

基于 DSP 的疲劳驾驶实时监测系统研究

韩相军, 关永, 王雪立

(首都师范大学信息工程学院, 北京 100037)

摘要: 较为理想的非接触式检测眼睛疲劳程度的方法是通过摄像技术获取眼部的动态图像, 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, 在一定的时间内连续统计眼睛的闭合时间, 计算出 PERCLOS 值来判断疲劳程度并采取相应的措施。把眼睛检测及跟踪算法移植到专用 DSP 上, 最终开发出疲劳驾驶的嵌入式实时监测系统。实验结果表明, 本系统的算法简单、快速、鲁棒性强。

关键词: DSP; 眼睛检测; 眼睛跟踪

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3751(2006)02-0047-03

Research on Fatigue Driving Real-time Monitoring System Based on DSP

HAN Xiang-jun, GUAN Yong, WANG Xue-li

(College of Information Engineering, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract: Dynamic picture of eye obtained with video technology is a comparatively ideal non-contact measuring eyes tired degree methods, and utilize ADF and Hough transform technology of the real-time images 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. Detection and track algorithm of eyes are transplanted the special-purpose DSP, develop the embedded real-time monitoring system of fatigue driving finally. Experiments show that the algorithm is simple, fast and robust.

Key words: DSP; eyes detection; eyes track

0 引言

随着机动车辆的增加, 交通事故发生量呈现出不断上升的趋势。从国内历年交通事故统计^[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, 势必会给司机造成一定的影响; 另外有些疲劳检测方法^[2]是在 PC 上仿真, 并非在线检测, 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。文中采用美国联邦公路管理局 (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), 通过摄像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我国交通事故发生率具有重要意义。

1 监测系统硬件结构

一个完整的基于 DSP 的疲劳驾驶实时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 and 处理、结果显示及报警装置。其结构框图如图 1 所示。

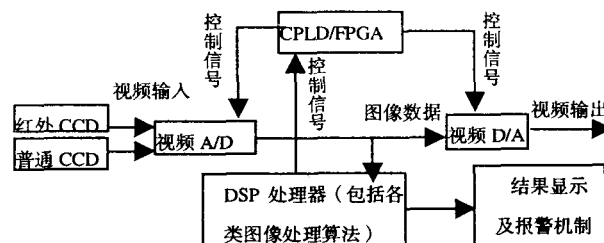


图 1 疲劳驾驶实时监测系统的硬件结构框图

文中采用 SEED-VPM642 作为硬件平台, 可支持 4

收稿日期: 2005-05-28

作者简介: 韩相军 (1973—), 男, 河南清丰人, 硕士研究生, 研究方向为人工智能、嵌入式系统; 关永, 副教授, 研究方向数字信号处理、嵌入式系统。

路 PAL/NTSC 制式视频输入,图像格式为 YCbCr4:2:2。使用普通 CCD 和红外 CCD 进行两路输入,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。

2 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:a. 司机的位置相对固定,即眼睛只在较为固定的一个小范围内移动;b. 司机图像一般为正面图像,侧头现象较少。文中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 2 所示。

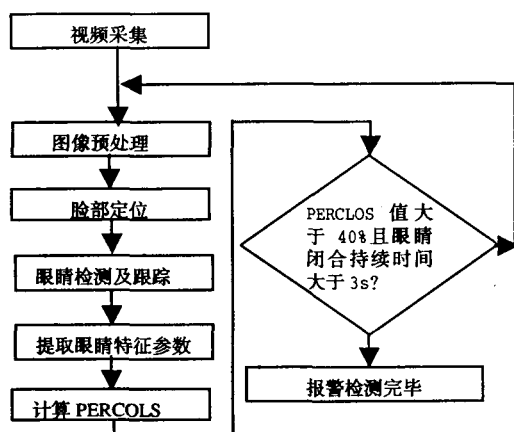


图 2 监测系统的处理过程

2.1 图像预处理

图像预处理主要是对图像进行噪声滤除和采用红外滤光镜来消除光照的影响,进而提高图像质量。文中采用中值滤波进行噪声滤除。与其它滤波方法相比,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,采用红外 CCD 和 920nm 的红外滤光镜来获取稳定的高质量图像。

2.2 脸部定位

为了提高人脸分割的鲁棒性和缩小眼睛检测范围,采用基于肤色^[4]和差分帧^[5]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。

大量实验表明,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 $P(i, j)$:

$$P(i, j) = \begin{cases} 255, & 108 \leq Cb(i, j) \leq 123 \text{ 且} \\ & 135 \leq Cr(i, j) \leq 156 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

根据公式(1) 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:

$$DP_{jk}f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{如果 } |f(x, y, j) - f(x, y, k)| > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中 T 是阈值。

使用以上算法处理的图像如图 3 所示。

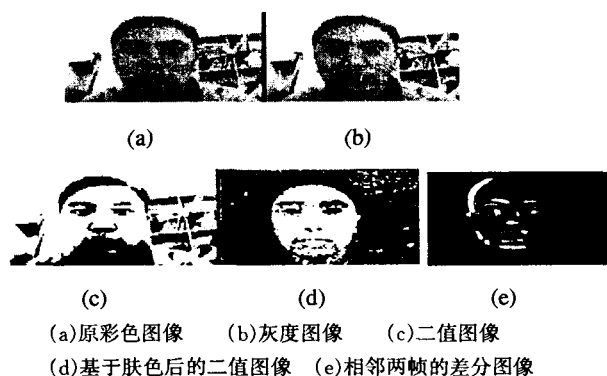
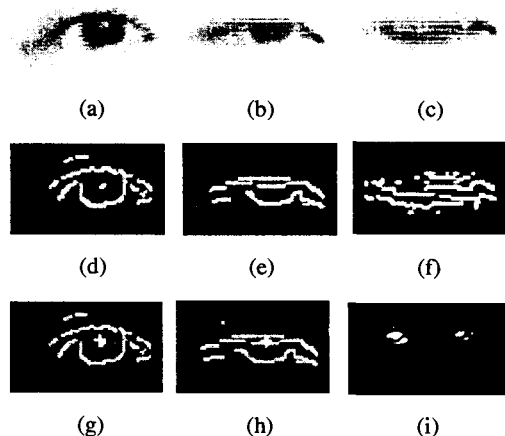


图 3 脸部定位结果

2.3 眼睛检测及跟踪

2.3.1 眼睛检测

眼睛检测的算法很多,其中常用的有灰度模板^[6]、投影^[7]、用 Hough 变换找眼球和眼睑^[8]、累积差分帧^[5]等方法。通过对这些眼睛检测方法的实验验证比较,并针对 DSP 的图像处理特点,文中采用 Hough 变换与累积差分帧(Accumulative Difference Frame, ADF)相结合的方法来检测眼睛。在用 Hough 变换检测眼球前,按照脸部定位的结果,遵循“三庭五眼”准则,首先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。实验结果如图 4 所示。



(a), (b), (c) 分别为开眼、半开眼、闭眼的灰度图像;
(d), (e), (f) 为使用 Canny 的边缘检测;
(g), (h) 为使用 Hough 变换标记眼睛; (i) 为眼睛的累积差分帧

图 4 眼睛检测结果

2.3.2 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。与其它面部器官相比,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5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5 睁、闭眼时眼睛的二值图

2.4 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。

判断眼睛的睁闭状态是文中研究的主要目标,由于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睁闭。为此,需要确定一个合适的阈值区分是否闭眼。

每幅图像眼睛睁闭的阈值 T 是由两眼的距离确定的。

$T = (Wb + (D - Db) \times 0.1 + Wz + (D - Dz) \times 0.1) / 2$
其中 Wb 是闭眼时上下眼睑的宽度, Wz 是睁眼时上下眼睑的宽度, Db 是闭眼时两眼之间的距离, Dz 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。

2.5 计算 PERCLOS 及判决机制

PERCLOS 是公认的、有效的精神生理疲劳程度的测量指标。PERCLOS 方法有 P70, P80 和 EM 三种判定标准,分别表示瞳孔被眼睑纵向遮住 70% 的时间比率、遮住 80% 的时间比率以及眼睑均方闭合率。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。

通过上述眼睛检测、跟踪与提取眼睛特征算法的处理,得到了各时间点的眼睑距离,有了这些数据,就可以求出任意时刻的 PERCLOS 值。设在连续的采样时段 T 内有 n 次闭眼,且第 i 次闭眼瞳孔被眼睑遮住 80% 的时间为 t_i , 则 PERCLOS 值可由下式求出:

$$\text{PERCLOS} = \sum_{i=1}^n t_i / T \quad (3)$$

在驾驶中,连续测试司机的 PERCLOS 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 3s,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,随即发出“滴滴滴”的警告声,如果司机 5s 内还继续驾驶车辆,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。

3 实验结果

实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。将上述的算法全部移植到 DSP DM642 中,处理速度可以达到 25fps,能实时地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(%)

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 $< 70^\circ$ 度时的跟踪准确率; Eye State Rate 是在画面符合转头 $< 70^\circ$ 度的判断眼睛睁、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。

4 结束语

从实验结果可以看出,文中提出的眼睛跟踪和监测方法是有效的,依据本方法计算出的 PERCLOS 值来判定疲劳状态,其效果是令人满意的。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/jtr05.asp> number = jtr051d, 2004 - 08 - 16/2005 - 04 - 02.
- [2] 周玉彬, 俞梦孙. 用红外图像实时跟踪和监测眼睛的方法[J]. 北京生物医学工程, 2003, 22(6): 104 - 108.
- [3] David F, Richard D. PERCLOS: A valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance[EB/OL]. <http://www.fmcsa.dot.gov>, 2005 - 04 - 02.
- [4] 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): 1250 - 1256.

拟战场环境多维信息中的一个重要组成部分。与一般虚拟环境的声音显示不同,在多维信息显示系统中要充分考虑全局因素,声音的强度不能以声源的真实距离计算,有时大距离也要求有声音,这时就必须增加听觉信息的提示。另外,由于同时观察到的实体数目较多,为了不使其产生混乱,必须按照一定的规则和顺序进行有选择的显示。

在本模拟实验中,为某实体的飞行过程加入了声音特效,增加了视景仿真的真实感,其关键步骤如下:

a. 定义存储声音数据的动态数组:

```
CArray < awSound *, awSound * > m_DanEngineSound;
```

b. 在相应的状态下让声音特效触发:

```
vgTriggerSnd(m_DanEngineSound.GetAt(Index));
```

c. 清除声音:

```
vgRelSnd(m_DanEngineSound.GetAt(Index));
```

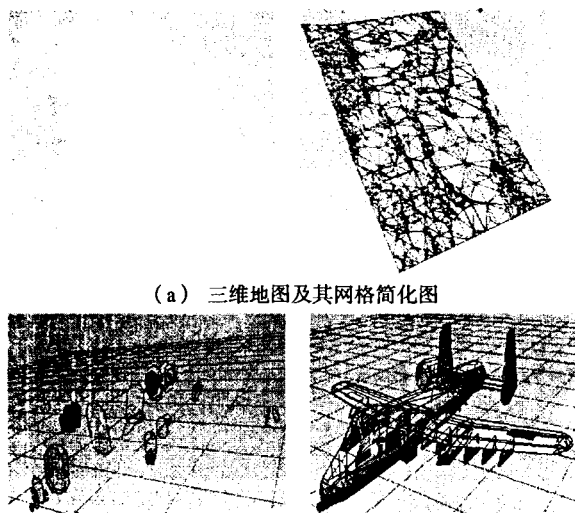
```
m_DanEngineSound.RemoveAll();
```

3 实验结果

(1)硬软件环境。

模拟仿真系统的硬件环境:图形工作站、若干 PC 机、网络交换机等。软件环境:Windows NT V4.0 操作系统, Oracle V8.1.6 数据库, MultiGen 三维建模软件, Vega3.7 SP for Windows 视景仿真驱动, Visual C++ 6.0 软件开发工具等。

(2)实体网格构建模型如图 1 所示。



(a) 三维地图及其网格简化图

(b) 景物主体截面图和构建图

图 1 地表面和飞机实体建模图

(3)三维视景部分图如图 2 所示。

图 2 所示的场景为部分战场视景,典型目标飞机清晰可见。使用文中介绍的方法进行调试,可以得到满意的效果。在作战仿真中,经应用证明,所述理论方法是可行的。

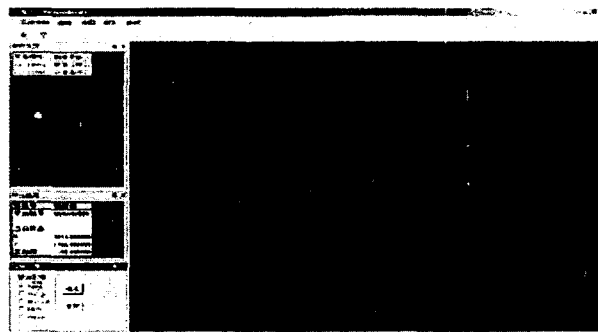


图 2 部分场景图

关于仿真视景的生成,主要结合实际应用进行讨论和实验,还有不少问题有待进一步研究,例如,改进 LOD 算法,快速准确地提取感兴趣区域(AOI),改进动态调度策略等等,以进一步提高实时性,这对作战仿真系统是至关重要的。

4 小结

利用 LOD 进行仿真建模,根据仿真任务的要求对已建模型进行场景渲染与显示。并给出了采用仿真建模工具 MultiGen 和视景驱动软件 Vega 进行战场三维态势显示的结果。与传统的图像绘制合成技术相比,不仅能够较好地保持细节,保持模型的拓扑结构和几何特征,而且提高了实时性和逼真度。

参考文献:

- [1] 彭雷,戴光明. LOD 模型生成算法研究[J]. 微机发展, 2005,15(4):27-29.
- [2] Bimber O, Frohlich B, Schmalstieg D. Real-time view-dependent image warping to correct non-linear distortion for curved Virtual Showcase displays[J]. Computers & Graphics, 2003,27(1):515-528.
- [3] 马小虎. 虚拟现实多细节层次模型的研究[D]. 杭州:浙江大学,1997.6-30.
- [4] Hoppe H. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering[A]. Proceeding of IEEE Visualization[C]. North Carolina, United States: Research Triangle Park, 1998.35-42.
- [5] 张宛方,苏鸿根. 3D 模型 LOD 算法的研究及其 OpenGL 实现[J]. 计算机工程与设计,2004,25(10):1790-1791.

(上接第 49 页)

- [5] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2000.226-235.
- [6] Yuille A, Hallinan P, Cohen D. Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates[J]. Computer Vision, 1992, 8 (2):99-111.

- [7] 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):1394-1399.
- [8] 王磊,莫玉龙,戚飞虎. 基于霍夫变换和眼睑弹性模板的眼睛特征提取[J]. 红外与毫米波学报,1999,18(1):53-60.