

驾驶人面部器官位置快速定位算法

郭克友¹, 余贵珍²

GUO Ke-you¹, YU Gui-zhen²

1.北京工商大学 机械自动化学院,北京 100037

2.北京航空航天大学 交通科学与工程学院,北京 100083

1.College of Mechanical Engineering and Automation, Beijing Technology and Business University, Beijing 100037, China

2.Department of Automobile Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China

E-mail: guoky@th.btbu.edu.cn

GUO Ke-you, YU Gui-zhen. Rapid algorithm for driver face organ detection. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(29): 200-203.

Abstract: Monitoring and analyzing the tired and attentional state by using the machine vision is one of hotspots in the assistant safe driving system. The idea of face location is introduced firstly and the techniques for face detection in this system are discussed mostly. By analyzing the actual driving state of drivers, the algorithm that based on Gray Variance locates the face of a driver, using the location of the extremums in the projective curve divides the facial organs into separate areas, deals with the areas based on OSTU algorithm and gets organs' contours, and obtains the location of facial organs finally, is proposed and the techniques of which are introduced in detail. Practice proves that the proposed algorithm acts in real time and obtains excellent effect, which lays a good foundation for further information-collecting and state-analyzing of driver's eyes.

Key words: machine vision; driver behavior surveillance; face organ detection; real-time

摘要: 利用机器视觉对驾驶人疲劳状态及注意力状态进行监测和分析是安全辅助驾驶领域内的研究热点之一,而对驾驶人面部器官进行准确定位则是状态分析的前提条件。首先介绍了驾驶人面部定位的思路,然后重点讨论了驾驶人面部器官检测的技术环节。通过对驾驶人实际驾驶情况的分析,提出基于灰度方差定位驾驶人面部位置,利用投影曲线极点位置分割面部器官独立区域,对每一个独立区域进行 OSTU 计算和轮廓提取,最终获得面部器官的位置,对算法的关键技术环节进行了详细介绍。实践证明,采用的处理算法实时性好,准确率高,效果非常理想,为下一步的驾驶人眼睛状态分析及相关信息提取打下了良好的基础。

关键词: 机器视觉; 驾驶人行为检测; 面部器官检测; 实时

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.29.057 **文章编号:** 1002-8331(2008)29-0200-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP29

1 概述

用于驾驶人安全辅助驾驶的监控技术属于主动安全领域,具体的方法有很多种,如驾驶人驾驶行为监测、车距保持、驾驶人视野拓展等等,其中基于机器视觉的驾驶人驾驶行为监测是近年来比较热点的一个研究课题。目前的主要研究内容包括驾驶人驾驶违规行为的监控,如驾驶时视线不集中、未佩戴安全带、长时间与他人交谈等,驾驶员疲劳驾驶行为的监控,如驾驶时目光呆滞、驾驶时打瞌睡等。目前国内该领域内的研究主要集中在高校,国际上主要集中在大学及科研院所, Richard Grace 等研制的基于 PERCLOS 监测的驾驶疲劳报警装置,为研制高性价比的车载监测装置开辟了一条新的思路^[1]; Haisong Gu 提出利用红外传感器及 Gabor 算子获取眼睛的特征^[2]; 澳大利亚 The Australian National University 和 Volvo 技术开发部门联合开发了 FaceLAB 系统,良好条件下的误差可达到 $\pm 1 \text{ mm}$ 、 $\pm 1^\circ$ ^[3],但因系统复杂度等问题距实用化还有一定的距离。

2 已有技术分析

对于一个实时性视频监控系统而言,算法实时性和准确率是两个非常重要的考虑因素。众所周知,实时性与准确性是一对彼此相互限制的矛盾体。算法的准确性愈高,算法需要考虑的情况愈复杂,计算需要消耗的时间就越多,实时性越差;而实时性要求愈高,对于算法所需时间的限制就愈严格,有时就会被迫放弃一些本应考虑在内但属于影响因子不大的情况,从而会影响到算法的准确性及鲁棒性。

决定实时性的主要因素是算法的理论基础。目前应用在驾驶人面部检测的算法主要有以下几种,一是利用人体皮肤颜色特性进行驾驶人面部检测^[4-6],算法建立在人体肤色模型的基础上,复杂度较低,因此实时性较高。但驾驶人面部图像中的皮肤颜色受光照影响很大,当在面部区域产生光斑、阴影时,会对算法的定位精度造成很大影响。同时,夜间驾驶及配戴墨镜等情况也是该技术无法回避的技术难题;二是利用人的瞳孔对红

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA11Z213)。

作者简介: 郭克友(1975-),男,博士,主要研究方向为安全辅助驾驶。

收稿日期: 2008-04-16 **修回日期:** 2008-05-19

外光反射能力的生理特性^[7-9],该算法定位速度快,复杂度低,不受夜间驾驶及配戴墨镜等情况限制,因此是一个非常具有吸引力的研究方向。但由于人的瞳孔在强光照射或周围景物亮度较高时会缩小,导致红外线反射形成的反射斑点^[9]过小,最终导致算法失败;三是利用基于知识的 Adaboost 算法构建人脸检测器^[10-11],算法的复杂度较高,实时性可达 10 帧/s,实时性较好。但受外界光线干扰较为严重,同时夜间驾驶及配戴墨镜等情况也无法给出良好的解决方案。其他如神经网络、主动轮廓模型、小波理论、遗传算法等理论等都曾尝试在面部检测的过程中加以运用,但或是对图像条件要求严格,或是实时性不佳,都存在的问题。

3 视觉监测系统

在本文研究中,驾驶人驾驶行为监测及预警系统的结构主要由 CCD 摄像头、红外光源、图像采集卡、计算机、定时电路及其它辅助设备组成,如图 1 所示。

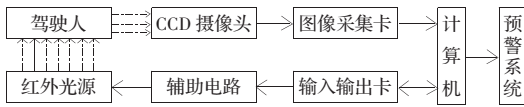


图1 驾驶人驾驶行为视觉监测系统组成

其中,摄像头为单目,固定在驾驶人前方用于提取驾驶人面部图像,摄像头获取的驾驶人面部图像后通过图像采集卡传送给计算机,通过算法分析判断后给出相应的警告措施。红外光源由两组不同波长的红外光源组成,通过计算机及辅助电路完成不同波长的光源切换。红外光源直接照射驾驶人面部,使计算机得到的图像为红外反射图像。

本文采用红外光源解决佩戴墨镜、夜间驾驶等等问题。当在瞳孔红外反射光斑明显的情况下,可采用差分算法进行驾驶人眼睛直接定位。当瞳孔受外界强光照射导致缩小,红外反射斑点不再明显,差分算法可靠性严重降低,此时需要改用其它算法获取驾驶人眼部状态。

考察驾驶室内的实际情况,总结有利于解决红外反射斑点不明显时面部检测问题的因素,可以得出如下四个有利条件:

条件一:由于驾驶人只能有一个,所以监测图像视野中仅存在一个驾驶人的面部;

条件二:由于监测系统图像采集的照明光源为红外光源,因此驾驶人面部光线分布相对均匀;

条件三:由于监测系统的图像采集装置安装位置可以调整,摄像头的焦距可以选择,所以在图像视野中,驾驶人的面部区域可以占到图像视野内相当一部分比例;

条件四:由于驾驶人驾驶时应坐在座椅之上,背部靠着座椅靠背,所以在正常驾驶状态下,驾驶人头部在图像中的位置变化范围应集中在一定的区域之内。

由于以上四点有利条件的存在,本监测系统不存在其他面部检测系统中存在的诸如面部个数、大小不定,面部所占图像比例变化无常,面部位置变化不定等困扰面部检测算法精度及实时性等问题。由于以上四个有利条件合理并符合实际情况,所以实现实时定位驾驶人面部就具有了可能性。不同摄像机照射角度、不同室外光照条件下驾驶室内实际图像及三维图如图 2 所示。

由图 2 左图中所示图片可以看出,驾驶人面部在红外光照射下,无光斑处的面部区域变得非常柔和。若以图像的横、纵坐

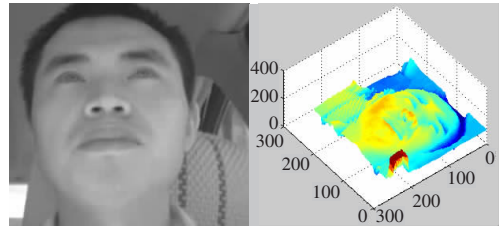


图2 红外光照射下面部图像及其三维显示

标为横、纵坐标,坐标点对应的像素灰度值为垂直坐标绘制三维图,可得如图 2 右图所示的图片。

分析图 2 中所显示三维图像,在红外光的照射下,尽管面部区域内的眉毛、眼睛、鼻孔及嘴唇等位置存在着像素灰度值变化剧烈的区域。但除此之外仅就驾驶人面部而言,面部连续区域内的像素灰度值变得连续,不再存在阶跃式的变化。相反,由于存在面部轮廓与图像背景的边界、发迹线等因素,导致驾驶人头部边缘附近的像素灰度值变化剧烈。

4 驾驶人面部器官检测

4.1 驾驶人面部定位

系统的监控图像大小为 360 像素×288 像素,如图 3 所示。整幅图像分成两种区域,在全部 360 像素×288 像素大小的区域内进行面部检测之后的眼睛跟踪处理,称为眼睛跟踪区域;由于驾驶人头部的常见位置靠近驾驶座椅靠枕,所以将这个区域用于驾驶人面部检测的区域,称为面部检测区域。如果由于驾驶人头部的运动导致面部超出了这个区域,则放弃面部检测。面部检测区域的大小取为 256 像素×256 像素,准确位置如图 3 中矩形区域所示。



图3 驾驶人视觉监测系统的监控图像

分布在驾驶人面部区域上的分割区域的均值、方差与处于区域边缘、黑暗背景及亮斑处的分割区域的均值与方差相比较差别将会很大,利用这一特性即可确定驾驶人面部位置。

如果以大小 16 像素×16 像素为单位区域进行区域划分,则可将驾驶人面部检测区域分成 16×16 个单位区域。根据算法的要求,调整监测摄像头的位置和焦距,使驾驶人面部区域占驾驶人面部检测区域面积的 1/3~1/4,则在驾驶人面部检测区域的 16×16 个单位区域中,驾驶人面部在水平方向可占到 8 个单位区域,垂直方向可占到 10 个单位区域,根据测试,这样的比例对于面部检测可行。

首先计算驾驶人面部检测区域的 16×16 个单位区域均值与方差,其次对方差与均值数组进行滤波处理。根据图像灰度值分布情况确定图像阈值数组的动态阈值,方差数组的阈值取固定值 100 即可。然后利用区域标示算法计算方差数组的最大连通区域。将最大连通区域数组与均值二值化数组中同时为前景点的点确定为面部区域的点,即可得到驾驶人面部的大致区域。

在上述粗定位的基础上,将准面部区域数组进行滤波处理即可得到驾驶人面部的准确位置。滤波原则如下:去掉前三列、后三列之中垂直起始点在下半区域、垂直终点在上半区域的列。因为驾驶人头部应在图像视野的中部区域,即头部上端应

在上半区域, 头部下端应在下半区域, 否则驾驶人的眼睛或嘴已经从监测图像视野中消失, 面部检测已无实际意义。随后利用投影法将准面部区域数组进行水平投影及垂直投影, 这样, 垂直投影数组中的最大连续长度的左右端坐标值即为头部图像的左右位置, 而垂直投影数组中的最大连续长度的左右端坐标值即为头部图像的上下位置。图 4 为算法定位结果示例, 算法流程图如图 5 所示。



图 4 面部检测示例

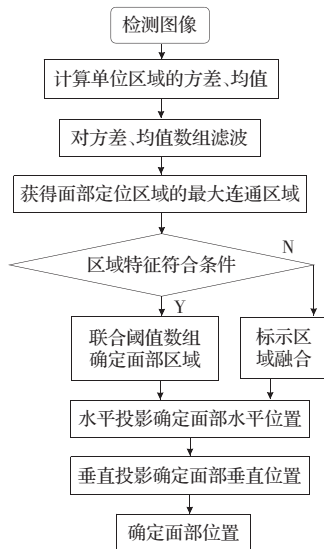


图 5 面部检测流程图

4.2 驾驶人面部器官定位

在驾驶人面部定位的基础上, 即可开始驾驶人面部器官的定位工作。如果对驾驶人面部进行整体的 OSTU 阈值分割提取面部器官位置, 则无法解决面部光线分布不均匀对 OSTU 阈值算法造成的影响, 为尽可能降低光线不均匀的影响, 本文将驾驶人面部分成几个区域, 分区域进行 OSTU 计算, 这样可以将面部光线分布不均匀的影响程度降低, 从而更准确地提取面部器官轮廓。针对人脸器官的分布特性, 对面部定位结果作水平、垂直方向的灰度投影, 得如图 6 所示。分析图 6 中右侧曲线, 由于水平方向上的眉毛、眼睛等暗色区域占整体面部宽度比例较大, 水平投影后这些暗色区域的水平位置与投影曲线的极小点位置对应关系清晰明确, 由图中可以判断该曲线的极小点 1、极小点 2、极小点 3、极小点 4 在水平方向上分别对应着人脸器官中的眉毛、眼睛、鼻孔及嘴部的水平位置。分析图中下方的曲线, 可以知道该曲线的极大点 5 所在的位置对应着驾驶人面部的对称中心线所在位置。获得这些曲线的极点位置即可计算出驾驶人面部器官位于监测图像视野中的大致区域。文献[12]利用极小点 6 和极小点 7 的位置确定驾驶人的眼睛所在的水平方向的位置, 在本文的试验条件下, 由于在垂直方向上眼睛及眉毛所占的暗色区域尺寸与整体的垂直方向上的比例不大, 导致垂直方向上的灰度投影后产生的曲线极小点与眼睛位置之间的对应关系并不稳定, 如果面部图像存在头发区域, 则很容

易受到驾驶人头顶左右两侧头发区域暗色像素的影响, 投影后产生如极小点 7 处所示的形状。在这种情况下极易导致眼睛定位算法的失效。为解决这一问题, 将采取面部区域水平灰度投影计算极小值 1、2、3 和 4 的位置, 进而获得极小值 1、2、3 和 4 左右的两个极大值点位置, 按照两个极大值的位置确定分割线水平位置, 根据面部区域垂直灰度投影计算极大点 5 位置, 得到面部区域对称中线位置, 则水平和垂直分割线将面部区域分割成独立的几个区域, 分割区域如图中区域 I、II、III、IV、V、VI 所示, 对这些区域进行 OSTU 动态阈值分割及区域连通标示, 然后利用面部器官的几何特征最终确定各面部器官的准确位置。面部器官定位结果如图 7 所示, 本例中根据需要仅对驾驶人眉毛、眼睛和鼻孔进行了定位计算。图 7 中上面两行图像为同一段视频的算法处理示例, 下面一行的图像为其他视频的算法处理示例。

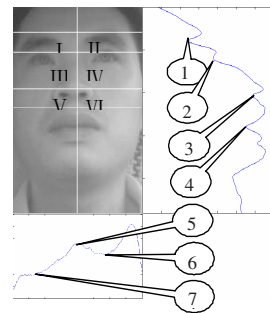


图 6 面部灰度投影曲线示意图

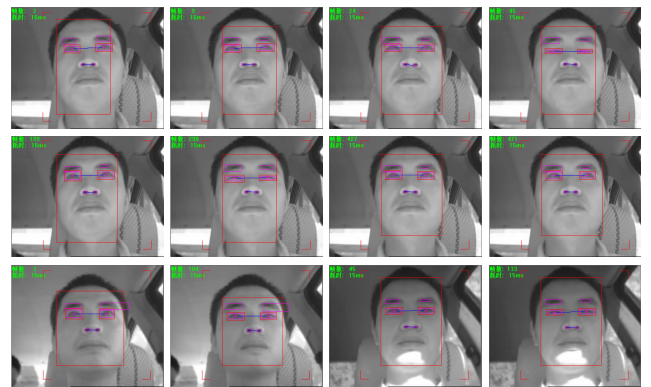


图 7 面部主要器官位置检测示例

4.3 算法优缺点分析及下一步工作

本文算法的硬件基础如下, CPU 主频为 Inter Pentium4 3.00 GHz, 内存为 1 GB, 用于面部检测算法的图像大小为 256 像素×256 像素。算法所需时间与图像质量、面部红外光线分布情况直接相关。图像质量好及光线分布均匀的情况下图像处理时间相对较短, 约为 16 ms 左右, 图像质量较差及光线分布不均匀的情况下图像处理时间相对较长, 约为 20 ms 左右, 总体平均耗时为 18 ms 左右, 实时性很好。本文共取驾驶室内条件下的驾驶人面部偏转角度不大的正面图像 479 幅, 处理结果为准确识别 461 幅, 误识别 18 幅, 准确率 96.24%。误识别的 18 幅图像中除 10 幅图像是因为图像中有大面积光斑的原因以外, 另外 8 幅图像的识别错误与驾驶人的头部偏转程度有很大关系。

算法在头部偏转角度较小时的定位结果可靠, 但当头部偏转角度超出设定范围时算法精度就会下降。因此, 当驾驶人头部发生偏转、旋转等运动时, 上述算法将可能失效。为解决这个

问题,本文提出了下面的技术思路。由于眼睛位置的正确性可以通过相关判据进行分析判断,所以可通过记录每一帧面部检测获得的正确眼睛位置,形成实时更新的眼睛位置序列。当面部检测失败无法得到正确眼睛位置时,则根据已获得的眼睛位置序列预测当前帧的眼睛位置。在眼睛位置序列有效的情况下(即眼睛未丢失),以眼睛位置序列计算结果为主,根据面部检测算法得到的眼睛位置数据为辅。当眼睛位置丢失需重新定位时,则以面部检测结果为主,在面部检测过程中定位失败的数据则抛弃不用,直至重新获得正确的眼睛位置序列。

5 结论

在驾驶人头部偏转角度不大,约 -15° 至 $+15^{\circ}$ 之内时,算法定位准确率较高,实时性好,对光线的抗干扰能力较强且不受驾驶时间、是否佩戴墨镜等条件限制,实际应用价值较大。

本文利用数理统计理论,针对驾驶人瞳孔处红外反射斑点不明显的红外图像,对驾驶人的面部器官进行定位,取得了非常理想的定位结果和良好的实时性。为下一步对驾驶人的眼睛位置跟踪、状态分析、驾驶人面部朝向计算及驾驶人驾驶行为的判断提供了非常好的基础。

参考文献:

- [1] Smith P, Shah M and Lobo N V. Monitoring head eye motion for driver alertness with one camera[C]//Proceeding Soft the International Conference on Pattern Recognition(ICPR'00), Session 2000.
- [2] GU Haisong, JI Qiang, ZHU Zhiwei. Active facial tracking for fatigue detection[C]//Proceedings of Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Orlando, 2002: 137-142.

- [3] Fletcher L, Petersson L, Zelinsky A. Driver assistance systems based on vision in and out of vehicles[C]//Proceedings of the IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, 2003: 322-327.
- [4] Singh S, Papanikolopoulos N P. Monitoring driver fatigue using facial analysis techniques[C]//IEEE/IEE/JSI International Conference Intelligent Transportation Systems, Tokyo, 1999: 314-318.
- [5] Veeraraghavan H, Nikolaos P. Detecting driver Fatigue Through the Use of Advanced Face Monitoring Techniques[R]. Minnesota: Department of Computer Science and Engineering University of Minneapolis, 2001.
- [6] Garcia C, Tziritas G. Face detection using quantized skin color regions merging and wavelet packet analysis[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 1999, 1(3): 264-277.
- [7] Ji Q, Zhu Z, Lan P. Real time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue[C]//IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, 53(4): 1052-1068.
- [8] Zhu Z, Ji Q, Fujimura K. Combining Kalman filtering and mean shift for real time eye tracking under active IR illumination[C]//Proc of IEEE International Conference on Pattern Recognition, 2002, 4: 318-321.
- [9] Ebisawa Y. Improved video based eye-gaze detection method[J]. IEEE Trans Instrum Meas, 1998, 47(2): 948-955.
- [10] Vural E, Cetin M, Ercil A, et al. Drowsy driver detection through facial movement analysis[C]//ICCV-HCI, 2007: 6-18.
- [11] Jones M J, Viola P. Fast multi-view face detection[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003.
- [12] 张明恒, 王荣本, 郭烈. 基于灰度投影的驾驶员图像[J]. 交通与计算机, 2006, 24(4): 76-79.

(上接 192 页)



(a)原图 (b)K均值聚类算法 (c)本文方法

图2 噪声图片分割效果图

本实验在 matlab 6.5 下完成,实验图像来源于 <http://www.cs.cmu.edu/~cil/v-images.html>。

7 结论与展望

提出了对彩色图像进行一次粗分割得到最大子目标区域再利用改进的 K_均值聚类算法进行精确分割,实验取得了较好的结果。但当彩色图像包含较多且小的子目标时,该方法花费的时间较多,下一步工作将对实时彩色图像分割进行研究。

参考文献:

- [1] Deshmukh K S, Shinde G N. An adaptive color image segmentation[J]. Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, 2005, 5(4): 12-23.
- [2] Navon E, Miller O, Averabuch A. Color image segmentation based on adaptive local thresholds[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23: 69-85.
- [3] Sonka M, Hlav V, Boyl R. 图像处理、分析与机器视觉[M]. 2版. 艾海

舟 武勃,译.北京:人民邮电出版社,2003:84-140.

- [4] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京:科学出版社,2003:180-215.
- [5] Karatzas D, Antonacopoulos A. Colour text segmentation in web images based on human perception[J]. Image and Vision Computing, 2006, 25(1): 564-577.
- [6] Angulo J, Serra J. Modelling and segmentation of colour images in polar representations[J]. Image and Vision Computing, 2006, 25(1): 475-495.
- [7] 林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(1).
- [8] 陆剑峰, 林海, 潘志庚. 自适应区域生长算法在医学图像分割中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 10(10): 2168-2173.
- [9] Kato Z. Segmentation of color images via reversible jump MCMC sampling[J]. Image and Vision Computing, 2006.
- [10] Shih F Y, Cheng Shouxian. Automatic seeded region growing for color image segmentation[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(1): 877-886.
- [11] Ortiz A, Oliver G. On the use of the overlapping area matrix for image segmentation evaluation: a survey and new performance measures[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27: 1916-1926.
- [12] Aghbari Z A, Al-Haj R. Hill-manipulation: an effective algorithm for color image segmentation[J]. Image and Vision Computing, 2006, 24: 894-903.
- [13] 杨勇, 郑崇勋, 林盘, 等. 基于改进的模糊 C_均值聚类图像分割新算法[J]. 光子·激光, 2005, 9(16): 1118-1122.