

文章编号: 1002-0268 (2007) 01-0147-04

基于 DSP 的嵌入式驾驶疲劳监测系统研究

韩相军¹, 梁艳荣², 关永¹

(1. 首都师范大学 信息工程学院, 北京 100037; 2. 华为技术有限公司北京研究所, 北京 100085)

摘要: 为了进行有效的、实时的、非接触式的驾驶员疲劳检测, 采取 NHISA 和 FHWA 推荐的非接触式疲劳检测方法 PERCLOS, 利用 TI 公司的专用图像处理 DSP 芯片 TMS320DM642, 构建了车载的基于 DSP 的嵌入式驾驶疲劳监测系统。首先使用肤色模型算法迅速定位人脸, 然后利用累积差分帧和 Hough 变换等实时图像处理技术来检测、跟踪眼睛, 分析眼睛的状态和提取眼睛的特征参数, 计算 PERCLOS 值、判断疲劳程度并采取报警或其他措施。试验结果表明, 系统的算法简单、快速、鲁棒性强。

关键词: 驾驶疲劳; PERCLOS; TMS320DM642; 人脸定位; 眼睛检测

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

Research on Embedded Driving Fatigue Monitoring System Based on DSP

HAN Xiang-jun¹, LIANG Yan-rong², GUAN Yong¹

(1. College of Information Engineering, Capital Normal University, Beijing 100037, China;

2. Beijing Institute, Huawei Technologies Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: To do effective, real-time, non-contact detection of driving fatigue, PERCLOS is a non-contact method that is recommended by NHISA and FHWA, and car-borne embedded fatigue driving monitoring system is constructed using TMS320DM642. At first human face is localized using skin color model, then ADF and Hough transform technology of the real-time images are used to detect, track and analyze the state of eyes and pick-up characteristic parameter of eyes, count closing time of eyes in succession within regular hour, judge the tired degree and take the corresponding measure in value of calculating out PERCLOS. Experiments show that the algorithm is simple, fast and robust.

Key words: driving fatigue; PERCLOS; TMS320DM642; human face localization; eyes detection

0 引言

从我国历年交通事故统计^[1]的大量案例分析中得出结论: 因司机疲劳驾驶所造成的道路交通事故约占总数的 15% 至 20%。目前, 已有一些简单实用的疲劳测评方法, 如脑电图 EEG、肌电图 EMG、眼动图 EOG、瞳孔测量计等, 但这些方法都是接触式的疲劳检测方法, 势必会给驾驶员造成一定的影响; 另外有些疲劳检测方法^[2]是在 PC 上通过运行相应的 PC 程序实现视频的采集、显示与存储, 所需处理时间较长, 很难实现实时的图像处理, 具有非实时性和滞后

性等缺点, 同时也不能成为一个独立的嵌入式系统。为了解决上述问题, 需要将嵌入式系统设计技术与数字图像处理技术、疲劳检测技术相结合研究小型化的、能够脱机工作的疲劳在线检测系统。

疲劳驾驶实时监测系统主要通过摄像和图像处理技术监测司机的眼睛特征来判断其是否疲劳。本文采用美国公路交通安全管理局 NHISA (National Highway Traffic Safety Administration) 和联邦公路管理局 FHWA (Federal Highway Administration) 推荐的驾驶疲劳测定方法 PERCLOS^[3] (percentage of eyelid closure over the pupil over time 眼睛闭合时间占某特定时间的百分率),

收稿日期: 2005-07-01

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目 (4032009)

作者简介: 韩相军 (1973 -), 男, 河南清丰人, 讲师, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式系统、人工智能。 (xiangjunhan@sina.com)

通过数字图像处理技术对眼睛进行实时检测和跟踪,分析眼睛的状态和提取眼睛的特征参数,计算 PERCLOS 值来判断司机的疲劳程度。研究经济型的车载疲劳监测系统对于降低交通事故发生率具有重大意义。

1 PERCLOS

1999 年 4 月美国联邦公路管理局 FHWA 召集各个大学有关研究驾驶疲劳方面的专家学者,讨论了 PERCLOS 和其他眼睛活动测量方法的有效性。研究认为,应该优先考虑把测量机动车辆驾驶员的 PERCLOS 作为车载的、实时的、非接触式的疲劳测评方法。PERCLOS 方法有 P70、P80 和 EM 三种判定标准,分别表示眼睛至少闭合 70 % 的时间占特定时间的百分率、眼睛至少闭合 80 % 的时间占特定时间的百分率和眼睛闭合时间占特定时间百分率的平均值。研究表明 P80 与疲劳程度间具有最好的相关性,因此采用 P80 作为本系统的疲劳检测判定标准。图 1 示出用 PERCLOS 的测量原理。只要测量出 $t_1 \sim t_4$ 值就能计算出 PERCLOS 的值 f 。图中: t_1 是眼睛最大瞳孔闭合到 80 % 瞳孔所用时间; t_2 是眼睛 80 % 瞳孔闭合到 20 % 瞳孔所用时间; t_3 是眼睛 20 % 瞳孔闭合到 20 % 瞳孔睁开所用时间; t_4 是眼睛 20 % 瞳孔睁开到 80 % 瞳孔所用时间。

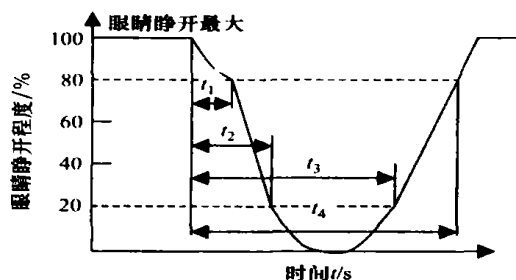


图 1 PERCLOS 值的测量原理

Fig. 1 Measurement principle of PERCLOS value

$$f = \frac{t_3 - t_2}{t_4 - t_1}, \quad (1)$$

其中, f 为眼睛闭合时间占某特定时间的百分率。

PERCLOS 的测量方法,需要用 CCD 连续捕获含有驾驶员脸部的图像,对脸部图像进行处理后得到眼睛图像,通过对眼睛检测和分析后确定眼睛的开闭。

2 监测系统硬件结构

一个完整的车载的嵌入式疲劳驾驶监测系统通常可由如下 5 部分构成:视频图像的采集、视频图像的

显示输出、各种同步逻辑控制、视频图像的分析处理和、结果显示及报警装置。其结构框图如图 2 所示。

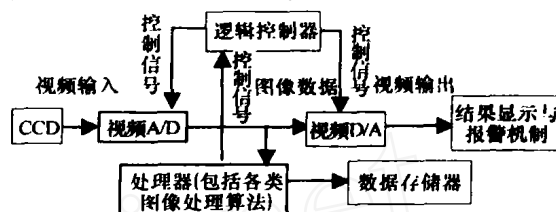


图 2 嵌入式驾驶疲劳监测系统的硬件结构框图

Fig. 2 Hardware map of embedded driving fatigue monitoring system

本文采用 SEED-VPM642 作为硬件平台,可支持 4 路 PAL/NTSC 制式视频输入,图像格式为 YCbCr 4 2 2, YCbCr 的颜色空间直接为基于肤色的实时人脸检测和定位提供了方便。图 2 中 DSP 为 TMS320DM642^[4],视频 A/D 采用视频解码器 TVP5150,视频 D/A 采用视频编码器 SAA7121,逻辑控制器采用 Xilinx Xc2s300 FPGA, TMS320DM642 可以直接和视频编解码器接口,该系统可同时完成 4 路视频图像的实时采集、传输以及各种视频压缩算法和图像处理算法的实现,根据不同的应用,可以编制不同的图像处理程序。TMS320DM642 有自己的图像处理库函数,可以实现各类图像处理算法。因此,该系统具有很大的灵活性与通用性。

3 监测系统的处理过程

通过研究发现,司机的眼睛活动符合以下条件:

(1) 司机的位置相对固定,即眼睛只在较为固定的一个小范围中移动;(2) 司机图像一般为正面图像,侧头现象较少。本文正是基于以上两个条件,利用眼睛的形状特征对眼睛进行检测和跟踪,求取眼睛的特征参数判断司机是否困倦。整个监测系统处理过程如图 3 所示。

3.1 图像预处理

图像预处理主要是对图像进行噪声滤除和消除光照的影响,提高图像质量。本文中采用中值滤波进行噪声滤除,与其他滤波方法相比,中值滤波不仅能有效滤除图像中的孤立噪声点,还能有效地保护边界信息。光照变化是影响人脸和眼睛检测性能的主要因素,为了消除可见光对检测的影响,本文采用红外 CCD 和 920 nm 的红外滤光镜来获取稳定的高质量图像,是为了在不同光照条件下都能得到稳定的面部图像和眼睛特征,系统在白天和晚上都能使用。

3.2 脸部定位

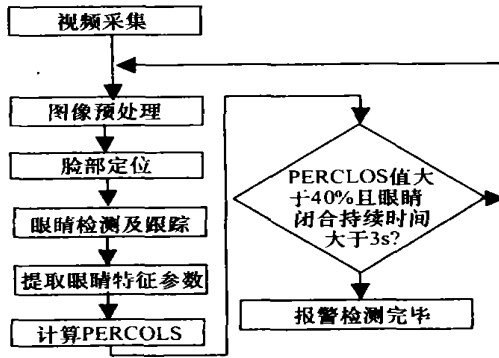


图 3 监测系统的处理过程

Fig. 3 Process of monitoring system

为了提高人脸分割的鲁棒性和缩小眼睛检测范围, 本文采用基于肤色^[5]和差分帧^[6]相结合的方法来确定视频序列中的人脸。这样不但可以排除类似肤色背景的干扰, 提高人脸检测的准确性, 还可以保证检测的实时性。

大量试验表明, 人脸肤色在 YCrCb 空间内的 Cr 和 Cb 值分布在特定的范围之内, 即像素 P 满足条件: $108 \leq Cb \leq 123$ 和 $135 \leq Cr \leq 156$, 则 P 是肤色点。对图像中的每一个像素 P (i, j)。

$$P(i, j) = \begin{cases} 255, & 108 \leq Cb(i, j) \leq 123 \text{ 且} \\ & 135 \leq Cr(i, j) \leq 156, \\ 0, & \text{其他。} \end{cases} \quad (2)$$

根据公式(2)可将图像转化为一个二值图像, 其中白色像素点为肤色点, 黑色像素点为非肤色点。

由于头部与背景的相对运动, 差分帧法是运动图像分析的有效方法。它检测图像序列相邻两帧之间的变化, 即直接比较两帧图像对应像素点的灰度值。帧 $f(x, y, j)$ 与帧 $f(x, y, k)$ 之间的变化可用一个二值差分图像 $DP_{jk}f(x, y)$ 表示:

$$DP_{jk}f(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } |f(x, y, j) - f(x, y, k)| > T, \\ 0 & \text{其他,} \end{cases} \quad (3)$$

式中, T 是阈值。

使用以上算法处理的图像如图 4 所示。

3.3 眼睛检测及跟踪

3.3.1 眼睛检测

眼睛检测的算法很多, 其中常用的有灰度模板^[7]、投影^[8]、用 Hough 变换找眼球和眼睑^[9]、累积差分帧^[6]等方法。通过对这些眼睛检测方法的试验验证比较, 并针对 DSP 的图像处理特点, 本文采用 Hough 变换与累积差分帧 (Accumulative Difference Frame, ADF) 相结合的方法来检测眼睛。



图 4 脸部定位结果

Fig. 4 Face localization results

在用 Hough 变换检测眼球前, 首先按照基于肤色和差分算法进行脸部定位的结果 (见图 4(d)、(e)), 这里利用 TMS320DM642 自带的 DATA_COPY() 函数对内存块传输操作, 在一屏上同时实时显示 4 个图像 (见图 4(a)、(b)、(c)、(d)), 再针对图 4(b) 灰度图像, 遵循“三停五眼”准则。利用“三停五眼”首先对图 4(b) 分割出眼睛位置的图像, 再用 Canny 算法提取边缘, 然后利用 Hough 变换标记出被检测到的眼睛。在一段时间内, 若无眨眼, 则表示无运动物体, ADF 为全黑; 若有眨眼, 则 ADF 中有白色区域, 表示检测到了眼睛。试验结果如图 5 所示。

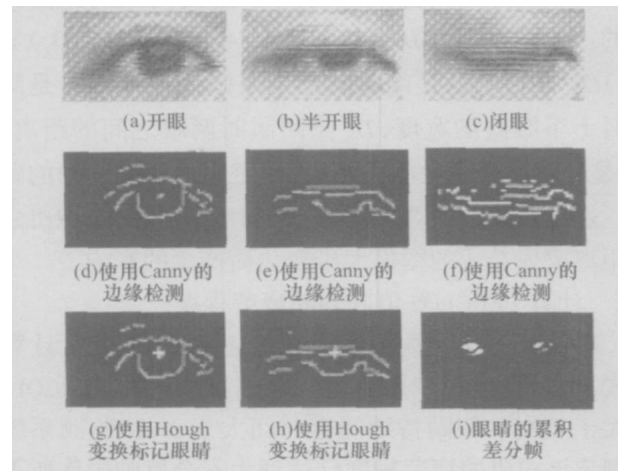


图 5 眼睛检测结果

Fig. 5 Eyes detection results

3.3.2 眼睛跟踪

眼睛跟踪最重要的是要找到眼睛在整幅图像中的特征参数。与其他面部器官相比, 眼睛有其独有的特征, 主要表现在形状上: 睁眼时为椭圆形, 有眼珠和眼白之分, 闭眼时成为“一”型 (如图 6 所示)。但是, 这些作为图像处理时的跟踪目标还不够可靠。由于眼睛的位置不可能经常发生突变, 假设下一帧图像的眼睛位置不会发生明显变化, 因此只需在上一幅图像提供的位置周围寻找眼睛的特征, 可以进一步提高速度, 如果移动的速度很快, 在该范围找不到符合眼

睛特征的图像,才需要在整幅图像中再次寻找。而在闭眼的时候,利用眼睛的边缘特征进行寻找,也可以获取眼睛的位置。

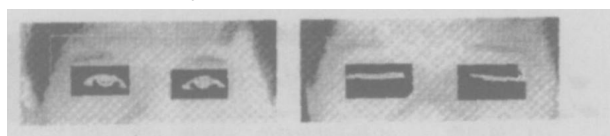


图6 睁、闭眼时眼睛的二值图

Fig. 6 Binary images of opened and closed eyes

3.4 提取眼睛特征参数

通过眼睛跟踪得到相应的眼睛位置后,需提取的参数有:眼睛的位置及大小,上下眼睑之间的距离,睁、闭眼的判断,眨眼的时间。以这些参数作为司机是否疲劳的主要依据。

判断眼睛的开闭状态是本文研究的主要目标,由于我们用瞳孔和眼睛的形状来寻找眼睛的位置,因此,有瞳孔出现时肯定是睁眼的状态。但是,如果人的头部离摄像头的位置较远,瞳孔的特点不是很明显,这时需要用眼睑的宽度来判断眼睛的开闭。为此,需要确定一个合适的阈值区分是否闭眼。

每幅图像眼睛开闭的阈值 T 是由两眼的距离确定的。 $T = (W_b + (D - D_b) \times 0.1 + W_z + (D - D_z) \times 0.1) / 2$ 。其中 W_b 是闭眼时上下眼睑的宽度, W_z 是睁眼时上下眼睑的宽度, D_b 是闭眼时两眼之间的距离, D_z 是睁眼时两眼之间的距离, D 是当前两眼之间的距离。这种阈值的计算方法减小了由于人眼和摄像机之间距离改变造成的图像大小变化而产生的影响。

3.5 计算 PERCLOS 值并判断疲劳程度

在驾驶中,连续测试司机的 PERCLOS 值(计算按式1)和眼睛持续闭合时间,如果司机的 PERCLOS 值大于 40%、眼睛持续闭合时间大于 3 s,监测系统就判定该司机的疲劳程度已达到为安全驾驶操作所不允许的界限,系统会考虑采取自动切断电路和油路等措施。这样可以避免司机发生交通事故。

4 试验结果

试验全部在实验室内进行,要求 CCD 固定安装在显示器上方,通过实验室内的同学作为测试人员进行测试,将其头部调整到镜头的中央并占据大部分画面。上述的算法直接在 CCS2.2.18 环境下执行,处理速度可以达到 25fps,能实时的跟踪和判断测试人员的疲劳状态。测试人员的眼睛图像检测和跟踪准确率如表 1 所示。

表1 测试人员的眼睛与疲劳检测准确率(单位:%)

Tab. 1 Accuracy of testers eyes and fatigue detection (unit: %)

测试人员	Track Rate	Eye State Rate	Proportion	PERCLOS (P80)
1	98.1	97.6	60	86.2
2	97.9	97.6	100	87.8
3	98.0	97.3	120	87.6
总计	98.0	97.5	90	87.2

表 1 中的 Track Rate 是在画面符合转头 < 70 度时的跟踪准确率; Eye State Rate 是在画面符合转头 < 70 度时的判断眼睛开、闭准确率; Proportion 是在整个驾驶过程中,转头超过 70 度或者头移动出了摄像头的视野范围的比例; PERCLOS (P80) 表示测试人员疲劳程度的准确率。

5 结语

从试验结果可以看出,本文提出的眼睛跟踪和监测方法在构建的嵌入式驾驶疲劳监测系统上运行是有效的,依据本方法计算出的 PERCLOS 值来判定疲劳状态的效果是令人满意的。但是,这些算法仅是在实验室进行了测试,与成功的产品还有一段距离,因此这些方法在可靠性和实用性方面还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 公安部. 交通事故统计 [EB/OL]. <http://www.safety.com.cn/jiaotong/jt05.asp?number=jt051d>.
- [2] 王荣本, 郭克友, 储江伟. 适用驾驶员疲劳状态监测的人眼定位方法研究 [J]. 公路交通科技, 2003, 22 (5): 111 - 114.
- [3] DAVID F, DINGES RICHARD. PERCLOS: A valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance [EB/OL]. <http://www.fmcsa.dot.gov>.
- [4] Texas Instruments. TMS320DM642 Technical Overview [EB/OL]. <http://www.ti.com>.
- [5] 张洪明, 赵德斌, 高文. 基于肤色模型、神经网络和人脸结构模型的平面旋转人脸检测 [J]. 计算机学报, 2002, (25) 11: 1 250 - 1 256.
- [6] 贾云得. 机器视觉 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 226 - 235.
- [7] YUILLE A, HALLINAN P, COHERN D. Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates [J]. Computer Vision, 1999, 8 (2): 99 - 111.
- [8] 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: 1 394 - 1 399.
- [9] TAKESHI T, TOSHIYUKI G A Hough Based Eye Direction Detection Algorithm without On-site Calibration [C]. Proc. VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications Conf. Sydney: 2003: 459 - 468.