

基于 PERCLOS 的汽车司机疲劳监控方法的研究

A Study on Drowsy Driver Monitor System Using PERCLOS

(福州大学)杨 彬 黄耀志

Yang, Bin Huang, Yaozhi

摘要: 汽车司机疲劳驾驶是引发交通事故的一个重要原因,许多国家正积极进行疲劳报警器的研究。本文在比较各种疲劳的生理特征后采用 PERCLOS,设计了一套红外采集系统减少环境的干扰,然后在红外序列图像中用差分法,圆频率滤波等方法提取脸部区域,定位眼睛,计算瞳孔的面积。实验结果显示该方法对光照以及司机脸部姿势的变化不敏感,定位准确,同时能够满足实时性要求。

关键词: 疲劳报警器, PERCLOS, 差分法, 圆频率滤波

分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1008-0570(2005)08-3-0119-03

Abstract: Driving in case of drowse is a most important factor of traffic accidents. Now many countries are active in studying drowsy monitor. This article presents a method based on PERCLOS after compared with others. The article present a system fixed with infrared camera to reduce the influence of the surroundings, locate the face and eyes, and then calculate the area of pupils that are not being covered by the eyelids in the infrared images by means of difference method, circle frequency filter and others. It has been tested not sensitive to lights and head posture, running precisely in real time.

Key words: Drowsy monitor, PERCLOS, Difference method, Circle frequency filter

1 疲劳程度的检测方法

司机疲劳驾驶是引发交通事故的一个重要因素。美国国家公路交通安全局(NHTSA)最近几年调查显示:每年平均有 56000 起车祸与疲劳驾驶相关,造成 40000 人受伤,1544 人死亡(占交通事故死亡总人数的 3.7%),调查还显示有 27% 的受访者表示有过开车打瞌睡的经历。公安部交通管理局 1999 年与 2000 年的统计结果表明:由于驾驶疲劳产生的交通事故只占 1.4% 和 1.15%;产生的死亡率分别是 2.5% 和 2.23%;但是疏忽大意、判断错误、措施不当三项相加分别是 18.8% 和 20.29%,产生的死亡率是 18.6% 和 20.84%;在这三项事故原因中可能夹杂着驾驶疲劳。因此有必要研制一套能够判别司机的疲劳程度的警报装置。现在许多国家正积极进行这方面的研究。法国的一些研究机构在联手研制一种监测司机注意力下降的系统,它可以通过声音或光信号提醒司机。负责这项技术开发的法国图卢兹西门子 VDO 汽车公司希望能在 2006

年给汽车安装上这套装置。这项研究工作已经在去年上马,总投资是 1700 万法郎,主要是对车上安装这一套装置的可行性进行研究。目前司机疲劳的生理特征的检测方法较多,可分为接触式检测和非接触式的检测两大类,主要有以下几种:

1. 疲劳产生的脑电变化大脑皮层兴奋与抑制时,其脑电图上的表现是不相同的。兴奋时,脑电图表现为低波幅、快活动(称 β 波,频率在 13Hz 以上);抑制时,脑电图表现为高波幅、慢活动(称 θ 波,频率为 4-7Hz);高度抑制,如深睡时,出现高幅更慢的波(称 δ 波,频率为 0.5-4Hz);清醒情况下,安静闭目时为 α 波(频率为 8-13Hz)。根据脑电图的频率分布和波形,可推测大脑活动的功能状态,从而推测是否存在心理疲劳。但是脑电图容易受外界因素的干扰且个体间的生理反映差距较大,价格过高,因此难以在实际中使用。

2. 头部姿势。疲劳时头部会经常向下倾斜,据统计:对于大部分人,头部位置与疲劳度的相关系数在 0.8 左右。而少数人疲劳时头部姿势基本不会变化相关系数呈现负值。该方法可作为疲劳检测的辅助手段。

3. 方向盘的转动幅度及方向盘的握紧力。司机疲劳程度加深时,方向盘的大转动幅度次数增多,握紧方向盘的力量变大。这种方法的优点是成本低。美国已研制出一种磁卡方向盘监视系统,靠监视方向盘的动作和规律来检测司机的精神状态,这是目前唯一低价位的产品。

4. 道路追踪器。在车上安装一个摄像头,它的视野与司机相同。司机疲劳驾驶时车辆会经常会越过公路中间的白线。车辆离开白线的时间和偏离程度可以在一定程度反映司机的疲劳程度。这种测量的缺点是要白线足够清晰,并且晚上测量容易受到光线的影响而失败。

5. 瞳孔计。奥地利的科学家经过测试:精神振奋者的瞳孔直径变化频率平均为每分钟 5 至 10 次,而长时间未睡眠休息者的瞳孔直径变化频率平均每分钟可达 15 次。他们已经开发出了便携式红外线振动记录检测仪。这种仪器能够准确记录司机瞳孔直径的变化频率,供检测者判断司机的疲劳程度及其驾车的危险性。

6. PERCLOS. 检测眼皮下垂程度。

技术创新

杨彬:硕士研究生

电话:010-62132436, 62192616(T/F)

中国自控网: <http://www.autocontrol.cn>

2 PERCLOS 方法的原理

PERCLOS 指在一定的时间内眼睛闭合时所占的时间比例。在具体试验中有 p70, p80, em 三种测量方式。

P70: 眼皮盖过瞳孔的面积超过 70% 所占的时间比例。

P80: 眼皮盖过瞳孔的面积超过 80% 所占的时间比例。

Em: 眼皮盖过瞳孔的面积超过 50% 所占的时间比例。

FHWA 曾经检测 PARCLOS, 头部姿势的变化, 脑电图等方法的测试结果与疲劳的关系程度。他们让试验者在 42 小时的实验过程中不能睡眠, 每两个小时做 20 分钟的疲劳程度测试。该测试要求试验者在半秒类对屏幕上出现的亮条作出判断并按键, 每二十分钟统计失误次数。该次数反映客观上真实的疲劳程度, 作为其他测量方式准确性的衡量尺度。测量其他的生理特征值。将测量值与客观疲劳程度作相关运算。结果显示 PERCLOS 中 P80 与客观疲劳程度的相关系数最大, 而 EEG 和头部姿势的变化个体间的差异很大。另外 PERCLOS 的另一个优点是可以实现非接触式检测, 不会影响驾驶。但是 PERCLOS 的检测基于机器视觉, 图像处理的实时性实现比较困难。本文提出了一种适合于疲劳检测的图像处理方法。

3 图像采集系统的设计

首先考虑司机的驾驶环境, 检测系统必须在夜晚或光线较弱的情况下正常工作, 因此必须采用自带光源的摄像系统。本系统采用自带红外发光管的红外摄像机来采集图像这样不仅保证充足的照明而且红外光线不可见, 不会影响司机的驾驶。为了减少外界环境的干扰, 降低图像处理的复杂程度, 应当尽量滤波背景图像。图像采集系统选用 950nm 近红外线发光管做光源, 选用索尼 950nm 红外滤镜过滤 950nm 窄波段以外的光谱。由于发光管发出的是 950nm 左右的窄带的红外线, 而滤光片只能通过 950nm 左右的窄带红外线, 可见光和其他波长的红外线被过滤, 因此可以近似认为采集图像的光源只含有 950nm 的红外光源。如图 1 为用自然光拍摄的图像, 图像的阴影较大, 眼睛区域的定位难度很大, 图 2 为用本系统采集的红外图像, 图中司机的脸部比较清晰, 离光源较远的物体几乎被过滤掉。图像的处理难度较小。考虑到图像分析的实时性问题, 以及在分析眼睛的大小时, 眼睛的面积不能太小。我们选择合适的分辨率, 将采集的图像的大小设定为 320*240。司机的脸部图像的大小调整在大致 1 万象素左右。最后摄像机的 dv 图像通过 1394 卡传到计算机并由计算机控制红外序列图像的采集。系统的原理框图如图 3 所示



图 1



图 2

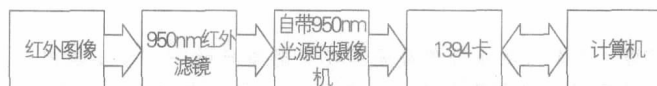


图 3

4 脸部区域的提取

由于采集系统过滤了大量的背景, 可以假设采集的图像满足以下两个先验条件:

1) 脸部的面积在图像中所占的比例较大, 如果用合理的阈值分割图像, 将分割后的二值图像中值为 1 的区域按连通区域面积从大到小排序, 脸部的面积可以排在前两位。

2) 司机头部的运动量较其他地方大。

因此本文采用的做法是: 先用合适的阈值分割方法得到图像 im2 的二值图像 binim, 然后求它与前一帧图像 im1 的差分图像 difim (difim 为 im1 和 im2 差值的绝对值取一定的阈值分割后的二值图像), 计算 binim 中面积最大的两块连通区域 s1, s2; 在差分图像 difim 中计算两块区域的运动量, 选取其中运动量较大的一个区域。计算该区域的上边界和左右边界, 下边界的选取使得脸部的区域为正方形。

由于脸部姿势变化时图像的光线变化较大, 用固定的阈值分割不可行。本文用类别方差自动门限法对图像做二值化处理, 该方法的原理如下:

设图像的灰度范围为 $\{0, 1, 2, \dots, m-1\}$, 选择门限值 t 将其划分为两类: $a\{0, 1, 2, \dots, t\}$, $b\{t+1, t+2, \dots, m-1\}$, 图像的直方图的概率分布为:

$$p_i = n_i / N, p_i \geq 0, \sum_{i=0}^{m-1} p_i = 1 \quad (1)$$

其中 N 为图像的像素的总数, n_i 为灰度为 i 的像素总数。A 类和 B 类的出现概率及均值

$$\omega_0 = p_r(a) = \sum_{i=0}^t p_i = \omega(t), \quad \omega_1 = p_r(b) = \sum_{i=t+1}^{m-1} p_i = 1 - \omega(t) \\ u_0 = \sum_{i=0}^t i p_i / \omega_0 = u(t) / \omega(t); \quad u_1 = \sum_{i=t+1}^{m-1} i p_i / \omega_1 = (u_T - u(t)) / (1 - \omega(t)) \quad (2)$$

这里

$$\omega(t) = \sum_{i=0}^t p_i, \quad u(t) = \sum_{i=0}^t i p_i, \quad u_T = u(m-1) = \sum_{i=0}^{m-1} i p_i$$

A 类和 B 类的方差为:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t (i - u_0)^2 p_i / \omega_0; \quad \sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{m-1} (i - u_1)^2 p_i / \omega_1 \quad (3)$$

按照模式识别理论, 可以求出这两类的类内方差 σ_w^2 、类间方差 σ_B^2 、总体方差 σ_T^2

$$\sigma_w^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2$$

$$\sigma_B^2 = \omega_0 (u_0 - u_T)^2 + \omega_1 (u_1 - u_T)^2 = \omega_0 \omega_1 (u_0 - u_1)^2$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=t+1}^{m-1} (i - u_T)^2 p_i \quad ; \quad \sigma_B^2 + \sigma_w^2 = \sigma_T^2 \quad (4)$$

组合分析这些类别方差,可以衡量不同的门限导出的类别的分离性能。可以选用的准则有

$$\lambda = \sigma_B^2 / \sigma_w^2 \quad ; \quad k = \sigma_T^2 / \sigma_w^2 \quad ; \quad \eta = \sigma_B^2 / \sigma_T^2 \quad (5)$$

这三个准则彼此等效。注意到 σ_B^2, σ_w^2 是门限 t 的函数, σ_T^2 与 t 无关。由于 σ_w^2 是基于二阶统计特性,而 σ_B^2 是基于二阶统计特性,所以选用 η 作为准则是最简单的。极大化 η 的过程就是自动确定门限 t 的过程。上述方法的处理结果如图 4 所示:



图 4

5 圆频率变换和眼睛的定位及面积计算

圆频率变换的滤波方法是 Shinjiro Kawato 和 Jun Ohya 提出的一种用于分析人脸姿势的方法。它的特点是不直接定位眼睛,而是通过定位两只眼睛的连线的中点即眉心的位置来分析人脸的姿势。该方法的特点是运算速度快,能够满足实时处理的要求。本文利用这种方法作为眼睛定位的一个步骤,以减少下一步眼睛定位的搜索范围。

以点 (x, y) 为圆心,以一定的半径画圆,将圆周上的点依次存入数组,设数组为 $f_i (i=0, 1, \dots, N-1)$, 计算该数组的离散傅立叶变换: $F_n = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{(2\pi i k n / N)}$ 圆频率滤波器的输出值为 $\|F_n\|^2$, 在频域中 $\|F_0\|^2$ 的值为空间域的均值, $n=1$ 代表单周期正弦波的幅值。 $n=2$ 则代表双周期正弦波的幅值。因为两眼连线的中点为圆心的圆周上的灰度变化近似为双周期的正弦波,所以选取 $n=2$ 的滤波器。根据两眼连线的中点为圆心的圆周上的灰度变化的特点,对圆频率变换加入如下的约束条件:

1. 圆周上左右两边的亮度必须小于圆心的亮度。否则令 $\|F_2\|=0$ 。

2. 如果 F_2 的实部小于 0 则令 $\|F_0\|=0$, 即假定头部的倾斜角小于 45 度。

脸部的位置提取后,两眼连线的中点接近图像的中心,因此脸部姿势的变化对该点坐标的影响不是很大。设脸部图像的边长为 len , 圆频率滤波在 $\left[\frac{2}{5}len, \frac{7}{10}len\right]$ 的区域内进行。本文选取圆频率滤波的半径 $r=len/4$ 。

定位出眉心后,本文用以下的方法步骤定位瞳孔

中心并计算瞳孔的面积。

1. 根据该点估计眼睛和眉毛所在的大致区域,选取距离眉心中下各 20 个像素,水平方向的距离在 $[7, 40]$ 的图像区域。

2. 在选取的图像区域内作水平积分投影 $G(y) = \sum_{x=1}^L f(x, y)$ 对 $G(y)$ 作均值滤波,眼睛和眉毛处的积分比较小,而二者中间的眼睑亮度相对较大,因此我们计算 $G(y)$ 中两个波谷之间的波峰作为眼睛区域的上边界,取上边界加 15 作为下边界。

3. 在眼睛区域内做广义对称变换计算瞳孔中心,由于眼睛的区域较小,虽然广义对称变换的时间复杂度为 $O(nm)$, 其中 n 为图像的像素总和, m 为模型的大小,但是计算的区域较小,因此不会影响实时性。这里本文用椭圆模型定位瞳孔的中心,椭圆的长轴 $a=6$, 短轴 $b=3$ 广义对称变换的原理参考文献。

4. 将瞳孔中心上下 5 个像素,左右 10 个像素区域的灰度变换到 $[0, 1]$, 取 0.4 为阈值分割图像。计算瞳孔的面积。

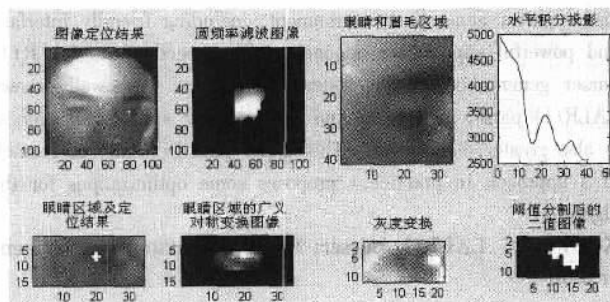


图 5

为了进一步提高处理速度,本文并不对每一帧图像做上述步骤处理而是在定位出眼睛的中心位置后估计下一帧眼睛和眉毛的区域,用积分投影和广义对称的方法定位眼睛的中心,只有当连续两帧眼睛周围的亮度差值太大时才在整个图像范围内用上述的所有步骤定位眼睛。如图 5 显示了右眼的定位和瞳孔面积计算的过程。

6 实验结果及结论

本文的实验在 MATLAB7.0, C41.7G CPU, 256MB 内存的环境下进行。MATLAB7.0 增加了与视频设备接口通讯的工具箱, 通过 1394 卡可以与 dv 摄像机通讯, 实时捕捉和检索图像序列。本文采用 MATLAB 直接读取视频中的图像并进行处理, 图像处理的速度在每秒 8~12 帧, 在脸部不是过于偏离镜头造成背光严重的情况下能够准确定位瞳孔中心。当然采用单一的检测手段有一定的局限性, 例如有些人睡觉时眼睛不闭合, 有些人喜欢带墨镜, 此时 PERCLOS 方法就会失效。采用多种疲劳判别方式的综合可以提高判别的准确度, 例如综合眼皮的眨动次数, 头部姿势以及汽车在行驶时的横向速度的变化情况。为了(见第 43 页)

Protocol)和E-TDMA (Evolutionary-TDMA)协议。

FPRP 和 E-TDMA 协议都是基于时隙的同步 MAC 协议,要求物理层支持时隙划分,节点间能够实现精确的时钟同步。FPRP 通过节点间的五次握手机制实现两跳范围内的无冲突预约,通过控制分组的交互解决了隐藏终端问题,但是 FPRP 预约到的是广播资源,没有解决暴露终端问题。E-TDMA 在 FPRP 的基础上更详细地分配节点预约到的时隙,实现了节点对单播、多播及广播资源的预约。FPRP 和 E-TDMA 完成的是分布式接入算法,对网络规模的变化和群的移动都不敏感,同时通过大量的控制信息的交互来换取数据传递的可靠性。

5.4 总结

随着现代军事技术的发展,人们对军事通信网络的性能要求越来越高,单一的媒质接入技术已不能满足高性能的网络通信需求,只有将多种技术有机的结合起来,例如结合使用异步和同步 MAC 接入机制,分布式控制算法和中心式控制算法等,才能有效的保证各种通信环境下的链路质量。

不同的军事通信系统根据需要可采用以下措施来提高网络对资源的利用,提高网络传递数据的性能:(1)对于分群分层结构的网络,群首间的通信和群成员间的通信可采用不同的通信频率,减小数据冲突和处理时延。(2)每个节点配置两个接收器,一个信道监视控制信息,另一个信道传递数据,也可以减小数据冲突和处理时延。(3)对于多播和广播数据,可以通过多次发送数据来提高其可靠性,但加大了网络的负担,而且具有一定的盲目性,并不能保证所有邻节点都可以正确接收数据。

总之,在设计军事通信系统时,要根据不同网络的通信环境和所支持的业务类型,设计合适的媒质接入机制,尽可能公平、有效地利用有限的带宽资源实现安全、可靠、及时的数据传递,同时考虑节点移动的影响、功率有效性、能源消耗和其它 Qos 保证。

6 结论

移动自组织网络自一出现,就受到以美军为首的各国军事机构的青睐,新一代无线军事通信系统得到迅速发展,大大提高了未来士兵的作战能力。媒质接入技术作为无线移动自组网的关键技术之一同样是军用通信系统要解决的重要问题。本文简单介绍了近年来美军研发的几种军事通信系统及其媒质接入,最后对军事通信媒质接入问题进行了分析和总结。

参考文献

- [1]Russell Ruppe,Stan Griswald,Pat Walsh,and Robert Martin. Near Term Digital Radio (NTDR) system .In Proceedings MILCOM ' 97, vol.3,Nov. 1997, pp.1282-1287
- [2]Chris Li, C.J.Yoon, J. Visvader and Paul Kolodzy. SUO SAS radio intra-networking architecture. MILCOM 2001, vol. 1, October 2001 ,pp. 235-239

[3]J.J. Garcia-Luna-Aceves, Chane L. Fullmer, Ewerton Madruga, David Beyer, and Thane Frivold, Wireless Internet Gateways (WINGS). MILCOM ' 97, Monterey, California, November 2-5, 1997.

[4]Chenxi Zhu,M. Scott Corson. A Five-Phase Reservation Protocol (FPRP) for Mobile Ad Hoc Networks, CSHCN TR 97-27

[5]Chenxi Zhu ,M. Scott Corson. An Evolutionary-TDMA Scheduling Protocol (E-TDMA) for Mobile Ad Hoc Networks, CSHCN TR 2001-17

作者简介:乔春娟,女,1979年生,解放军信息工程大学信息工程学院硕士生,研究方向为移动自组网 MAC 协议。E-mail:qiao313@163.com;于宏毅,男,1963年生,解放军信息工程大学教授,博士生导师,主要从事无线移动通信和信号与信息处理的研究。栾玉洁,女,1980年生,解放军信息工程大学信息工程学院硕士生,研究方向为移动自组网路由协议。

Brief introduction of authors:QIAO Chun-juan was born in 1979. She is a postgraduate student of Information and Engineering University majoring in MAC protocol on MANET.YU Hong-yi was born in 1963. He is a professor and tutor of doctoral candidate of Information and Engineering University. His interests include wireless mobile communication and signal processing.

(450002 郑州解放军信息工程大学信息工程学院) 乔春娟 于宏毅 栾玉洁

(Information Engineering Institute of PLA Information Engineering University, Zhengzhou, 450002, China) Qiao,Chunjuan Yu,Hongyi Luan,Yujie

联系方式:

(450002 郑州 1001 信息 825 分箱解放军信息工程大学信息工程学院技侦通信工程系) 乔春娟

(投稿日期:2005.2.5) (修稿日期:2005.2.12)

(接第 121)提高系统疲劳检测的有效性,多种疲劳判别方式综合判定是我们对系统改进的研究方向。

参考文献

- [1]NHTSA .Expert Panel on Driver Fatigue & Sleepiness.Drowsy driver and automobile crashes Report .1998.8
- [2]张灵聪,王正国,朱佩芳,尹志勇.驾驶疲劳与交通事故的预防.《中华创伤杂志》2003 年第 9 期

作者简介:杨彬(1977-),男,福建平潭人,福州大学机械工程及自动化学院硕士研究生,主要研究方向:模式识别,自动化控制;email: ybirth@163.com;黄耀志,福州大学机械工程及自动化学院教授,研究方向:模式识别,自动化控制。

Author brief introduction : Yang Bin , Birth 1977 , male , postgraduate of fuzhou university ,engage mainly in pattern recognition and automatic control.

(350001 福建福州 福州大学机械工程及自动化学院)杨彬 黄耀志

通讯地址:(350001 福建省福州市福州大学机械工程及自动化学院 02 级研究生)杨彬

(投稿日期:2004.12.10) (修稿日期:2004.12.25)