

基于 DM6437 的驾驶员疲劳检测系统

苑玮琦, 贾琦

(沈阳工业大学视觉检测研究所, 辽宁沈阳 110870)

摘要:介绍了一种基于 DM6437 的嵌入式驾驶员疲劳检测系统的总体设计方案。根据人眼的红眼效应,采用一种特殊的近红外光源,并通过 DSP 控制,使得系统实时采集到瞳孔亮暗程度不同的奇偶帧图像。利用这个特点,将奇偶帧差分图像与它自身大结构元素的中值滤波图像相减,从而快速准确地找到人眼区域。然后使用自定义模板搜索该区域,找到上下眼睑的边缘曲线并提取特征参数。最后,通过计算单位时间内的 PERCLOS 值来判断驾驶员的疲劳程度。实验表明,该系统具有对驾驶员无干扰、受外界环境影响小以及准确率高等优点,适合在汽车驾驶中进行实时疲劳检测。

关键词:疲劳检测;近红外光源;红眼效应

中图分类号:TM769, TP39

文献标识码:A

文章编号:1002-1841(2010)05-0051-03

Driver Fatigue Detection System Based on DM6437

YUAN Wei-qi, JIA Qi

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China)

Abstract: This paper presented a design of the embedded driver fatigue detection system based on DM6437. According to red-eye effect, using a special near-infrared light source and controlling it by DSP, the system real-time captures bright pupil images odd frames and dark pupil images even frames. Using this feature, the system makes the odd-even frame difference image and its median filtering image subtract, so that it can quickly and accurately locate the eye area. It used a definition template to seek for the edges of the upper and lower eyelid curves in the eye area and extract the characteristic parameter. Finally, the system determines the driver's fatigue by calculating the value of PERCLOS in the unit time. The experimental result indicates that the system is non-interference to the driver, small environmental effect as well as the high accuracy, which is suitable for real-time fatigue detection during the driving.

Key words: fatigue detection; near-infrared light source; red-eye effect

0 引言

目前,研究人员根据疲劳时驾驶员身体和驾驶状态发生的一系列指标变化已经研究出不同的检测方法,例如脑电图法、表面肌电法、PERCLOS 法、手握方向盘运动检测法等。其中,基于机器视觉的 PERCLOS 法是目前的主流方法。这种方法就是通过 CCD 或 CMOS 摄像机连续采集驾驶员头部图像,再经过图像处理模块和一定算法完成驾驶员脸部和眼部的定位,提取眼睛的特征参数并分析眼睛的开闭状态,计算 PERCLOS 值,据此判断驾驶员是否疲劳^[1]。

该系统中采用基于机器视觉的 PERCLOS 疲劳检测方法,并加入近红外光源,利用人眼的红眼效应,直接将目标区域定于人眼,避免了传统方法中定人脸找人眼的复杂过程。PERCLOS 法本身就具有非接触性,近红外光源又是不可见光,因此该系统不会对驾驶员造成干扰。而且,系统在加入近红外光源后,既提高了眼睛的定位效率和信噪比,又满足了全天候的要求,大大提高了系统的适用性^[2]。

1 系统总体结构

1.1 系统硬件结构

系统是以 DM6437 为硬件平台,硬件结构框图如图 1 所示。

DSP 控制着近红外光源,使得带有滤光片的摄像机采集到瞳孔亮暗程度不同的模拟视频图像,经过视频解码芯片 TVP5146 转换为数字图像,然后将转换后的数字图像数据存入到 DSP 外扩 SDRAM 中,作为后续处理的数据来源,图像的存储格式为 YCb-Cr4:2:2; FLASH 作为系统的外部程序存储器, DSP 在上电复位后通过自举程序把 FLASH 中的程序加载到内部 RAM 中运行,可使程序运行的速度更快;系统一旦检测到驾驶员处于疲劳状态, DSP 就发出警报提醒驾驶员注意安全。

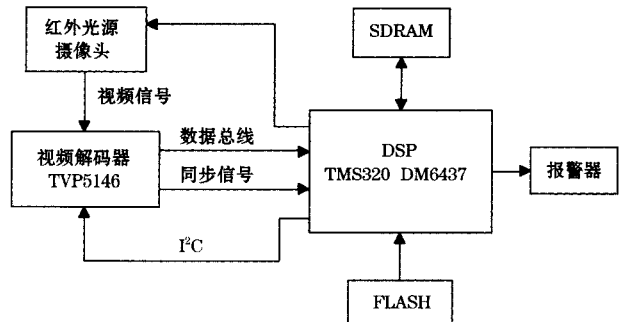


图 1 疲劳驾驶监测系统硬件结构框图

1.2 系统软件结构

系统的软件结构主要由算法组成。利用奇偶帧瞳孔亮暗程度不同的特点,对奇偶帧的差分图像采用一系列图像处理、分析手段进行预处理,从而在图中找到人眼区域,提取眼睛的

特征参数,进而计算出 PERCLOS 值,据此判断驾驶员是否处于疲劳状态。系统软件部分的结构框图如图 2 所示。软件结构中所有的程序都是用 C 语言编写,在 TI 的 CCS 中调试完成后烧入到 FLASH 中^[3]。

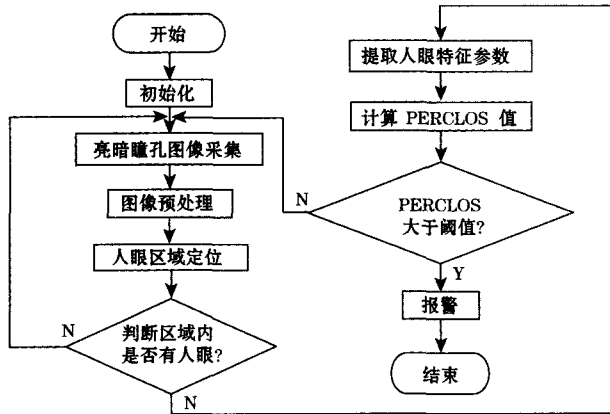


图 2 疲劳驾驶检测系统软件流程图

2 系统的具体实现

疲劳检测系统按处理过程可以分为 4 个模块,分别是图像采集模块、人眼定位模块、特征参数提取模块、疲劳分析及报警模块。

2.1 图像采集

图像采集模块是为了实时得到驾驶员脸部图像,采集装置是由仪器架、近红外光源、COMS 摄像头和滤光片组成,如图 3 所示。

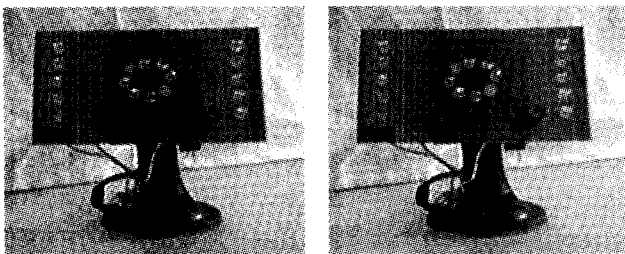


图 3 图像采集装置

使用时,将采集装置安放在驾驶员的前下方,以不遮挡驾驶员视线为准,通过调整仪器架侧面的旋钮,使镜头对准驾驶员脸部。所用的光源是由两组位于同一平面内波长为 850nm 的近红外 LED 组成,一组放在摄像头物镜的轴上,另一组置于轴外。轴上 LED 要尽量靠近镜头的光学轴心,以便得到更明亮的瞳孔图像。轴外 LED 与轴心的距离没有明确要求,可以通过调整达到最佳位置,以便在产生暗瞳孔图像的同时,使两幅图像尽量具有相同的光照度。轴上的 LED 放置比较集中,相对而言,其光照度会比较强,为了尽可能保证轴上、轴外两组 LED 光照度一致,轴上安放 8 个近红外 LED,轴外安放 10 个 LED。摄像机的镜头前安放 850nm 的高通红外滤光片,以削弱可见光线的影响^[2,4]。

系统是基于主动方式产生红眼效应,通过 DSP 的 GPIO 口控制 LED 的开关。选用 DSP 的两个 GPIO 口分别连接轴上和轴外 LED,通过编程使两个 GPIO 口交替输出高低电平,从而控

制两组光源交替开关,使得对近红外敏感的 CMOS 摄像机采集到奇数帧亮瞳孔、偶数帧暗瞳孔的视频图像。

2.2 人眼定位

采集到的图像具有奇偶帧瞳孔亮暗程度不同的特点,因此,将奇偶帧图像作差分确定人眼。通常情况下,会在差分图像中设定一个阈值来判断哪些点是灰度变化大的像素点,这些点中包含人眼区域。但是在实际中,不可能让轴上、轴外两组 LED 的光照强度、光照范围做到完全一致,再加上背景光线的影响,就会产生亮度不均的差分图像,如图 4(a)所示。对这样的图像设定合适的阈值比较困难,图 4(b)是对差分图像图 4(a)直接做阈值处理后的二值图像,可以看出头发、衣服等非目标区域也被检测出来,对后续的处理产生干扰。

为了提高系统的准确性,采用先对差分图像进行中值滤波,然后在差分图像中减去它滤波后的图像,在此基础上再进行阈值处理的方法。使用这种方法,主要是想通过中值滤波产生对整个图像背景的合理估计,补偿不均匀的背景亮度。由于人眼是目标区域,因此选用的结构元素要大到不能完全匹配人眼。只有这样,人眼区域的点在经过中值滤波后不能匹配此前的亮度峰值,而其他较大亮区的特性却仍能保持相对不变。然后,差分图像再减去它中值滤波后的图像,便能得到包括眼睛区域在内的背景亮度均匀的图片。

根据人眼的几何特点和先验知识,在差分图像上限定一个人眼出现概率最大的矩形框,只对矩形框内的像素点进行处理^[4-5]。这样不但可以提高系统的运行速度,而且也排除了一部分干扰。选用 23×23 的方形模板作为结构元素对差分图像矩形框内的像素点进行中值滤波,产生了图 4(c)所示图像。从差分图像中减去该图像,在经阈值处理就生成了二值图像图 4(d)。通过比较可以明显看出,经中值滤波后再阈值处理所生成的二值图像图 4(d),比直接设定阈值而产生的二值图像图 4(b)的效果好很多,去除了头发等干扰的非目标区域。为了消除噪声干扰,对图 4(d)进行二值图像的开运算,先腐蚀后膨胀,去除孤立的小点和毛刺,处理后的图像如图 4(e)所示。



(a) 奇偶差分图像 (b) 差分图像直接二值化 (c) 中值滤波后的图象



(d) 差分与滤波图像相减后的二值化 (e) 经开运算后的图象

图 4 算法处理后的图像

经预处理后,图中留有的主要信息就是眼睛区域的像素点,通过水平和垂直两个方向上的投影就可以找到眼睛的位

置。先对图像进行水平投影,将峰值最大的行作为眼睛所在的行 m ,在行为 $(m-12) \sim (m+12)$ 范围内,进行垂直投影,间隔最大的相邻两个峰值就记为是眼睛所在的列。由于人眼具有对称性,只需找到一只眼睛的区域,就可以提取代表整双眼睛的特征参数,故选取右边的峰值,找到峰值中心 z 。经过观察,暗瞳孔图中眼睛的边缘比亮瞳孔明显,而且没有光斑的影响,因此在暗瞳孔图上确定右眼的区域,即行 $(m-20) \sim (m+20)$,列 $(z-30) \sim (z+30)$ 的范围内,如图5所示。

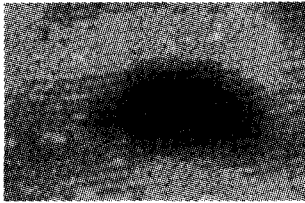
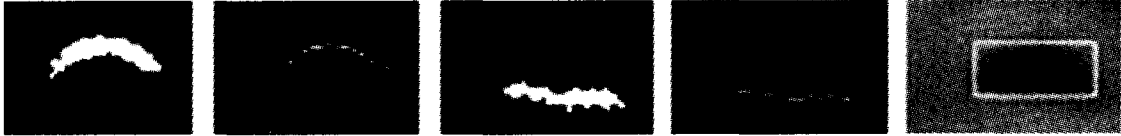


图5 人眼定位

2.3 人眼特征参数提取

该系统选取眼睛的高宽比作为特征参数,需要在人眼定位图中检测出眼睛边缘,即上下眼睑曲线。通过观察,发现位于上眼睑的点,它上面点的灰度值大于下面点的灰度值,即上眼睑的上面比下面亮;同理,下眼睑点下面的灰度值大于上面点的灰度值,即下眼睑的下面比上面亮;而且,眼睑处上下点灰度



(a)上眼睑区域 (b)上眼睑边缘 (c)下眼睑区域 (d)上眼睑边缘 (e)眼睛特征矩形框

图6 眼睑轮廓的提取图片

2.4 疲劳分析及报警

PERCLOS是公认的、有效的精神生理疲劳程度的测量指标,它是指眼睛闭合程度超过80%的时间占某一特定时间的百分率^[6]。系统中,对眼睛闭合程度超过80%的认定,主要是通过人眼特征参数 $P(t)$ 设定的阈值来体现。如果提取出的特征参数 $P(t)$ 大于设定阈值 T ,则表示眼睛闭合程度没超过80%,人眼处于睁开状态1;反之,如果 $P(t)$ 小于设定阈值 T ,则表示眼睛闭合程度超过80%,人眼处于闭合状态0。

疲劳驾驶检测系统的处理过程是通过奇偶帧差分图像确定人眼位置,进而判断眼睛状态。又因为奇偶帧之间的时间特别短,小于眨眼时间,故该系统认定每判断一次眼睛的状态,就代表奇偶帧这两次采集图像中的人眼状态。这样,在该系统中,PERCLOS定义为在单位时间(30 s)内眼睛闭合状态的帧数占采集的有效帧数的百分比,计算公式如下式所示:

$$\text{PERCLOS} = \frac{2}{30 \text{ s 采集有效帧数}} \sum_{i=1}^{30} P(t) < T$$

如果 PERCLOS 大于 40%, 则认为驾驶员处于疲劳状态。此时, DSP 的 GPIO 口会输出高电平, 驱动蜂鸣器发出报警。

3 实验结果和分析

在实验室环境下进行系统测试,将图像采集装置固定于实

值的差值都大于阈值 v 。利用这些特点,使用一个 5×1 模板在图像四分之三以上部分搜索满足条件的上眼睑区域,在图像四分之一以下部分找下眼睑区域。

上眼睑区域的搜索过程如下:

(1)将模板的中心点作为当前搜索点,在图中逐行逐列进行搜索;

(2)在模板中,计算中心点上面两个像素点的灰度值和 s_1 和下面两个像素点的灰度值和 s_2 ,若 $s_1 - s_2 \geq v$,则搜索点赋值为 255,否则就赋值为 0;

(3)直到步骤(1)中的循环结束。

经过以上的搜索步骤后,剩下的就是相对集中的含有上眼睑的点集,如图6(a)所示。为了检测出眼睑的边缘曲线,继续按列扫描,求出一列中白点的平均位置作为该列上眼睑的边缘点,扫描结束后就提取出上眼睑的边缘曲线,如图6(b)所示。下眼睑边缘曲线的提取过程与上眼睑一样,如图6(c)、6(d)所示。在提取出的上下眼睑曲线上找到上眼睑的左边界点 $S_x(x_1, y_1)$ 、右边界点 $S_y(x_2, y_2)$ 、中点 $S_m(x_3, y_3)$,下眼睑左边界点 $X_x(m_1, n_1)$ 、右边界点 $X_y(m_2, n_2)$ 、中点 $X_m(m_3, n_3)$,则眼睛的特征参数高宽比为

$$P(t) = \frac{h(t)}{w(t)} = \frac{m_3 - x_3}{(y_2 + n_2)/2 - (y_1 + n_1)/2}$$

验台上,通过仿真器将开发板 DM6437 与 PC 机相连,在 CCS3.2 环境下执行上述算法。实验室内的同学作为测试人员参加测试,测试时每位同学模拟驾驶在清醒和瞌睡两种状态。由于考虑到近红外光源 LED 的使用寿命、导通时间、最高工作频率等因素,轴上、轴外两组 LED 开关的切换频率不能太高,这就意味着图像的采集频率不能太快。然而,如果采集频率过慢,奇偶帧差分图像中瞳孔的错位会比较大,得不到明显的瞳孔图像,影响人眼定位。综合考虑后,图像的采集频率设为 15 帧/s,图像的大小为 360×400 。

通过实验发现,该系统疲劳检测的准确率能达到 80% 以上,其中人眼定位的准确率能达到 92%。另外,暗环境下的测试效果比亮环境下更为准确。分析系统产生失误的原因主要有以下几方面:

(1)测试时,人员前后、左右摆动的幅度过大,眼睛位置超过限定的矩形框导致没有找到人眼区域;

(2)测试人员头部的倾斜角度过大,使得两只眼睛的水平投影没有重合,造成定位区域内的人眼不完整,直接影响特征参数的大小,造成误判;

(3)眉毛重的人在闭眼时,偶尔会把眉毛区域误判成眼睛区域。

(下转第 55 页)

Flex I/O 的硬件信息读取到网络上,以供其他节点能与之通信。

(3)设计的节点和 ControlLogix 通信。要实现的功能是为读取 Flex I/O 的硬件信息,并建立 I/O 连接。通过和 Flex I/O 通信,可以得到 Flex I/O 的部分属性值和能执行的命令等。节点实现的软件流程图如图 1 所示。

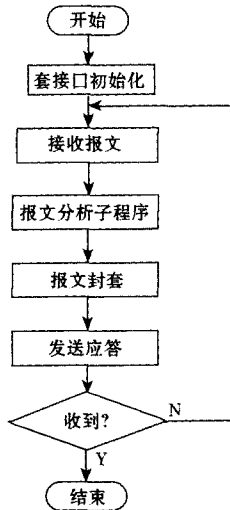


图 1 节点和 RSLinx 通信流程图

节点在和 RSLinx 的通信时整个过程通过询问和应答信号主要涉及的是 Identity Class 的内容。即连接发送者可能会用到状况列表命令来查找和辨别可能的目的,这个命令将用 UDP 广播的形式发送,不需要确定的会话请求。而每个应答命令接收时,回答都是一个标准的封装报头和数据,一部分数据信息将规定对象列表的一部分信息。回答以广播的形式发送接收者的 IP 地址。整个过程的软件流程图如图 1 所示。节点与 RsNetWorx 通信的软件流程图、节点和 ControlLogix 通信软件流程图和节点与和 RSLinx 的通信流程图类似。

3 实验结论

实验通过 C++ 语言编程实现了该节点和 RSLinx、RSNetWorx 的通信,在 Linux 的 PC 机上运行开发的源程序,用 Rockwell 软件 RSLinx、RSNetWork 扫描网络,可扫描到开发的“192.168.1.30”I/O 节点,如图 2、图 3 所示。实验结果表明:实现了

该节点的网络通信功能和 Ethernet/IP/IP 协议。

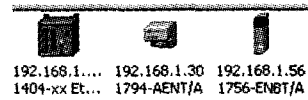


图 2 节点和 RSLinx 通信

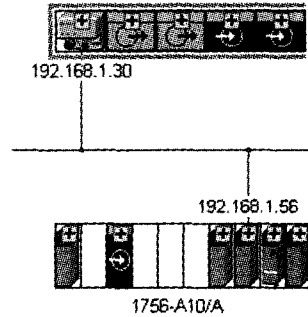


图 3 节点 RSNet Worx 通信

4 结束语

Ethernet/IP 倾向用于网络实时控制应用。借助 CIP、以太网可以集成到设备级,能给用户诸多优势。通用配置、跨越几个网络及收集和传输数据、TCP/IP 连到全球互联网或公司内部网,在所有工作级上提供连续的信息流。Ethernet/IP 作为一种优良的工业以太网方案,具有巨大的发展潜力,其应用领域必将不断地得到扩展。

参考文献:

- [1] 赵宏. 以太网交换技术. 辽宁大学学报, 2002(2): 182 - 186.
- [2] 何克忠. 计算机控制系统. 北京: 清华大学出版社, 2001. 43-48.
- [3] CIP Common Specification, Release 1.0. 2001 by ControlNet International and Open Device Net Vendor association.
- [4] SCHIFFIOR V. The CIP family of Fieldbus Protocols sand its newest Member 3/Ethernet/IP. Emerging Technologies and Factory Automation. Proceedings. 2001 8th IEEE International Conference on. 15 - 18 Oct 2001, vol. 377 - 384.

作者简介:张立众(1969-),讲师,硕士,主要从事智能控制系统,现场总线以及工业以太网的研究。E-mail:goudarlin@126.com

(上接第 53 页)

4 结束语

文中讨论了基于 DM6437 嵌入式疲劳检测系统的总体设计方案,包括硬件和软件两部分。通过 DSP 控制带有近红外光源的图像采集装置,实时获取瞳孔亮暗程度不同的奇偶帧图像,利用这个特点直接将目标区域定于人眼。通过中值滤波、自定义模板搜索等图像处理手段提取眼睛特征参数,最后使用 PERCLOS 法判断驾驶员的疲劳状态。

整个系统可以满足全天候检测的要求,而且具有非接触性、抗干扰能力强、人眼定位效率高的优点。从实验的结果可以看出,该系统基本上实现疲劳检测的目的。但是,通过分析失误的原因可以看出,算法中还有需要改善的方面,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 袁翔,黄博学,夏晶晶. 疲劳驾驶检测方法研究现状. 公路与汽运, 2007(3): 51 - 54.
- [2] 吴林托,李芳,阙步军. 基于红外 LED 的人眼快速定位与跟踪的研究. 光学仪器, 2006, 28(1): 85 - 88.
- [3] TMS320C6000 Optimizing C/C++ Compiler User's Guide. SP-RU187k, Texas Instruments Incorporated, 2003.
- [4] 王光娟,詹光照,刘志强. 基于 DM642 的嵌入式疲劳驾驶监测系统的实现. 计算机应用, 2007, 27(10): 2612 - 2614.
- [5] 高永萍,秦华标. 驾驶员疲劳检测系统. 仪表技术与传感器, 2007(1): 60-62.
- [6] 郑培,宋正河,周一鸣. 基于 PERCLOS 的机动车驾驶员疲劳的识别算法. 中国农业大学学报, 2002, 7(2): 104 - 109.

作者简介:苑玮琦(1960—),教授,博士后,博士生导师,主要从事应用计算机视觉研究。E-mail:yuan60@126.com