

基于视觉的驾驶员疲劳特征提取方法

靳冰凌, 张震, 张子耀

(上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘要:对驾驶员疲劳检测方法进行了研究,对近年来疲劳检测的研究现状进行了简要介绍,针对驾驶员疲劳检测提出了一种基于视觉的疲劳特征提取方法。对采集图像进行预处理从而提高图像对比度,利用 AdaBoost 算法定位人脸和眼睛区域,采用自适应阈值方法分割唇色和肤色,提取嘴唇区域;通过计算眼睑和瞳孔区域像素个数占眼部区域像素总数的比值和嘴部区域的宽高比,分别判断眼睛和嘴巴的开闭状态,从而提取出 PERCLOS 特征、眨眼频率和哈欠频率等面部疲劳特征,通过疲劳特征可以进一步判断驾驶员的疲劳状态。实验结果表明,该方法可以准确定位眼部和嘴部区域,判断出视频中人员眨眼和打哈欠的次数,实现在复杂背景下驾驶员的疲劳特征提取,为后续驾驶疲劳分析提供重要的依据。

关键词:视觉信息;疲劳检测;疲劳特征提取;AdaBoost 算法;自适应阈值

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)11-0193-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.11.042

A Driving Fatigue Feature Extraction Method Based on Vision

JIN Bing-ling, ZHANG Zhen, ZHANG Zi-yao

(School of Electrical and Mechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: The method of driver fatigue detection is studied, and present status of fatigue detection is introduced chiefly. We propose a driver fatigue feature extraction method based on vision. First of all, the preprocessing of captured image is performed to improve the image contrast. After that, AdaBoost algorithm is used to locate face and eye area, and adaptive threshold method to segment lip color and skin color for extraction of lip area. By calculating the ratio of the number of pixels in the eyelid area and pupil area to the total number of pixels in the eye area and the ratio of the width and height of the mouth area, the open and closed states of the eyes and the mouth are respectively judged, so the PERCLOS feature, blink frequency and yawn frequency and other facial fatigue features are extracted to further judge fatigue state of the driver. The experiment shows that this method can accurately locate eye area and mouth area, determine the frequency of people blinking and yawning in the video, realize the extraction of fatigue features under the complex natural environment, which provides necessary support for the future analysis of driver fatigue.

Key words: visual information; fatigue detection; fatigue feature extraction; AdaBoost algorithm; adaptive threshold

0 引言

汽车是人们日常生活中必不可少的交通工具和人类社会物质文明的标志。与此同时,交通安全隐患不断增加,交通事故频发,无证驾驶、酒后驾驶、疲劳驾驶等,都严重威胁到人类的生命安全。据交通管理部门统计,全国发生的交通事故大约 40% 左右是由于疲劳驾驶所导致的。因此,研究一种实时的疲劳驾驶检测系统不但能减少人员伤亡,还能避免因此产生的经济损失。

目前,常见的驾驶员疲劳检测方法总体上可分为三类:基于驾驶员生理参数的判断方法^[1]、基于车辆行

驶参数的判断方法^[2]以及基于图像处理的判断方法^[3]。其中,前两种方法由于其可操作性差、准确率低等原因,难以在普通车辆内推广使用。而随着计算机视觉与图像处理技术的发展,基于图像处理的方法由于其操作简单、成本低,对驾驶员的正常驾驶几乎不会产生影响等优点,成为目前研究的热点。

方向盘监视装置 S. A. M (steering attention monitor) 是美国 Electronic Safety Products 公司开发的一种监测方向盘非正常运动的传感器装置^[4]。当驾驶员正常驾驶时装置不报警,若方向盘持续 4 秒不运动, S.

收稿日期:2018-01-05

修回日期:2018-05-10

网络出版时间:2018-06-29

基金项目:国家自然科学基金(51005143)

作者简介:靳冰凌(1993-),男,硕士,研究方向为计算机视觉、机器学习等;张震,博士,副研究员,研究方向为运动仿生机理、移动机器人视觉、康复机器人、救援机器人等。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180629.1700.020.html>

A. M 装置就会发出警报声,直到方向盘继续正常运动为止。装置被固定在车内录音机旁,通过方向盘下安装的一条磁性带检测方向盘的运动。基于视觉的驾驶员疲劳检测技术是利用图像处理方法对获取的车内图像进行分类识别,当驾驶员疲劳时会出现眨眼频率变快、眼睛睁开幅度变小、闭眼时间增加,有的还会出现频繁点头、打哈欠等特征^[5-6]。美国 ASCI 公司研制的 MINDS(micronod detect system)是一种通过检测点头频率判断驾驶员疲劳程度的疲劳检测系统^[7]。该产品利用传感器对驾驶员的头部位置进行定位,通过头部位置的变化得到点头频率,从而实现疲劳检测。美国卡内基梅隆大学的 Richard Grace 测量 PERCLOS 特征以决定目标是否疲劳,分别使用 850 纳米和 950 纳米的红外线作为光源得到两幅图像,根据视网膜对不同波长光的反射率不同得到驾驶员瞳孔位置,通过计算眼睛的高度来判断其睁开闭合状态,进而求出 PERCLOS 特征。美国内华达州立大学 Haisong Gu 在可变光的条件下利用红外传感器初步确定瞳孔位置,使用 Gabor 算子提取眼睛特征并最终得到驾驶员的疲劳程度^[8]。国内驾驶员疲劳检测研究主要集中在大学和科研机构,刘扬等通过对灰度视频序列进行图像二值化实现了人眼的快速定位^[9],但该方法仅研究了白天自然光照条件下的眼睛定位,当驾驶环境存在光照不均匀等因素干扰时,会发生一定的误判现象^[10]。

文中的驾驶员疲劳检测主要由三个环节组成。首先通过眼睛和嘴唇的检测方法对图像中人眼和嘴唇的位置进行定位,然后提取眨眼频率、哈欠频率和 PERCLOS 等疲劳特征,最后根据疲劳特征通过分类器判断驾驶员的疲劳状态^[11]。

1 基于 AdaBoost 算法的眼睛定位

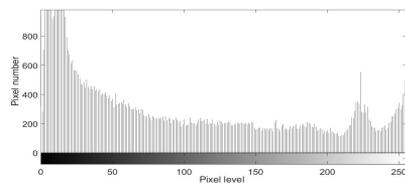
1.1 预处理

由于车内环境复杂,驾驶员实时视频图像的采集容易受到光照的影响,难以精确定位眼睛区域,所以对采集到的视频图像进行预处理,改善图像质量,提高眼睛定位的准确率。

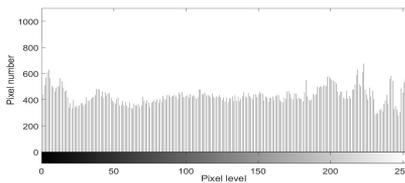
直方图均衡化^[12]是一种以累积分布函数为基础的直方图修正方法,它通过拉伸图像像素强度分布范围使像素灰度的概率密度保持均匀,达到增强图像对比度的效果。

由于摄像机采集到的图像为彩色图像,RGB 三个分量均受光照影响较大,而 HSI(色调、饱和度和亮度)颜色空间中三个分量的相关性很小,色调 H 和饱和度 S 受光照影响很小,所以只需要对图像的亮度 I 分量进行直方图均衡化即可。图 1 显示了图像在光照不均匀情况下用直方图均衡化方法的处理效果及其直方图

信息。



(a) 原始图像及其直方图



(b) 直方图均衡化后图像及其直方图

图 1 直方图均衡化效果

1.2 人脸检测

人脸检测是眼睛和嘴唇区域定位的基础,由于驾驶环境中背景复杂多变,其中可能存在符合眼睛和嘴唇特征的图像,容易造成误判。同时,根据人脸检测结果和五官分布规则可以对眼睛和嘴唇区域进行粗定位,因此,首先进行人脸检测,可以缩小眼睛和嘴巴区域的定位范围,既能提高检测的准确性,又可以减少背景的影响。

人脸检测是指确定输入图像中所有人脸的位置、大小和姿态的过程。目前常用的人脸检测方法可以分为四类:基于知识的方法、基于模板匹配的方法、基于统计学的方法和基于机器学习的方法。AdaBoost 算法是一种兼具检测精度和检测速度的基于机器学习的分类方法^[13],该算法采用 Haar 特征作为弱分类器,在权重不断变化的 T 轮迭代学习中,每次选取一个最具有区别样本类别能力的 Haar 特征作为弱分类器,将 T 个弱分类器级联组成最终的强分类器。图 2 显示了 AdaBoost 算法进行人脸检测的效果。

1.3 眼睛区域定位

利用 AdaBoost 算法检测出人脸后,需要定位眼睛区域。眼睛定位的方法有多种,例如霍夫变换法、灰度积分投影法和机器学习法等。其中,霍夫变换法检测人脸上的圆形区域,从而定位到瞳孔位置,但当眼睛处于闭合状态或瞳孔形状不规则时,该方法可能由于无法检测到圆而出现判断错误。灰度积分投影法根据人脸像素的积分投影,在极值位置定位眼睛区域,但这种方法适用于静态正面的眼睛检测,当有小角度转动时误差很大^[14]。

文中采用机器学习法,利用 AdaBoost 算法训练人脸检测分类器,实现眼部区域的精确定位。首先根据五官的位置分布,可以粗定位眼睛和嘴部的大致区域,将眼睛检测的区域缩小为人脸高度中部 1/3 区域。然后通过大量人脸样本进行眼睛区域定位训练,最后使

用训练好的分类器对粗定位区域进行检测,可以实现对眼睛的快速定位,从而提高系统的检测速度与检测精度,降低误检率。图 2 为不同实验人员的眼睛区域定位结果。

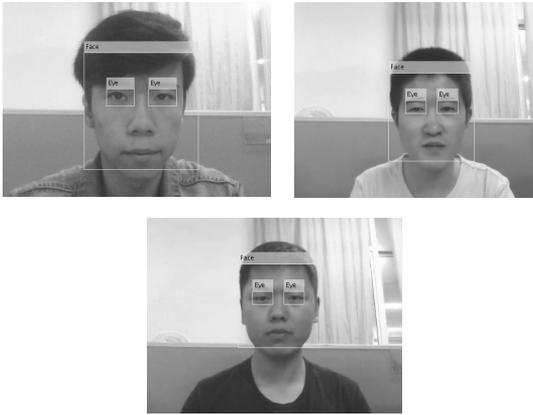


图 2 眼睛区域定位结果

2 疲劳特征提取

2.1 疲劳特征

疲劳状态具有相当的隐蔽性,所以需要一些特征参数对疲劳程度进行评定。据了解,在面部信息中,驾驶员的疲劳状态主要表现在眼部和嘴部区域,如打哈欠、眨眼、眼睛发涩、点头等特征。下面介绍一些常用的疲劳特征。

(1) 眨眼频率。

眨眼是指眼睛从睁开到闭合再睁开过程。清醒状态下人一分钟内平均眨眼次数约为 10~15 次,当处于疲劳状态时眨眼频率会明显加快。

(2) 眼睛平均闭合速度。

平均闭合速度指的是眼睛从完全睁开到完全闭合所经历的时间。研究表明,清醒的人和疲劳的人眼皮闭合速度有明显区别,正常人眼闭合时间只需 0.17 s,疲劳时可达 1.68 s。

(3) PERCLOS。

PERCLOS 特征指的是在单位时间里眼睛闭合时间所占的比例。实践证明,单位时间内眼睛闭合时间的长短和驾驶员疲劳程度有着密切的关系,眼睛闭合时间越长,疲劳程度越严重。文中实验取一分钟内眼睛闭合的帧数与一分钟视频总帧数的比值近似求得 PERCLOS 特征值。

(4) 打哈欠频率。

一般来说,在疲劳或开始疲劳时人的面部肌肉通常处于无表情状态,并且常常伴随着频繁的哈欠动作。因此,可以检测一分钟内驾驶员打哈欠的频率,将该值作为疲劳程度评定的特征值之一。

(5) 点头频率。

疲劳程度严重时人常常会打盹,即使没有打盹,也会习惯性将头低下,又频繁抬起,这实际上也形成了一种头部的上下往复运动。点头频率特征值可以通过检测人脸在图像中的位置随时间的变化规律得到。

另外,诸如眼球运动,视线分布范围和视线跳动频率等特征也可作为判断疲劳状态的依据。

2.2 眼部疲劳特征提取

在上述眼部疲劳特征中,判断眼睛的开闭状态是提取特征值的关键。在以往的疲劳检测研究中,常用的眼睛状态识别方法主要有 Hough 查找圆、模板匹配、计算眼睑曲率和水平投影等^[15]。其中 Hough 查找圆法通过 Hough 变换检测眼睛图像中是否有圆来判断眼睛状态;模板匹配法建立眼睛各状态的模板,计算眼睛图像与各模板的匹配度;计算眼睑曲率法根据人眼在开、闭状态时的曲率差异判断眼睛状态;水平投影法根据眼睛区域水平投影的灰度值进行判断。这些方法都或多或少地存在诸如正确率低、实现困难等缺点。

文中采用最大类间方差法(Otsu)获取自适应阈值对眼部图像进行二值化,将上眼睑和瞳孔区域分割出来,计算该区域像素点个数与眼睛区域像素点总数的比值,由于闭眼时上眼睑和瞳孔区域面积明显减小,因此可根据比值判断眼睛的开闭状态。算法的具体流程如下:

- (1) 对于第一帧图像,检测人脸和人脸,并根据 Otsu 算法获取眼睛区域二值化阈值 T ;
- (2) 对于后续人眼图像,根据阈值对图像进行二值化处理;
- (3) 统计眼部图像像素总个数 N ;
- (4) 统计二值化后图像最大联通区域像素个数 n ;
- (5) 计算 $\text{ratio} = n / N$, 根据阈值判断当前帧的眼睛开闭状态。

图 3 显示了对一帧图像进行眼睛状态判断的整体流程。其中 T 为由 Otsu 算法得到的图像分割阈值。

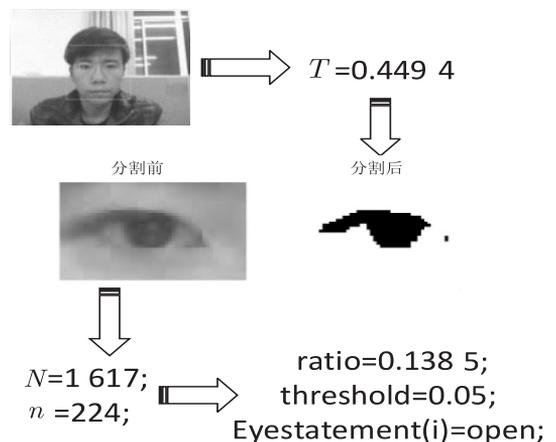


图 3 眼睛状态判断流程

2.3 嘴部疲劳特征提取

2.3.1 嘴唇区域分割

要统计嘴部疲劳特征值,首先要找到嘴巴的位置。根据第二章的描述,人眼的位置是已知的,可以先根据人脸的器官分布,对嘴部区域粗定位,约在人脸下部 1/3 处两眼之间的位置。

接着要定位嘴唇的确切位置,从而得到嘴巴区域的宽和高,利用宽高比判断嘴巴的开闭状态。由于粗定位的嘴部区域图像中主要包含唇色和肤色,因此可以利用唇色和肤色之间的颜色差异定位嘴唇位置。

唇色和肤色像素均满足红色分量像素值大于蓝色和绿色分量像素值,但在唇色中红色分量的像素值所占的比例更大。即唇色和肤色的红色分量像素值没有太大差别,但肤色中蓝色和绿色分量像素值要明显小于唇色。根据上述颜色差异以及嘴部区域中唇色所占比例大约为 20%,文中采用自适应阈值分割方法^[16]将嘴唇区域分割出来,具体算法如下,其中 R 、 G 、 B 分别表示图像中 R 、 G 、 B 各通道的像素值:

- (1) 令 $rg = R - G$, $rb = R - B$, $threslip = 0$;
- (2) 统计 $rg > threslip$ && $rb > threslip$ 的像素个数 $pixelnum$ 和总像素个数 N ;
- (3) 若 $pro = pixelnum / N > 20\%$, 则令 $threslip++$, 否则退出循环;
- (4) 重复步骤 2~4。

根据该算法分割出嘴唇区域后,对分割后的图像进行形态学滤波等操作,滤去部分噪声点,即可得到完整的嘴唇区域图像。图 4 显示了嘴唇区域分割效果,可看到嘴唇区域被准确地分割出来^[17-18]。

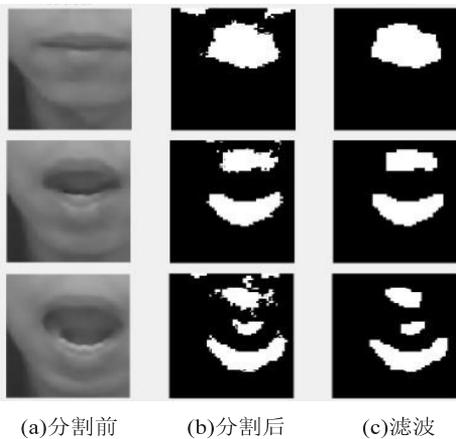


图 4 嘴唇区域分割

2.3.2 嘴巴状态判断

由图 4 可以看出,在打哈欠过程中嘴部区域宽高比变化明显,在提取到嘴唇区域图像后,可计算出上下嘴唇的高度和左右嘴角的宽度,求出嘴部区域宽高比,由此判断嘴巴开闭状态。图 5 显示了眼部和嘴部开闭状态判定数据

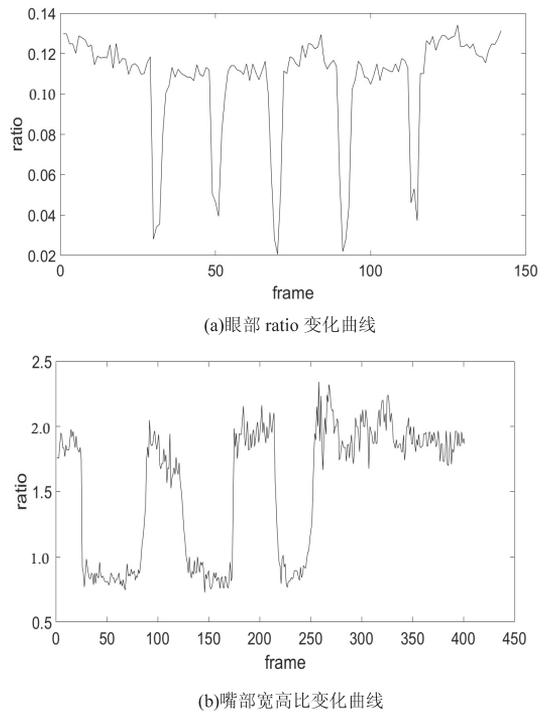


图 5 眼部和嘴部开闭状态判定

3 实验

为了验证算法的有效性,进行了基于视觉的驾驶员疲劳特征提取实验。

通过多个实验人员拍摄多段实验视频,视频中分别进行眨眼、打哈欠等动作,利用文中方法提取上文所述的眨眼频率、眼睛平均闭合速度、PERCLOS 和打哈欠频率等疲劳特征,其中眨眼频率通过统计一分钟内眨眼次数得到,眼睛平均闭合速度通过统计一分钟内每次眨眼过程中眼睛闭合帧数得到,PERCLOS 特征由一分钟内眼睛闭合的帧数与视频总帧数的比值得到。实验在 Inter Core i5 CPU 1.6 GHz 和内存 4 G 的 PC 机上进行。表 1 展示了五个视频序列的实验结果,可以看出,该方法可以准确判断出视频中人员眨眼和打哈欠的次数,从而提取得到上述疲劳特征值。

表 1 疲劳特征提取实验结果

视频序列	帧数	实际眨眼次数	检测到眨眼次数	实际打哈欠次数	检测到打哈欠次数
1	1 500	12	12	3	3
2	1 500	16	16	2	2
3	1 500	10	9	3	3
4	1 500	15	15	1	0
5	1 500	10	10	0	0

4 结束语

讨论了基于视觉的驾驶员疲劳特征提取方法,设计并实现了驾驶员疲劳特征提取的整体流程,其中包

括图像预处理、人脸检测、眼睛定位、眼睛和嘴巴开闭状态判断等。该方法可以满足全天候检测的要求,同时具有光照自适应、非接触性、实时性等优点。实验结果表明,该算法可以在光照等自然环境变化的情况下准确提取出疲劳特征值。

参考文献:

- [1] 杨海燕,蒋新华,聂作先. 驾驶员疲劳检测技术研究综述[J]. 计算机应用研究,2010,27(5):1621-1624.
- [2] 石 坚,吴远鹏,卓 斌,等. 汽车驾驶员主动安全性因素的辨识与分析[J]. 上海交通大学学报,2000,34(4):441-444.
- [3] BERGASA L M, NUEVO J, SOTEL M A, et al. Real-time system for monitoring driver vigilance [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2006, 7(1): 63-77.
- [4] 刘晓君. 丰田先进安全车[J]. 世界汽车, 1998(2): 17-21.
- [5] DINGES D F, MALLIS M M, MAISLIN G, et al. Evaluation of techniques for ocular measurement as an index of fatigue and the basis for alertness management [J]. Safety Science, 2009, 47(1): 115-124.
- [6] JI Qiang, YANG Xiaojie. Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance [J]. Real-Time Imaging, 2002, 8(5): 357-377.
- [7] KITHIL P W. Development of driver alertness detection system using overhead capacitive sensor array [C]//International driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design. [s. l.]: [s. n.], 1998.
- [8] GU Haisong, JI Qiang, ZHU Zhiwei. Active facial tracking for fatigue detection [C]//IEEE workshop on applications of computer vision. Orlando, FL, USA; IEEE, 2002: 137-142.
- [9] 姚 胜, 李晓华, 张卫华, 等. 基于 LBP 的眼睛开闭检测方法[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(6): 1897-1901.
- [10] 周玉彬, 俞梦孙. 疲劳驾驶检测方法的研究[J]. 医疗卫生装备, 2003, 24(6): 25-28.
- [11] 邬敏杰, 穆平安, 张彩艳. 基于眼睛和嘴巴状态的驾驶员疲劳检测算法[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(3): 25-27.
- [12] STARK J A. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5): 889-896.
- [13] VIOLA P, JONES M J. Robust real-time face detection [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137-154.
- [14] 胡德轩, 冯玉田, 宁萍强. 一种有效的用于疲劳驾驶检测的人眼定位算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(12): 9-12.
- [15] 樊 玮, 鲁胜华. 基于眼动仪的飞行员疲劳判定相关属性研究[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(6): 15-18.
- [16] 张明吉, 王伟强, 郑清芳, 等. 静态图像中的自适应阈值肤色检测算法[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(9): 1674-1680.
- [17] MBOUNA R O, KONG S G, CHUN M G. Visual analysis of eye state and head pose for driver alertness monitoring [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(3): 1462-1469.
- [18] 周云鹏, 朱 青, 王耀南, 等. 面部多特征融合的驾驶员疲劳检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(10): 1140-1148.
- [9] 姚 胜, 李晓华, 张卫华, 等. 基于 LBP 的眼睛开闭检测方法[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(6): 1897-1901.
- [10] 周玉彬, 俞梦孙. 疲劳驾驶检测方法的研究[J]. 医疗卫生装备, 2003, 24(6): 25-28.
- [11] 邬敏杰, 穆平安, 张彩艳. 基于眼睛和嘴巴状态的驾驶员疲劳检测算法[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(3): 25-27.
- [12] STARK J A. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5): 889-896.
- [13] VIOLA P, JONES M J. Robust real-time face detection [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137-154.
- [14] 胡德轩, 冯玉田, 宁萍强. 一种有效的用于疲劳驾驶检测的人眼定位算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(12): 9-12.
- [15] 樊 玮, 鲁胜华. 基于眼动仪的飞行员疲劳判定相关属性研究[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(6): 15-18.
- [16] 张明吉, 王伟强, 郑清芳, 等. 静态图像中的自适应阈值肤色检测算法[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(9): 1674-1680.
- [17] MBOUNA R O, KONG S G, CHUN M G. Visual analysis of eye state and head pose for driver alertness monitoring [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(3): 1462-1469.
- [18] 周云鹏, 朱 青, 王耀南, 等. 面部多特征融合的驾驶员疲劳检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(10): 1140-1148.
- [9] MALWE S R, TANEJA N, BISWAS G P. Enhancement of DSR and AODV protocols using link availability prediction [J]. Wireless Personal Communications, 2017, 97(3): 4451-4466.
- [11] 蒋道霞, 刘凤玉. Ad Hoc 网络中基于 AODV 的拥塞适应路由协议[J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 411-416.
- [12] 刘占文, 王润民, 赵祥模. 基于车联网的交叉口行车事故预警方案及仿真[J]. 计算机仿真, 2016, 33(6): 132-137.
- [13] 胡锦涛, 赵祥模, 王润民, 等. 车联网环境下 IEEE 802.11p 移动性支持仿真研究[J]. 计算机工程, 2017, 43(5): 23-27.
- [14] 李 东, 唐露新, 黎 杰, 等. 一种无连接通信的高可靠性光幕保护系统[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(12): 211-214.
- [15] 高 卉, 冯友宏, 王晓雨. 认知无线传感网络中吞吐量能耗均衡研究[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(10): 130-135.

(上接第 192 页)

IEEE international conference on ubiquitous wireless broadband. Nanjing, China; IEEE, 2016: 1-4.

- [6] MADI S, AL-QAMZI H. A survey on realistic mobility models for vehicular ad hoc networks (VANETs) [C]//10th IEEE international conference on networking, sensing and control. Evry, France; IEEE, 2013: 333-339.
- [7] SADIKI T, GHOGHO M, BOULMALF M, et al. Models to generate mobility based on the Bayesian approach for vehicular ad-hoc networks (VANETs) [C]//International conference on multimedia computing and systems. Tangier, Morocco; IEEE, 2012: 427-431.
- [8] 赵建强, 邹 捷. 基于群组移动模型的 OLSR 协议性能仿真与评估[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(10): 39-42.
- [9] SIMAREMARE H, ABOUAISSA A, SARI R F, et al. Security and performance enhancement of AODV routing protocol [J]. International Journal of Communication Systems, 2015, 28(14): 2003-2019.