

# 考虑驾驶人换道意图的车道偏离预警系统

刘志强, 张章, 汪澎

江苏大学汽车与交通工程学院, 镇江 212013

**摘要** 为降低基于机器视觉车道偏离预警系统的误警率, 提出一种考虑驾驶人换道意图的车道偏离预警系统。运用 Steerable Filter 方法对所采集的道路图像信息进行滤波, 运用局部搜索区域法提取车道线参数, 运用基于图像信息的识别方法检测车辆的车速、转向信号、车道偏离状态以及驾驶人的头部动作状态, 判断驾驶人的换道意图, 建立了车道偏离预警的决策算法及系统。应用 Matlab 软件对实车采集得到的视频进行算法验证和系统仿真试验, 结果表明, 提出的车道偏离预警决策算法是可行的, 该预警系统将有意识与无意识的车道偏离区分开, 从而能有效屏蔽在驾驶人有意偏离车道时的误报警, 具有更高的可靠性。

**关键词** 车道偏离; 预警系统; 换道意图

**中图分类号** U461.91

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.19.007

## A Lane Departure Warning System Considering Driver's Lane-changing Intention

LIU Zhiqiang, ZHANG Zhang, WANG Peng

School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

**Abstract** In order to reduce the false alarm rate of the lane departure warning system based on machine vision, a new lane departure warning system considering the driver's intention of changing lanes is put forward. In the proposed system, the collected road image information is filtered with Steerable Filter method, the road parameters are extracted using the local search algorithm, and the speed of motor vehicle, turning signal, lane departure situation as well as the driver's head movement are detected to judge the driver's lane departure intention. A lane departure warning decision algorithm is developed. Verification of the algorithm and simulation experiment are done using Matlab, with videos collected from vehicles. The results show that the proposed lane departure warning system is feasible. The system is more reliable, which can distinguish an intentional lane departure from unintentional lane departure and effectively avoid false alarm when the driver intends to change lanes.

**Keywords** lane departure; warning system; lane-changing intention

近年来,随着汽车数量以及高速公路里程数的急剧增加,高速公路上发生的交通事故也在不断增加<sup>[1]</sup>。由于各种原因导致的驾驶人注意力分散是交通事故频发的重要原因,在美国国家公路交通安全局统计的交通事故中,70%左右的致命单车碰撞事故是由于车辆偏离车道而造成的<sup>[2]</sup>。研究表

明,为车辆装备有效的车道偏离预警系统,能够及时、有效地警告驾驶人修正无意识的车道偏离,从而有效防止该类交通事故的发生<sup>[3]</sup>。因此,车道偏离预警系统成为国内外的研究重点。

随着计算机技术的高速发展,欧美很多国家已经成功研

收稿日期: 2014-02-24; 修回日期: 2014-05-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108209); 教育部博士点基金项目(20113227110014); 道路载运工具新技术应用江苏省重点实验室项目(BM2008206002)

作者简介: 刘志强, 教授, 研究方向为汽车主动安全, 电子信箱: 915196401@qq.com; 张章(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为汽车主动安全, 电子信箱: 930321658@qq.com

引用格式: 刘志强, 张章, 汪澎. 考虑驾驶人换道意图的车道偏离预警系统[J]. 科技导报, 2014, 32(19): 48-52.

制出一些基于计算机视觉的车道偏离报警系统 (lane departure warning system, LDWS), 主要分为俯视系统和前视系统。典型的俯视系统是美国卡内基梅隆大学机器人学院研发的 Aurora 系统<sup>[4]</sup>, 该系统在结构化道路上简单易行且定位精度高、速度快, 但由于该系统对路面要求高, 因此使用范围比较窄; 典型的前视系统有 AutoVue 系统、AWS 系统和 DSS 系统<sup>[5,6]</sup>, 这些系统能够获得更多的前方道路信息, 即使在没有明显车道线的道路上也可以使用。这些系统主要根据车辆在车道中的横向位置来进行报警, 而对于驾驶人的有意识与无意识的车道偏离的判断仅仅依靠转向灯的开闭状态, 因此造成一些不必要的误报警。针对这一问题, 本文提出一种考虑驾驶人换道意图的车道偏离预警系统, 将有意识与无意识的车道偏离区分开来, 以降低系统的误警率。

### 1 车道线识别方法

在结构化道路上, 车道线的灰度值比路面的灰度值高, 如图 1 所示。采用 Steerable Filter 方法对车道线进行检测, Steerable Filter 是一种对滤波方向进行控制的边缘滤波器<sup>[7,8]</sup>, 在不同的光照强度下均可得到良好的检测效果, 并具有良好的抗干扰能力。

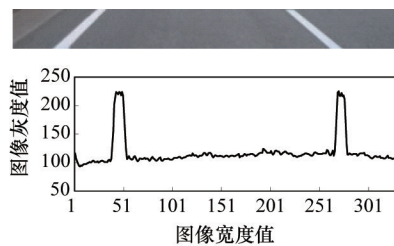


图 1 车道线灰度变化特征  
Fig. 1 Intensity value of the lane line

图像中的车道线往往是对角的, 检测图像中的车道线一般采用对角方向的滤波器, 但由于道路方向和摄像机视点的改变, 图像中的道路方向也随之改变, 对角方向的滤波器不能很好地适应要求, 因此采用垂直方向的滤波器(0°, 180°)进行检测, 结果如图 2(b)和(d)所示。

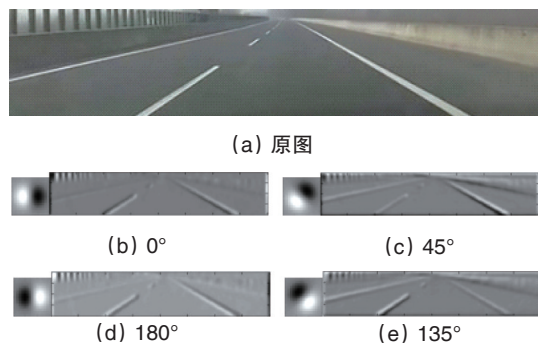


图 2 Steerable Filter 方法得到的结果  
Fig. 2 Results of Steerable Filter

通常情况下, 道路上有多条车道线, 为了避免误检测, 将图像划分成 2 个非重叠的左右矩形区域, 然后滤波器从右往左搜索左边的区域, 从左往右搜索右边的区域, 如果检测到灰度值发生突变的区域, 则将该地区作为候选区域。

为了提高识别的准确性, 减少运算量, 提高车道线识别速度, 建立局部搜索区域如图 3 所示。只检测图 3 所示的黑色区域, 为了避免路面上数字及文字的干扰, 删除搜索区域的中心部分。

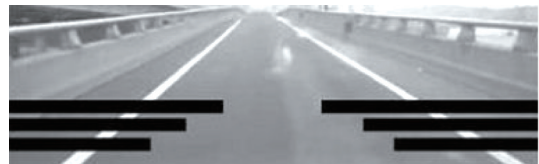


图 3 局部搜索区域(黑色部分)  
Fig. 3 Local search region (black rectangles)

由上述方法可得到每条车道线的 3 个特征点, 如图 4 所示。车道线可由公式(1)计算得到, 即

$$l_1 = p_1 \times p_2 \quad l_2 = p_4 \times p_5 \quad (1)$$

式中,  $p_1, p_2, p_4, p_5$  为特征点的齐次坐标;  $l_1, l_2$  分别表示左、右车道线。

图 4 中的这 2 条车道线会相交于点  $V$ , 称为消失点, 这个点用下面的公式计算得到, 即

$$V = l_1 \times l_2 \quad (2)$$

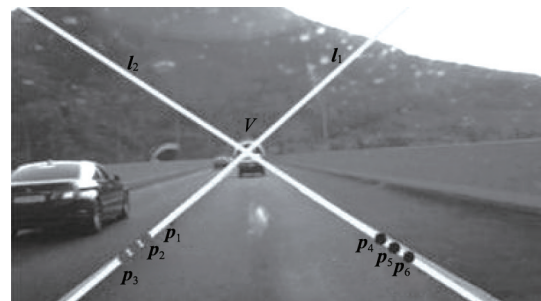


图 4 候选车道线匹配示意  
Fig. 4 Candidate lane matching diagram

通过计算特征点  $p$  至车道线  $l$  的距离, 验证提取的车道线是否正确, 将  $p$  点到直线  $l$  的距离定义为

$$\text{distance}(l, p) = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3)$$

式中,  $p = [x_0 \ y_0 \ 1]^T$ ,  $l = [a \ b \ c]^T$ 。这样的计算量很大, 需要做一些简化, 将点  $p$  到  $l$  的距离转化为点  $p$  到点  $q$  的距离, 点  $q$  是过点  $p$  到  $l$  的垂线与  $l$  的交点,  $q = [m \ n \ 1]^T$ 。取  $n = y_0$ , 则简化的公式为

$$\text{distance}^*(l, p) = |m - x_0| \quad (4)$$

用公式(5)验证检测到的车道线, 即

$$\begin{cases} \text{dis tan ce}^*(l_1, p_2) < T \\ \text{dis tan ce}^*(l_2, p_3) < T \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $T$  为阈值, 该阈值由车道宽度决定, 如果点  $p_2$  到线  $l_1$  的距离小于阈值  $T$ , 那么检测得到的车道线是正确的。

几种典型情况下车道线的识别效果如图 5 所示。可以看出, 上述方法可以稳定地对车道线进行检测并跟踪, 而且对路面上行驶的车辆、箭头、阴影等复杂路况有较好的抗干扰能力。选取 1000 帧正常光照下的车道图像进行识别, 检测的识别率可达 91.27%。

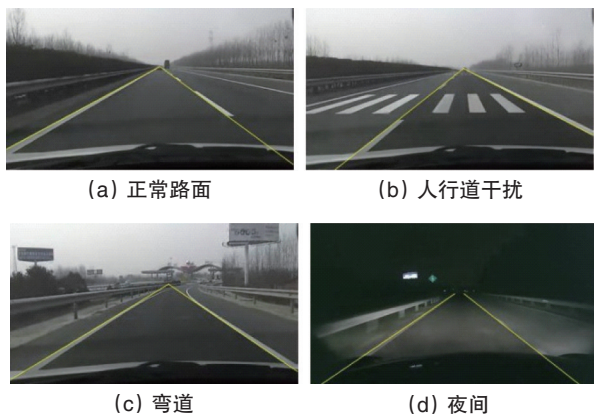


图 5 复杂路况下的车道识别效果

Fig. 5 Lane recognition under complex road conditions

## 2 车道偏离识别方法

将摄像机安装在内后视镜处, 使其在车辆的中心位置, 光轴与水平线平行并垂直于车辆的轮轴, 则车道的中心即是图像的中心, 消失点在图像的中心附近。如图 6 所示, 在车辆行驶过程中, 左右车道线的延长线相交于一点, 即消失点  $V$ 。建立图像坐标系, 图像的左上角为坐标原点, 向下为  $x$  轴的正方向, 向右为  $y$  轴的正方向; 过点  $V$  的水平线与图像中心线相交于点  $O$ , 点  $V$  的坐标即  $V$ , 坐标可由车道线的方程求出;  $\alpha$ ,  $\beta$  分别为左右车道线与垂直方向的夹角。

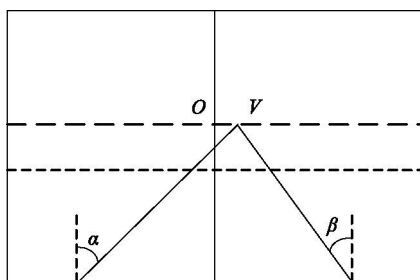


图 6 车辆行驶模型

Fig. 6 Vehicle driving model

当车辆在道路中心行驶且与车道线平行时,  $V$  点与  $O$  点重合。当车辆左偏时, 车道的中心线与车辆行驶方向的夹角

越大,  $V$  点的坐标  $V_y$  距  $O$  的绝对值越大,  $\alpha$  越小,  $\beta$  越大。当车辆右偏时, 车道的中心线与车辆行驶方向的夹角越大,  $|V_y - O|$  越大,  $\alpha$  越大,  $\beta$  越小。车道偏离程度的计算公式为

$$\text{departure} = \begin{cases} \text{right} & \text{if } (V_y - O_y) < -T_d \\ \text{left} & \text{if } (V_y - O_y) < T_d \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $T_d$  为阈值, 该值通过试验决定。当式 (6) 成立时, 说明车辆的行驶方向向左或者向右偏离角度过大。

车道偏离检测结果如图 7 所示。

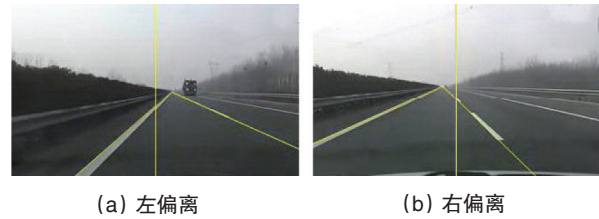


图 7 车道偏离检测结果

Fig. 7 Lane departure detection results

## 3 车道偏离报警决策算法

在准确识别车道偏离的基础上, 为提高系统报警的准确率, 通过转向信号 (转向灯开启状态)、车速以及驾驶人的头部动作状态, 判断驾驶人的车道偏离意图, 建立车道偏离报警决策算法。

转向信号是判断驾驶人是否主动换道最有效的方法之一, 如果某一方向转向灯开启, 则认为驾驶人有意识主动换道, 否则为无意识换道。

当车速低于一定的阈值时, 车辆为安全运行状态, 预警系统应屏蔽报警。如果车辆有较大的加、减速度, 即驾驶人对油门踏板或制动踏板进行正常的主动控制操作时, 系统也应屏蔽报警。

驾驶人在进行有意识的换道时, 为了保证行车安全, 一般在车道偏离或换道前, 驾驶人会观察左、右后视镜来掌握后方车辆的行车情况, 因此驾驶人会有左右转头动作, 脸部中心的横向坐标变化较大<sup>[9, 10]</sup>, 而驾驶人无意识偏离车道时, 不存在这种左右转头的情况, 驾驶人的面部朝向或注视方向相对固定。因此, 检测在发生车道偏离时刻之前一段时间内驾驶人是否有左右转头动作, 依此来判断该车道偏离是否为驾驶人的有意识行为。

采用 Viola-Jones (VJ) 方法进行人脸中心横坐标检测<sup>[11]</sup>, 该方法使用一个完整的图像来表示人的脸部, 并根据脸部的 1 个或多个特征, 训练所有获得的弱分类符 (各个特征), 将它们组合在一起形成强分类符, 级联强分类符作为最终的识别符以检测人脸; 该方法识别人脸的速度极快, 且能获得 95% 的高识别率, 是现有方法中性能最好的。然后使用 Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) 方法对人脸进行跟踪<sup>[12]</sup>, 该方法可以从未

加标识点的正面人像视频系列中通过特征纹理信息直接获取人脸某些特征点的位移,从而对人脸进行跟踪。采用VJ和KLT方法对驾驶人左右摆头动作进行检测、跟踪所得到的结果如图8所示。

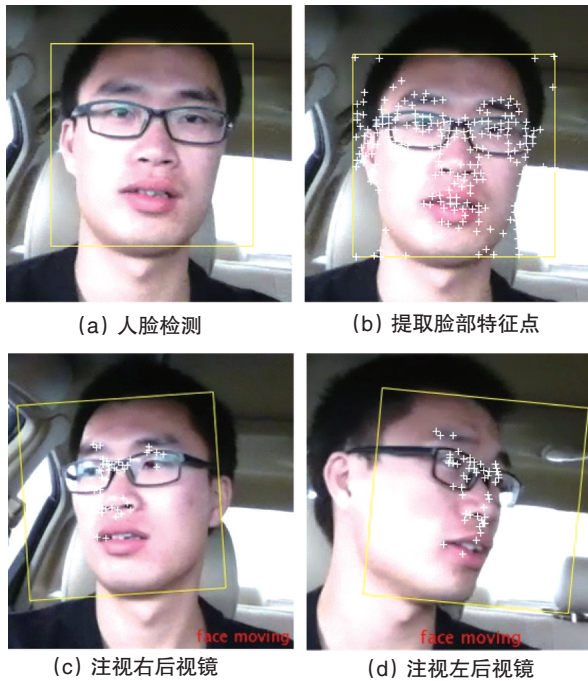


图8 驾驶人正常驾驶时的检测及跟踪结果

Fig. 8 Detection and tracking effect during normal driving

图9所示是一组驾驶人行车过程中的脸部中心横坐标的变化情况,该段视频中驾驶人注视左右后视镜和内后视镜各1次。

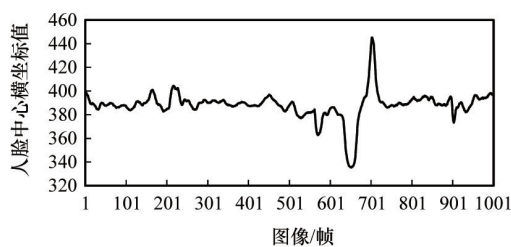


图9 人脸中心横坐标的变化情况

Fig. 9 Change of the x-coordinate of the face center

通过检测计算得到驾驶人脸部中心横坐标的偏离值,用于判断驾驶人是否存在左右转头的动作。分析车道保持阶段驾驶人脸部中心横坐标的偏离值,假设这组数据服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ ,求得其均值 $\mu$ 的95%的置信上限为8.17。脸部中心横坐标偏离值随图像数量的变化情况如图10所示,可以看出,图像前500帧为车道保持阶段,驾驶人注视区域主要集中在道路前方,脸部中心横坐标的偏离值一般不超过10,即使

偶尔有超过10的情况发生,但不会超过20;图像500~700帧为换道意图阶段,驾驶人注视内后视镜时,有一定的转头幅度,脸部中心横坐标偏离值超过20,峰值为30左右,但当驾驶人转头注视左右后视镜时,转头幅度较大,脸部中心横坐标偏离值远远大于20,峰值接近60。因此,通过检测人脸中心横坐标偏离值是否超过20来判断转头动作的阈值。

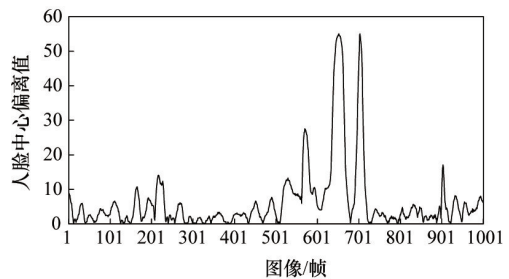


图10 人脸中心偏离值的变化情况

Fig. 10 Change of face center deviation from the mean distance

综上所述,结合车速、转向信号以及驾驶人的头部动作状态,判断驾驶人的换道意图,如果驾驶人在对车辆进行主动控制,即使车辆有偏离车道的趋势也无需报警,以减少对驾驶人不必要的干扰。构建的车道偏离预警系统的报警决策算法如图11所示。

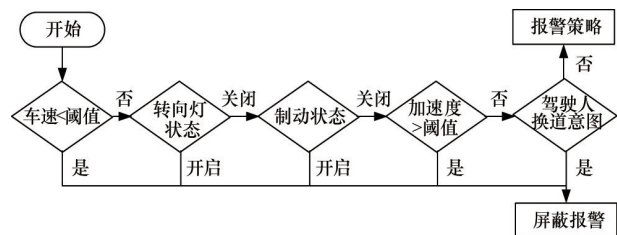


图11 系统报警决策算法

Fig. 11 Flow chart of the alarm masking algorithm

#### 4 试验验证

根据建立的考虑驾驶人换道意图的车道偏离预警决策算法,使用Matlab软件编写GUI界面,对算法进行离线试验。

在高速公路进行实车试验,使用CCD摄像头采集车辆前方道路以及行车过程中驾驶人头部的AVI视频作为试验数据。

试验结果如图12所示。车辆在车道中央保持直行时,驾驶人注意力主要集中在道路前方,系统显示安全,如图12(a)所示。车辆发生车道偏离,在发生车道偏离前10 s驾驶人未有转头看后视镜的动作,系统显示危险,如图12(b)和(d)所示。车辆发生车道偏离,在发生车道偏离前10 s内驾驶人有转头看后视镜的动作,系统显示安全,如图12(c)所示。



图 12 试验结果

Fig. 12 Results of the test

对采集得到的试验数据进行统计分析,得到人脸转动识别结果如表 1 所示,驾驶人在注视左右后视镜时,头部转动幅度较大,识别率在 95% 以上,驾驶人在观察内后视镜时,头部转动幅度较小,识别率只有 72%。在试验过程中,传统预警算法的报警次数为 39,本文考虑驾驶人换道意图预警算法的报警次数为 27,屏蔽了 12 次报警,表明在驾驶人有意偏离车道但未打转向灯时,传统的车道偏离预警算法发出报警,而本文算法能够有效地屏蔽此类报警,降低了系统的误警率。

表 1 人脸转动识别结果

Table 1 Results of face rotation detection

项目	左后视镜	右后视镜	内后视镜
实际次数	107	81	93
检测结果	102	79	67

## 5 结论

运用 Steerable Filter 方法对所采集的车道图像信息进行滤波,采用局部搜索区域法提取车道线参数,经试验,该车道线识别算法的识别率可达 91.27%。在准确检测到车道线的基础上,借助摄像头监视驾驶人的头部运动状态,结合车辆本身一些运动参数及状态,如车速、转向灯状态等,判断驾驶人车道偏离意图,建立了一种仅基于图像信息的车道偏离预警算法,由于仅对图像进行处理,计算速度快,鲁棒性强。最后,使用 CCD 摄像头进行实车采集车辆前方道路视频和行车时驾驶人头部监视视频,使用 Matlab 软件对采集得到的视频进行算法验证和系统仿真,结果表明,本文算法是可行的,能有效降低系统的误警率,提高系统的可靠性。

### 参考文献 (References)

[1] 刘志强, 蔡策, 童小田. 我国道路交通安全现状分析[J]. 公路交通科技, 2001, 18 (2): 70-73.  
Liu Zhiqiang, Cai Ce, Tong Xiaotian. Currently situation analysis of road safety in China[J]. Journal of Highway and Transportation

Research and Development, 2001, 18(2): 70-73.  
[2] Liu C, Subramanian R. Factors related to fatal single-vehicle run-off-road crashes[R]. Washington: National Highway Traffic Safety Administration, 2009.  
[3] Fardi B, Scheunert U, Cramer H, et al. A new approach for lane departure identification[C]//Intelligent Vehicles Symposium, 2003 Proceedings IEEE. New York: IEEE, 2003: 100-105.  
[4] Chen M, Jochem T, Pomerleau D. AURORA: A vision-based roadway departure warning system[C]//Proceedings of Human Robot Interaction and Cooperative Robots, 1995 IEEE/RSJ International Conference on. New York: IEEE, 1995: 243-248.  
[5] Dagan E, Mano O, Stein G P, et al. Forward collision warning with a single camera[C]//Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE. New York: IEEE, 2004: 37-42.  
[6] 王荣本, 余天洪, 郭烈, 等. 基于机器视觉的车道偏离警告系统研究综述[J]. 汽车工程, 2005, 27(4): 463-466.  
Wang Rongben, Yu Tianhong, Guo Lie, et al. A survey on the research of vision-based lane departure warning system[J]. Automotive Engineering, 2005, 27(4): 463-466.  
[7] Kim Z W. Robust lane detection and tracking in challenging scenarios [J]. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2008, 9 (1): 16-26.  
[8] Borkar A, Hayes M, Smith M T. A novel lane detection system with efficient ground truth generation[J]. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2012, 13(1): 365-374.  
[9] Doshi A, Trivedi M M. On the roles of eye gaze and head dynamics in predicting driver's intent to change lanes[J]. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2009, 10(3): 453-462.  
[10] 刘志强, 於以辰, 汪澎. 驾驶员注视行为模式识别技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 6(23): 80-85.  
Liu Zhiqiang, Yu Yichen, Wang Peng. Study on driver's gaze behavior pattern recognition technology[J]. China Safety Science Journal, 2013, 6(23): 80-85.  
[11] Hefenbrock D, Oberg J, Thanh N, et al. Accelerating Viola-Jones face detection to FPGA-level using GPUs[C]//Field-Programmable Custom Computing Machines, IEEE Annual International Symposium on. New York: IEEE, 2010: 11-18.  
[12] 段鸿, 程义民, 王以孝, 等. 基于 Kanade-Lucas-Tomasi 算法的人脸特征点跟踪方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(3): 279-283.  
Duan Hong, Cheng Yimin, Wang Yixiao, et al. Tracking facial feature points using Kanade-Lucas-Tomasi approach[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(3): 279-283.

(责任编辑 韩星明)