513-516.

- [2] 杨智勇, 蒲亦非, 巩晓倩, 等. 疲劳驾驶检测中人眼实时定位与跟踪[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(8): 115-118.
- [3] Wang L S, Xie Y. Attention bias during processing of facial expressions in trait anxiety: An eye-tracking study[C]// Electronics and Optoelectronics (ICEOE), 2011 International Conference on. Dalian: IEEE, 2011:347-350.
- [4] 刘春辉. 基于模板匹配和 LK 的人眼跟踪研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [5] 郭君斌, 郭晓松, 雷磊, 等. 基于改进粒子滤波算法的人眼跟踪方法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(8):1720-1725.
- [6] 陈艳琴, 罗大庸. 基于 Kalman 滤波和 Mean Shift 算法的人眼实时跟踪[J]. 模式识别与人工智能, 2004, 17(2):173-177.
- [7] 李振龙, 李翔, 秦佳丽. 基于 Camshift 算法的虹膜实时跟踪[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(13):225-230.
- [8] Jesorsky O, Kirchberg K J, Frischholz R W. Robust face detection using the hausdorff distance[C]// third international conference AVBPA. Halmstal, Sweden: IEEE, 2001:90-95.

作者简介:

王 丽 女, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为图像处理与模式识别. E-mail: 1175849908@qq.com.

郝晓丽 女, (1973-), 博士, 副教授. 研究方向为图像处理与模式识别、智能信息处理等.