

疲劳驾驶检测中人眼实时定位与跟踪

杨智勇, 蒲亦非, 巩晓倩, 周激流

(四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 针对疲劳驾驶检测中现存的一些难点, 提出了一种新颖的驾驶员眼睛定位与跟踪方法. 首先采用 Gamma 校正和图像自商算法对红外光源采集到的驾驶员行车图像进行预处理, 进而采用基于 Haar-like 特征的 AdaBoost 算法初定位驾驶员眼眉区域, 并在此基础上采用眼眉区域 15 点 ASM(Active Shape Models)模型来准确定位驾驶员的眼睛区域, 最后采用了 Unscented 卡尔曼滤波算法完成驾驶员眼睛的实时跟踪. 实验结果表明, 该算法不仅可以提高对光照、姿态变化以及驾驶员眼睛运动的强非线性问题的鲁棒性, 同时对驾驶员配戴眼镜的情况也能得到较为理想的处理结果.

关键词: AdaBoost; ASM; 人眼跟踪; Unscented 卡尔曼滤波; 疲劳驾驶

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)08-0115-04

Eye Location and Tracking for Fatigue Driving Detection

YANG Zhi-yong, PU Yi-fei, GONG Xiao-qian, ZHOU Ji-liu

(School of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In view of some of the difficulties existing in fatigue driving detection, this paper proposes a novel method for drivers' eyes location and tracking. Firstly we uses Gamma and SQI(Self Quotient Image) algorithm to process images, which obtained by infrared light, then locate the brow area by AdaBoost algorithm, and on this basis, with the brow area 15 points ASM (Active Shape Models) model to accurately locate driver's eye area, finally the unscented kalman filter algorithm is adopted to drivers' eyes tracking. The experimental results show that the algorithm introduced can not only improve the robustness of the illumination, pose transformation, and driver's eye's strongly nonlinear movement, but also get ideal result, even if the driver wearing glasses.

Key words: AdaBoost; ASM; eye tracking; Unscented Kalman filter; fatigue driving

1 引言

疲劳驾驶已成为导致交通事故的重要原因之一. 因此疲劳驾驶检测相关技术的研究有着重要的现实意义. 目前, 比较流行的人眼定位算法主要分为基于先验知识的方法和基于统计学习的方法两大类. 基于先验知识的方法主要包括模板匹配法^[1]和积分投影法^[2]等, 比较简单, 但对眼区眉毛或光线变化比较敏感, 对头部运动等情况的适用性也不好; 基于统计学习的方法主要包括 AdaBoost 算

法^[3]和支持向量机法 SVM^[4]等, 这些方法通过训练大量人眼样本和非人眼样本得到一组模型参数, 然后基于模型构建出分类器或者滤波器来进行人眼检测, 具有较强的鲁棒性, 但前提是要进行大量的样本训练.

本文提出了一种将人眼检测与人眼跟踪相结合的驾驶员眼睛定位算法. 考虑到驾驶员疲劳驾驶检测应当满足全天候、全时段工作的特性, 本文采用了主动红外光源的方式, 通过在普通摄像头上加装滤光片来实时获取红外行车图像, 算法总体流程图如

收稿日期: 2013-09-29; **修回日期:** 2013-11-15

基金项目: 国家自然科学基金(60972131); 四川省科技支撑计划项目(2012RZ0005); 法中科学与应用基金(FFCSA); 四川大学青年教师科研启动基金(2012SCU11036); 四川省重大科技成果转化项目(2012SC0043); 四川省科技创新苗子工程资助项目(20132032)

图 1 所示.

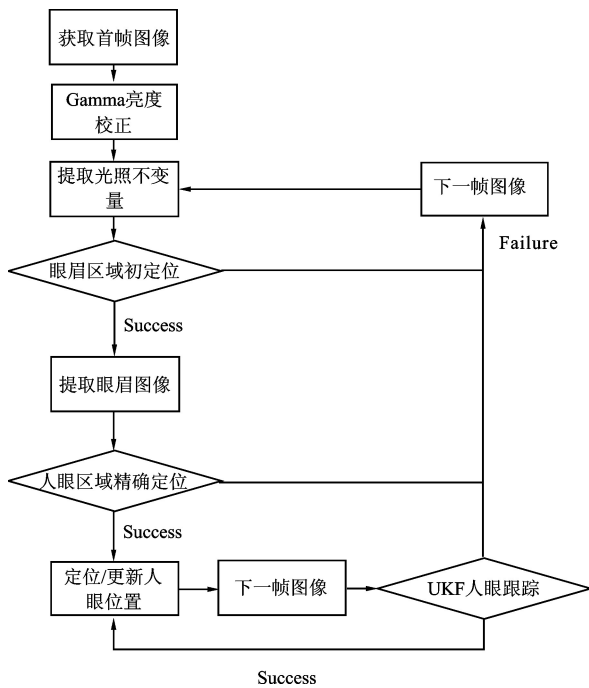


图 1 算法总体流程图

2 去光照预处理

为了提高检测算法对行车环境中快速光照变化的鲁棒性,我们采用自商图(Self Quotient Image, SQI)算法利用 Lambertian 光照模型从行车图像中提取光照不变量.同时针对 SQI 算法会在低信噪比区域放大高频噪声的问题,我们在提取光照不变量之前首先对行车图像进行 Gamma 亮度校正.

2.1 Gamma 亮度校正

Gamma 亮度校正是一种非线性的数字图像增强方法,它对图像的 Gamma 曲线进行编辑,检出图像信号中的深色部分和浅色部分,并增大其比例,从而提高图像的对比度. Shan 等人^[5]首先将其用于人脸识别领域.式(1)给出了 Gamma 校正的基本定义:

$$V_{out} = V_{in}^{\gamma} \quad (1)$$

式中, γ 是 Gamma 系数,一般的,当 Gamma 值大于 1 时,图像的高光部分被压缩而暗调部分被扩展,当 Gamma 值小于 1 时,图像的高光部分被扩展而暗调部分被压缩.本文算法中选取 Gamma 系数为 2.2,能够从一定程度上削减不同光照带来的影响.

2.2 提取光照不变量

据 Retinex 理论,物体的颜色是由物体对光线的反射能力决定的,而物体对光线的反射能力是物体本身的固有属性,与光源强度的绝对值没有依赖

关系.因此可以将图像 $S(x, y)$ 分解成两幅不同的图像:反射物体图像 $R(x, y)$ 和入射光图像 $L(x, y)$, 用公式可以表示为

$$S(x, y) = R(x, y) \cdot L(x, y) \quad (2)$$

Wang 等人^[6]则将光照 $L(x, y)$ 看做是图像的低频分量,并在此基础上提出了自商图像(Self Quotient Image, SQI)的定义:

$$R(x, y) = \frac{S(x, y)}{S(x, y)} = \frac{S(x, y)}{F * S(x, y)} \quad (3)$$

式中, $R(x, y)$ 为自商图, $S(x, y)$ 为原始图像, $S(x, y)$ 是 $S(x, y)$ 平滑后的图像, F 是滤波核.研究表明自商图算法能够有效消除阴影效应,对光照具有一定的鲁棒性.文献[7]就是将 Retinex 理论运用于红外图像的增强,取得了一定的效果.从行车过程中采集到的两幅不同光照条件下的人脸图像以及处理得到的自商图像,可以看出,两幅在不同光照条件下获取的人脸图像,其自商图像之间的差别不大.

3 人眼定位

实际行车过程中,驾驶员一般会通过不断改变头部姿态来获取实时行车环境信息,因此为了提高对驾驶员头部姿态变化的容忍度,我们采用分层的思想进行驾驶员眼睛定位.第一步,我们使用基于 Haar-like 特征的级联 AdaBoost 算法,采取左右眼相结合的策略来完成驾驶员眼眉区域的初定位;第二步,在第一步的基础上采用改进的眼眉区域 15 点 ASM 模型完成驾驶员眼睛区域的准确定位,同时去除眉毛影响.

3.1 眼眉区域初定位

简单 Haar-like 特征已经被广泛应用于目标的检测与识别领域,其基本思想是级联大量弱分类器来构成一个强分类器,使其具有较强的分类能力,并在级联过程中提高分类能力较好的弱分类器的权重,降低分类能力较差的弱分类器所占的权重,通过大量的循环比较自动产生出最终目标分类器,从而得到较强的分类能力.其级联检测器结构如图 2 所示.

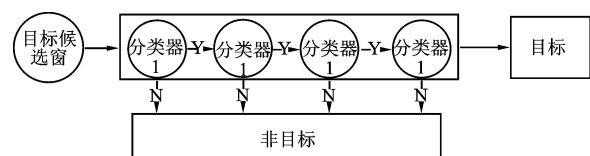


图 2 级联检测器结构图

AdaBoost 算法中采用了如图 3 所示的 2 类

Haar 特征,用白块中像素灰度之和减去黑块中像素灰度之和得到特征值,并对应于二维 Haar 小波变换的系数.人脸眼眉区域的灰度变化比较明显,因此用 Haar 特征来做分类非常合适.

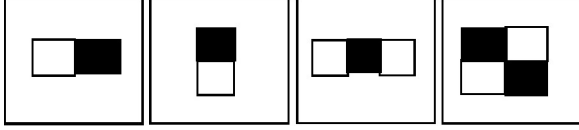


图 3 Haar 特征图

同时,AdaBoost 算法引入了积分图思想来计算 Haar 特征值,提高了处理速度,积分图公式为

$$f(x, y) = \sum_{a \leq x, y \leq b} I(a, b) \quad (4)$$

式中, $I(a, b)$ 表示原图像中像素点 (a, b) 的取值, $f(x, y)$ 表示积分图中像素点 (x, y) 的取值.

考虑到在增加对驾驶员头部姿态变化容忍度的同时提高检测的准确度,本文分别采用 OpenCV 中收录的左右眼睛单眼检测器来进行驾驶员眼眉区域的检测,测试表明,OpenCV 中的双眼检测器在人脸倾斜 5° 以上就会失效,本文的检测策略由于分别使用了左右眼单眼检测器,可以容忍驾驶员脸部最多可到 30° 的倾斜.

3.2 人眼区域精确定位

为了能从既得眼眉区域定位图中准确分离出眼睛所在的部分,本文以传统 ASM 算法^[7]思想为基础,在目标图像中取左右眼眉部分各 15 个点作为控制眼眉形状的标定点,通过大量训练得到新的 15 点 ASM 模型,如图 4 所示.

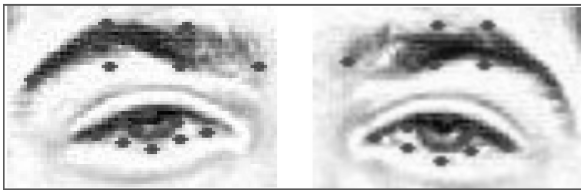


图 4 左、右眼眉区域 ASM 模型

训练样本来自于南非开普敦大学的 MUCT 人脸数据库,包含 3 755 幅不同亮度、年龄及种族的人脸图像.训练过程中首先建立形状模型,使用训练样本中每个标定点的横纵坐标表示其形状向量 $\mathbf{x}_i$:

$$\mathbf{x}_i = (x_{i0}, y_{i0}, x_{i1}, y_{i1}, \dots, x_{ik}, y_{ik}, \dots, x_{i(n-1)}, y_{i(n-1)}) \quad (5)$$

对齐操作后,利用主成分分析法(principal component analysis, PCA)建立形状模型:

$$\mathbf{X} = \bar{\mathbf{X}} + \mathbf{P}\mathbf{b} \quad (6)$$

式中, $\bar{\mathbf{X}}$ 是训练样本的平均形状, $\mathbf{P}$ 表示前 t 个最大特征值向量, $\mathbf{b}$ 为主分量参数.

建立局部纹理模型时,将第 i 个训练样本中的第 j 个特征点的灰度值表示成向量:

$$\mathbf{h}_{ij} = (h_{ij0}, \dots, h_{ij(n_p-1)}) \quad (7)$$

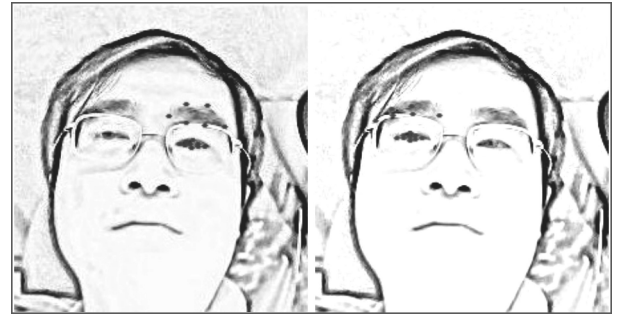
计算灰度沿法线方向的导数,对齐进行规格化处理,得到协方差矩阵:

$$\mathbf{C}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (\mathbf{g}_{ij} - \bar{\mathbf{g}}_i)(\mathbf{g}_{ij} - \bar{\mathbf{g}}_i)^T \quad (8)$$

最后,计算候选点对应的标准化灰度导数向量 $\mathbf{g}_i$ 与平均标准化灰度导数向量的马氏距离 d :

$$d = (\mathbf{g}_i - \bar{\mathbf{g}}_i)^T \mathbf{C}_i^{-1} (\mathbf{g}_i - \bar{\mathbf{g}}_i) \quad (9)$$

利用马氏距离即可在目标搜索过程中确定最佳候选点,并完成目标的定位.图 5 所示为使用训练得到的眼眉区域 15 点 ASM 模型进行定位的效果.



(a)左眼

(b)右眼

图 5 15 点 ASM 模型定位效果

定位完成后我们便可以得到驾驶员眼睛区域的精确位置信息,为人眼跟踪提供可靠前提.

4 人眼跟踪

在疲劳驾驶检测中,针对实际行车过程中驾驶员眼睛的运动时具有强非线性的特点,本文在将卡尔曼滤波算法用于人眼跟踪的同时,引入了无迹(Unscented Transform, UT)变换,通过求取随机变量经过非线性变换后的统计特性,来回避非线性函数在线性化的过程中可能出现的误差,然后选择合适的 Sigma 点集来逼近驾驶员眼睛运动状态的后验概率密度,最终达到非线性跟踪的目的,能够有效提高跟踪的准确性和可靠性.

为了进一步提高检测速度,我们根据人眼具有对称性的特点,仅使用单只眼睛的位置信息来进行人眼区域跟踪.滤波算法步骤^[8]如下:

(1)状态初始化

$$\hat{\mathbf{x}}_0 = \mathbf{E}[\mathbf{x}_0] \quad (10)$$

$$\widehat{P}_0 = E[(x_0 - \widehat{x}_0)(x_0 - \widehat{x}_0)^T] \quad (11)$$

式中, $\widehat{x}_0$ 和 $\widehat{P}_0$ 为初始状态向量均值和方差.

(2) 计算 Sigma 点(采样点)的状态向量

$$\begin{aligned} \chi_k = & \\ & (x_{k|k}, x_{k|k} + \sqrt{(n+\lambda)P_{k|k}}, x_{k|k} - \sqrt{(n+\lambda)P_{k|k}}) \end{aligned} \quad (12)$$

式中, $k \in N$, x 为 UT 变换中的采样点集.

(3) 时间更新

$$\chi_{k+1|k} = f(\chi_{k|k}, u_k) \quad (13)$$

$$\chi_{k+1|k} = \sum_{i=0}^{2n} (W_i^m \chi_{i,k+1|k}) \quad (14)$$

式中, u_k 为控制向量, W_i^m 为一阶统计特性时的加权系数.

$$P_{k+1|k} = \sum_{i=0}^{2n} [W_i^c (\chi_{i,k+1|k} - \chi_{k+1|k})(\chi_{i,k+1|k} - \chi_{k+1|k})^T] + Q \quad (15)$$

$$\psi_{i,k+1|k} = h(\chi_{i,k+1|k}) \quad (16)$$

$$y_{k+1|k} = \sum_{i=0}^{2n} (W_i^m \psi_{i,k+1|k}) \quad (17)$$

式中, $P_{k+1|k}$ 为经过加权后的非线性函数的协方差; $\psi_{i,k+1|k}$ 为经 UT 变换后得到的非线性点集; $y_{k+1|k}$ 则是经过加权后的输出变量均值.

(4) 测量更新

$$P_{y_{k+1|k} y_{k+1|k}} = \sum_{i=0}^{2n} [W_i^c (\psi_{i,k+1|k} - y_{k+1|k})(\psi_{i,k+1|k} - y_{k+1|k})^T] + R \quad (18)$$

$$P_{x_{k+1|k} y_{k+1|k}} = \sum_{i=0}^{2n} [W_i^c (\chi_{i,k+1|k} - y_{k+1|k})(\psi_{i,k+1|k} - y_{k+1|k})^T] \quad (19)$$

式中, $P_{y_{k+1|k} y_{k+1|k}}$ 为预测输出变量的协方差; $P_{x_{k+1|k} y_{k+1|k}}$ 为输入变量的协方差.

$$K_{k+1} = P_{x_{k+1|k} y_{k+1|k}} P_{y_{k+1|k} y_{k+1|k}}^{-1} \quad (20)$$

$$x_{k+1|k+1} = x_{k+1|k} + K_{k+1} (y_{k+1} - y_{k+1|k}) \quad (21)$$

$$P_{k+1|k+1} = P_{k+1|k} - K_{k+1} P_{y_{k+1|k} y_{k+1|k}} K_{k+1}^T \quad (22)$$

此时,便得到了 Unscented 卡尔曼滤波在 k 时刻的滤波状态和方差,然后利用下列状态方程和测量方程即可构造滤波器对人眼进行跟踪.

$$x_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x_k + v_k \quad (23)$$

$$x_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x_k + n_k \quad (24)$$

图 6 为使用 Unscented 卡尔曼滤波算法对一段

长度为 300 帧的实际行车视频中驾驶员的眼睛进行跟踪的结果.

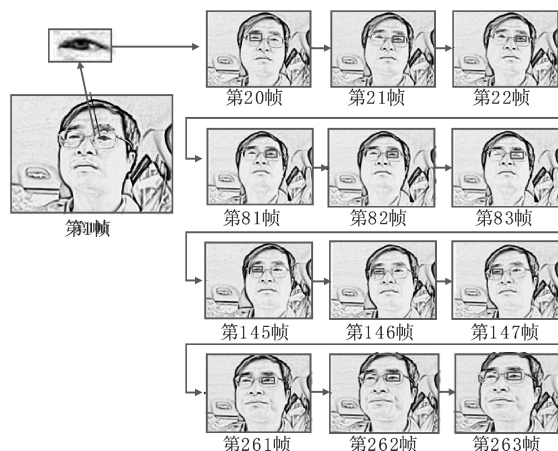


图 6 人眼跟踪结果

算法实时性分析结果如表 1 所示,其中,运行时间为由第 k 幅图像预测出第 $k+1$ 幅图像中眼睛位置所需要的时间.

表 1 算法实时性分析

图像帧	运行时间/s	图像帧	运行时间/s
001	4.352 30	083	0.042 64
020	0.040 26	145	0.041 50
021	0.040 10	146	0.040 86
022	0.043 01	147	0.041 03
081	0.039 85	261	0.040 55
082	0.041 15	262	0.041 36

由表 1 可知,使用本文算法所需时间小于平均状态下人们的视觉暂留时间(0.05~0.2 s),说明该算法实时性较好.

5 结束语

本文引入了 Gamma 亮度校正和自商图算法对行车视频进行预处理来解决光照变化的影响,同时采用基于 AdaBoost 的左右眼单眼检测策略和改进的眼眉区域 15 点 ASM 模型来完成对驾驶员眼睛区域的定位,效果比较理想.随后针对实际行车过程中驾驶员眼睛运动具有强非线性特点,采用了 Unscented 卡尔曼滤波算法来完成对驾驶员眼睛的非线性跟踪.

实验结果表明,本文算法可提高对光照、姿态变化以及驾驶员眼睛运动的强非线性问题的鲁棒性,针对驾驶员配戴眼镜的情况也能得到较为理想的处理效果.考虑到该算法最终要运用于嵌入式平台之上,进一步的算法优化将成为下一步工作的重点.

(下转第 122 页)

噪声或非噪声点, 进行去噪处理. 以峰值信噪比做为衡量实验效果的依据, 本算法效果明显; 加之支持向量机具有很好的泛化性, 本算法更具优越性.

参考文献:

- [1] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage [J]. Biometrika, 1994, 81 (3): 425-455.
- [2] Pizurica A, Philips W. Estimating the probability of the presence of a signal of interest in multiresolution single- and multiband image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15 (3): 645 - 665.
- [3] Luisier F, Blu T, Unser M. A new SURE approach to image denoising: interscale orthonormal wavelet thresholding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16 (3): 593 - 606.
- [4] 罗瑜, 于晓明, 王建文. 基于小波阈值的断层扫描图像去噪细化处理[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(10): 152-155.
- [5] Xiang-Yang Wang, Zhong-Kai Fu. A wavelet-based image denoising using least squares support vector ma-

chine[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2010(23): 862-871.

- [6] 吴昌东, 江桦. 基于提升小波的自适应阈值图像去噪方法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(12): 18-21.
- [7] 刘慧, 彭良玉. 基于贝叶斯阈值的多小波基联合去噪[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(7): 123-127.
- [8] 蔡政, 陶少华. 基于小波系数关系的图像去噪方法[J]. 计算机应用, 2011, 31(9): 2515-2517.
- [9] 史忠植, 王文杰. 人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

作者简介:

冯欣悦 女, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为图形图像处理、计算机视觉、软件工程.

杨秋翔 男, (1969-), 教授, 硕士生导师. 研究方向为网络安全、软件工程.

安雁艳 女, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为网络信息安全、图形图像处理;

范建华 女, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为计算机视觉、软件开发与测试;

杨剑 男, (1979-), 讲师, 博士. 研究方向为计算机视觉、网络安全.

(上接第 118 页)

参考文献:

- [1] Wang J, Yin L J. Detecting and tracking eyes through dynamic terrain feature matching[C]// Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, USA: IEEE, 2005: 78-85.
- [2] 耿新, 周志华, 陈世福. 基于混合投影函数的眼睛定位[J]. 软件学报, 2003, 14(8): 1394-1399.
- [3] Viola P, Jones M J. Robust real-time face detection [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137-154.
- [4] Hyungkeun Jee, Kyunghee Lee, Sungbum Pan. Eye and face detection using SVM[C]// Procs of the 2004 Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing. Melbourne, Australia: IEEE, 2004: 577-580.
- [5] Shan S G, Gao W, Cao B, et al. Illumination normalization for robust recognition against varying lighting

conditions [C] // Proceedings of IEEE International WorkShop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures. Nice, France: IEEE, 2003: 157-164.

- [6] Wang H T, Li S Z, Wang Y S. Face recognition under varying lighting conditions using self quotient image [C] // Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. [s. l.]: IEEE, 2004: 819-824.
- [7] Coates T F, Taylor C J, Cooper D H, et al. Active Shape Models—Their training and application [J]. Computer Vision and Image Understanding, 1995, 61 (1): 38-59.
- [8] Wan E A, Nelson A T. Kalman Filtering and Neural Networks[M]. New York: John & Sons, 2001.

作者简介:

杨智勇 男, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为图像处理;

蒲亦非 男, (1975-), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为分数阶微积分在信号处理中的应用、模式识别、图像处理.