

文章编号: 2095-2163(2023)06-0130-03

中图分类号: TM732

文献标志码: A

# 基于机器视觉的疲劳驾驶检测算法研究

王彦博, 张剑书, 孙新元

(南京工程学院 计算机工程学院, 南京 211167)

**摘要:** 本文基于机器视觉技术设计疲劳检测算法, 利用部署在车内的小型监控摄像头实现对驾驶人状态的实时监控; 通过分析驾驶人的眼部、嘴部状态和头部动作, 综合判断驾驶人的疲劳状态, 实现实时的疲劳驾驶检测和预警, 有助于规避驾驶过程中内部与外部的不安全因素, 保障驾驶安全。

**关键词:** 机器视觉; 疲劳检测; 实时监控; 驾驶安全

## Fatigue driving detection algorithm based on computer vision

WANG Yanbo, ZHANG Jianshu, SUN Xinyuan

(School of Computer Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

**【Abstract】** In this paper, a fatigue detection algorithm is designed based on computer vision technology. A surveillance camera deployed in the vehicle is used to realize the real-time monitoring of the driver's status. By analyzing the driver's eyes, mouth and head movements, the driver's fatigue status is comprehensively judged, and real-time fatigue driving detection and early warning are realized. This algorithm helps to avoid internal and external unsafe factors during driving and ensures driver's safety during driving.

**【Key words】** computer vision; fatigue detection; real-time monitoring; driving safety

## 0 引言

疲劳驾驶行为是造成交通事故的主要因素之一, 交通事故常常会造成巨大的经济损失, 甚至威胁到驾乘人的生命安全<sup>[1]</sup>。据交通部统计, 中国每年因疲劳驾驶导致的交通事故约占所有交通事故的 20%, 在特大交通事故中占比 40%, 且其发生数量呈现出逐年升高的趋势<sup>[2]</sup>。因此, 通过各项技术手段实现对驾驶员的疲劳检测, 并及时给予提醒是必要的。

近年来, 随着机器视觉技术和机器学习的兴起, 人脸检测和面部信息提取技术得到了进一步的发展, 在人工智能等领域发挥着举足轻重的作用, 基于驾驶员的面部图像数据分析面部状态, 以实现驾驶员疲劳检测与预警, 在驾驶安全领域具有重要的实用价值和研究意义<sup>[3]</sup>。Hernandez 等<sup>[4]</sup>提出了以驾驶员脑电信号为基础的疲劳检测方法; 在针对图像数据的疲劳检测方面, Majdi M S 等<sup>[5]</sup>提出了一种基于卷积神经网络和随机决策森林的驾驶员注意力分散检测方法, 其分类准确率能达到 95%。

本文提出了一种基于机器视觉的驾驶人疲劳检测算法, 针对车内监控设备采集的司机面部图像进行预处理, 提取出面部关键点信息; 融合眼部、嘴部和头部姿势 3 个特征, 分别检测驾驶员的眨眼、打哈欠和点头行为, 从而综合评价驾驶人的疲劳状态。

## 1 疲劳特征提取

疲劳特征提取是实现疲劳检测算法的前提。与正常状态相比, 人在疲劳时, 嘴巴、眼睛和头部姿势会表现出较大差异。因此, 基于机器视觉的疲劳检测需要先提取被检测目标的相关面部和头部运动特征。本文基于 Dlib(一个包含机器学习算法和工具的 C++ 工具包) 中的人脸关键点检测技术实现面部特征提取, Dlib 提供的人脸检测模型能够快速获取到包括面部、眼睛、鼻子、嘴巴等部位轮廓的 68 个关键点, 如图 1 所示。

在检测出这些关键点之后, 可以通过计算眼睛和嘴巴纵向与横向的比例, 来判断其张开与闭合程度, 也可以将这 68 个关键点间的信息, 投射在 3D

**基金项目:** 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目(202211276081Y)。

**作者简介:** 王彦博(1999-), 男, 学士, 主要研究方向: 数据分析; 张剑书(1992-), 男, 硕士, 实验师, 主要研究方向: 视频图像处理; 孙新元(2002-), 男, 本科生, 主要研究方向: 深度学习。

**通讯作者:** 张剑书 Email: jianshu.zhang@formail.com

收稿日期: 2022-07-07

模型上, 获得面部的朝向与姿势, 计算头部旋转的欧拉角, 获得头部的姿态与动作。

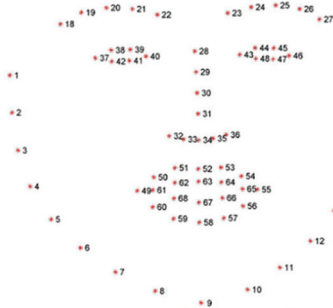


图 1 面部 68 个关键点位置

Fig. 1 The location of the 68 key points on the face

### 1.1 基于纵横比的眨眼特征提取

从检测到的 68 个关键点中提取出左右眼睛的轮廓坐标, 并计算眼部纵横比  $EAR$  (Eye Aspect Ratio), 可以估计驾驶人眼睛的张开或闭合程度, 眼睛关键点位示意图如图 2 所示。

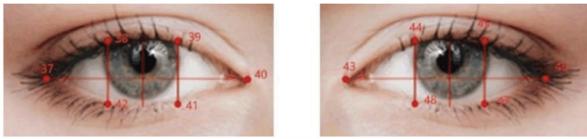


图 2 眼部关键点

Fig. 2 Key points of eyes

$EAR_1$  与  $EAR_2$  分别表示左眼与右眼的纵横比,  $P_n$  表示关键点坐标  $(x_n, y_n)$ , 左眼关键点序号为 37~42, 右眼关键点序号为 43~48, 取上述关键点对双眼纵横比进行计算, 公式(1)和公式(2):

$$EAR_1 = \frac{\|P_{38} - P_{42}\| + \|P_{39} - P_{41}\|}{\|P_{37} - P_{40}\|} \quad (1)$$

$$EAR_2 = \frac{\|P_{44} - P_{48}\| + \|P_{45} - P_{47}\|}{\|P_{43} - P_{46}\|} \quad (2)$$

取  $EAR_1$  与  $EAR_2$  均值作为驾驶人当前状态的  $EAR$  值。

### 1.2 基于纵横比的张嘴特征提取

将纵横比公式运用在嘴部纵横比  $MAR$  (Mouth Aspect Ratio) 提取时, 为了准确计算嘴巴的张开程度, 主要提取序号为 51、59、53、57 的关键点和序号为 49、55 的关键点的横坐标进行纵横比的判断, 嘴部关键点示意图如图 3 所示。

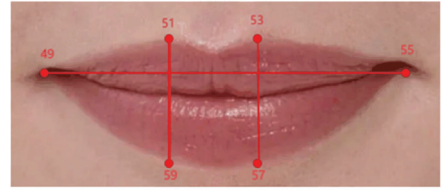


图 3 嘴部关键点

Fig. 3 Key points of mouth

$MAR$  计算公式(3)如下:

$$MAR = \frac{\|P_{51} - P_{59}\| + \|P_{53} - P_{57}\|}{2\|P_{49} - P_{55}\|} \quad (3)$$

### 1.3 基于 HPE 算法的头部姿势特征提取

利用 HPE (Head Pose Estimation, HPE) 算法进行头部姿势预测。首先需要获得 2D 人脸关键点坐标, 并将 2D 坐标分别与 3D 人脸模型进行匹配, 计算 3D 与 2D 关键点之间的转换关系, 根据旋转矩阵求解欧拉角。转换时需要使用到世界坐标系  $(UVW)$ 、相机坐标系  $(XYZ)$ 、图像中心坐标系  $(uv)$  和像素坐标系  $(xy)$ 。

世界坐标系转换到相机坐标系, 公式(4):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} + T = [R, T] \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

相机坐标系转换到像素坐标系, 公式(5):

$$s \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (5)$$

像素坐标系转换到世界坐标系, 公式(6):

$$s \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} [R, T] \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

图像中心坐标系转换到像素坐标系, 公式(7):

$$s \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

由公式(4)~公式(7)可以获得旋转矩阵, 基于此可以求出欧拉角, 公式(8):

$$R = \begin{pmatrix} \cos \phi \cos \varphi + \sin \phi \sin \theta \sin \varphi & \sin \phi \cos \theta & -\cos \phi \sin \varphi + \sin \phi \sin \theta \cos \varphi \\ -\sin \phi \cos \varphi + \cos \phi \sin \theta \sin \varphi & \cos \phi \cos \theta & \sin \phi \sin \varphi + \cos \phi \sin \theta \cos \varphi \\ \cos \theta \sin \varphi & -\sin \theta & \cos \theta \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (8)$$

其中,  $\theta$ 、 $\phi$  和  $\varphi$  分别为章动角、旋进角和自转角, 三者共同构成欧拉角。

将2D人脸关键点与3D人脸模型进行映射匹配,根据旋转矩阵计算头部旋转欧拉角,便可以获得头部姿势和运动状态。

## 2 驾驶人疲劳检测结果

驾驶人疲劳检测算法通过融合 *EAR*、*MAR* 和 *HPE* 算法提取的眼部、嘴部和头部姿势 3 个特征,实现对驾驶员面部状态的实时检测。为了获得更加合理的检测阈值,本文在模拟疲劳驾驶的视频数据集 YawDD 上对算法和数值变化进行了实验与测试。YawDD 数据集中包含 29 位志愿者在静止车辆中模拟长时间驾驶后的疲劳状态录制的正面视频,视频中志愿者的行为包括眨眼、打哈欠、注意力分散、交谈等行为,视频样例如图 4 所示。



图 4 YawDD 数据集样例

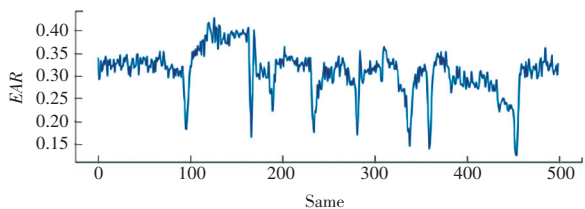
Fig. 4 Example of YawDD dataset

通过眨眼、张嘴和头部姿势特征提取方法对 YawDD 数据集中志愿者的视频进行测试,得到的 *EAR* 和 *MAR* 数据变化趋势曲线如图 5 所示。从图 5 可以发现,驾驶员在眼睛睁开时,对应的 *EAR* 值在 0.3~0.4 区间波动;而在出现眨眼或闭眼动作时,*EAR* 值则会瞬间下降至 0.2 以下,并趋于 0。因此,可以设置判断眨眼的阈值为  $EAR < 0.2$  且保持 2 帧。

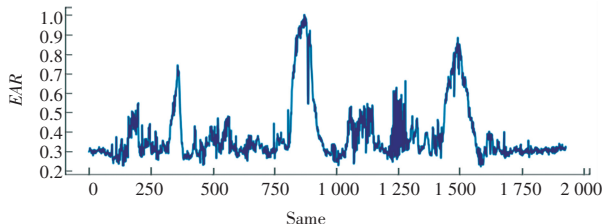
另外,驾驶员在正常状态下,*MAR* 值较小,交谈时 *MAR* 值在 0.3 ~ 0.5 之间上下波动;而在打哈欠时,*MAR* 值将迅速增大至 0.6 及以上,并会持续一段时间。因此,在进行打哈欠检测时将 *MAR* 阈值设置为 0.6,当  $MAR > 0.6$  并保持 12 帧之后,则计算为打哈欠一次。此外,驾驶员平视前方时,视线水平角度约为  $0^\circ$ ,当低头打瞌睡时,平视角度将会下降,因此可以将低头检测的阈值设置为 0.3,即在一段时间内,低头欧拉角大于  $20^\circ$  或平视角度变换比例超过 0.3 时,则认为低头或点头一次。

经过统计分析,驾驶人在疲劳驾驶状态下的每分钟平均眨眼次数超过 20 次,打哈欠次数超过 5 次,并且会存在头部角度较低,以此作为该段时间内

疲劳判断的标准,疲劳检测的结果如图 6 所示。



(a) *EAR* 变化趋势



(b) *MAR* 变化趋势

图 5 YawDD 数据集中 *EAR*、*MAR* 变化曲线示例

Fig. 5 Variation curve of *EAR* and *MAR* under fatigue state of volunteers in YawDD dataset

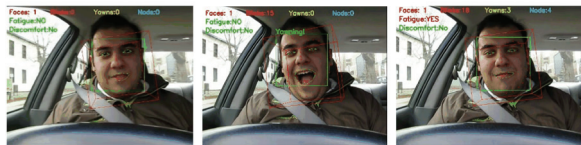


图 6 疲劳检测结果

Fig. 6 Results of fatigue detection

## 3 结束语

本文提出了一种基于机器视觉的疲劳驾驶检测方法,通过 Dlib 完成了驾驶人面部关键点的检测,并从中提取驾驶人疲劳状态相关的特征,基于此实现对驾驶人疲劳状态的实时检测。该方法仅需在车内部署一个小型监控摄像头,而不需要复杂的脑电设备或可穿戴设备,因此不会对驾驶人的动作或行为造成任何影响,具有一定的实际应用价值。

## 参考文献

- [1] OSSENBRUGGEN P J, PENDHARKAR J, IVAN J. Roadway safety in rural and small urbanized areas[J]. Accident Analysis & Prevention, 2001, 33(4): 485-498.
- [2] 丁红威. 驾驶安全辅助系统中关键技术的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [3] 姜绍寅. 关于驾驶员疲劳驾驶对安全行车的危害研究[J]. 时代汽车, 2016(11): 33-34.
- [4] LAL S K L, CRAIG A, BOORD P, et al. Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure[J]. Journal of Safety Research, 2003, 34(3): 321-328.
- [5] MAJDI M S, RAM S, GILL J T, et al. Drive-net: Convolutional network for driver distraction detection[C]//2018 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation (SSIAI). IEEE, 2018: 1.