

# 基于脉搏波检测的驾驶员睡意预警装置

刘旭娟, 徐俊喆

(西安航空学院 车辆工程学院, 西安 710077)

**摘要:** 随着驾驶员人数的不断增加, 不文明的驾驶行为也越来越多, 其中由于疲劳驾驶所引发的交通事故占据相当大的比例, 给人民的生命和财产造成了巨大的损失, 因此, 对于驾驶员睡意预警装置的技术研究具有重要的意义和实用价值; 通过对人体脉搏波信号进行分析处理, 采用能够反映驾驶员睡意状态的脉搏频率特征信号作为依据, 由 STC89C52 单片机、按键、数码管、光电传感器、时钟模块、滤波电路、集成运放等构成系统, 设计了驾驶员睡意预警装置; 调试结果显示该装置识别准确率高, 数值可靠, 能够有效的检测驾驶员的睡意状态, 并在睡意状态时发出预警; 对比市场同类产品, 该装置具有成本低廉, 操作简单, 能够实现车载等特点, 为驾驶员睡意预警技术的相关研究提供了一定的技术和实验基础。

**关键词:** 脉搏波检测; 频率特征信号; 睡意预警

## Driver Drowsiness Warning Device Based on Pulse Wave Detection

Liu Xujuan, Xu Junzhe

(School of vehicle engineering, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** With the increasing number of drivers, uncivilized driving behavior is more and more. The traffic accidents caused by fatigue driving occupy a large proportion, causing great losses to people's lives and property. Therefore, it is of great significance and practical value for the technical research of driver drowsiness warning device. Based on the analysis and processing of human pulse wave signal, the pulse frequency characteristic signal which can reflect the sleepy state of the driver is used as the basis. The driver drowsiness warning device is composed of STC89C52 microcontroller, buttons, digital tube, photoelectric sensor, clock module, filter circuit, integrated operational amplifier and so on. The results of debugging show that the device identification accuracy, numerical reliability, can effectively detect the driver drowsiness, and issued a warning in the sleep state. Compared to the same type of product in the market, the device has the characteristics of low cost, simple operation and the ability to carry on the vehicle, to provide technical and experimental basis for related research of driver drowsiness warning technology.

**Keywords:** pulse wave detection; frequency characteristic signal; drowsiness warning

## 0 引言

随着生活水平的提高和国家对交通业的重视和发展, 我国机动车拥有量和机动车驾驶员数量急剧增加。据统计, 截止 2016 年底, 我国的汽车保有量达 2.9 亿辆, 机动车驾驶员人数达到了 3.6 亿人, 我国已步入汽车大国。与此同时许多不文明驾驶行为也应运而生, 疲劳驾驶就是其中之一, 不仅在各类交通事故中占据很大比例, 而且已经成为危害社会安全的“隐形杀手”, 需要引起重视<sup>[1]</sup>。

本文通过在实验室模拟驾驶员驾驶机动车的行驶状态, 将驾驶员脉搏频率特征信号作为判定睡意状态的依据, 设计了基于人体脉搏波检测的驾驶员睡意预警装置。该设计为驾驶员睡意检测技术的研究提出了新的思路, 对减少由于睡意驾驶而造成的交通事故有重要意义和实用价值。

## 1 国内外研究现状

研究表明, 当驾驶员进入睡意状态时, 脑电信号、心电信

号、脉搏信号、体温信号、眨眼状态等生理参数会有明显的变化, 通过这些生理参数变化可判定驾驶员是否进入睡意状态<sup>[2-3]</sup>。

脑电波 (EEG) 是人脑机能的直观反应, 利用脑电波反应的驾驶员睡意状态, 具有客观准确的特点, 脑电波可以说是驾驶员睡意检测的“金标准”, 但由于脑电信号分析操作复杂且不能实时检测, 因此实用性较低。心电信号指标主要包括心率 (HR) 及心率变异性 (HRV)。文献[4]研究表明当驾驶员处于睡意状态时, 心率变异性的低频参数明显上升, 而高频参数有下降趋势, 利用心率变异性的高频和低频参数可以判定驾驶员是否处于睡意状态, 但心电信号检测驾驶员睡意状态需要和人体持续接触, 从而影响驾驶员的正常驾驶。另外有关文献[5-6]提出利用人体生理信号和面部表情信号来检测驾驶员睡意状态, 包括眨眼、眼球转动和嘴巴形状, 最后, 运用模糊算法判定驾驶员的睡意状态。由于高性能的视频设备和系统的成本较高, 实验的准确性易受周围环境影响, 因此不具有广泛实用性。另外通过对被试者的体温信号进行时域分析, 得出结论: 当人体处于睡意状态时, 体温升高<sup>[7]</sup>, 不过目前使用体温信号来判定是否处于睡意状态的研究不多。

脉搏波的形成是因为心脏和血液循环, 它含有丰富的人体生理信息。利用脉搏波检测驾驶员睡意状态, 主要在于脉搏波

收稿日期: 2017-10-24; 修回日期: 2017-12-07。

基金项目: 西安航空学院校级科研基金项目(2017KY1218)。

作者简介: 刘旭娟(1983-), 女, 陕西省渭南市人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事电子测量与检测方向的研究。

的提取和脉搏特征信号参数算法的研究。大量实验结果表明：当驾驶员逐渐进入睡意状态过程中，脉搏波的低频参数与高频参数的比值逐渐增加，通过提取不同状态下脉搏波各个波段的特征值，通过一系列算法，可以将比值作为判定驾驶员睡意状态的依据<sup>[8]</sup>。

## 2 脉搏信号处理

### 2.1 脉搏信号图形分析

采用脉搏传感器采集人体脉搏连续压力曲线，其拐点构成了脉搏波图形。本文以脉搏曲线的拐点为参考点，主要分析脉搏曲线的时域特征，对驾驶员睡意状态进行分析。

从图 1 驾驶员清醒与疲劳脉搏对比图可以看出，驾驶员的脉搏频率特征信号在清醒和疲劳两种状态下是不同的：清醒状态下脉搏信号的频率低于疲劳状态下的频率，所以脉搏信号的频率可以用来模拟睡意状态数据<sup>[9]</sup>。

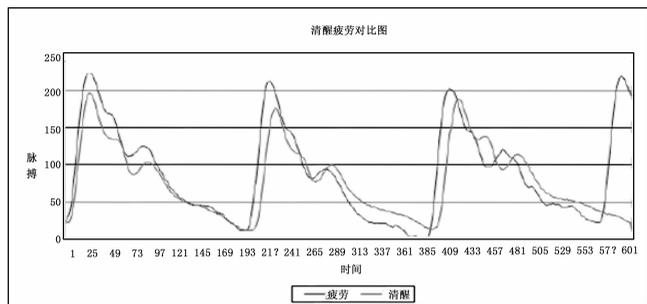


图 1 驾驶员清醒与疲劳脉搏波对比图

### 2.2 脉搏信号数据结果分析

为了对被试者的身体状态进行定性和定量的评估，我们随机选取 5 位具有一定驾驶经验的测试人员（要求有男有女，年龄分布在 22~50 岁之间），对其进行脉搏数据的测试和分析实验。由于疲劳驾驶存在安全隐患，所以全部受试者均安排在模拟驾驶室进行测试。通过模拟驾驶之后，得到了疲劳前后的脉搏波形图，并从中得出结论：在进行长期的驾驶试验后，被试者脉搏波的波形出现不规则现象，脉搏波的幅值疲劳后对比疲劳前下降明显，脉搏波波形的周期明显缩短<sup>[10]</sup>。

另外，我们还对脉搏波进行了定量的分析和计算，分析和计算的结果如下表所示。

表 1 脉搏定量分析结果

状态	脉搏频率均值样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5
疲劳前 71	66	73	69		65
疲劳后 77	73	78	76		75

从脉搏定量分析结果表格中，我们可以看出，疲劳后被试者的身体机能出现下降，脉搏波的周期缩短，脉搏频率上升。

## 3 系统硬件设计

通过上述分析，脉搏信号中的脉搏频率可以反映出睡意状态，而脉搏频率特征信号又最容易提取和分析，所以本次硬件设计以人体脉搏的频率信号为突破口，检测睡意状态。由于人体脉搏信号存在信号弱、频率低、噪音高的特点，所以系统设有滤波、放大、整形电路，将脉搏信号处理成单片机可识别处理的信号，利用单片机系统内部定时器来计算时间，最终换算

成一分钟脉搏的跳动次数，显示在数码管上。电路中还设有四个按键，作用是设置脉搏跳动的上下限次数，当实际脉搏跳动次数没有处于预先设定的范围内，单片机就会发出指令，驱动蜂鸣器报警。

### 3.1 信号采集与处理电路

信号采集电路是通过脉搏传感器将计算机不可处理的脉搏信号转换为微弱可处理的电信号，一般直接转换过来的电信号只有几十毫伏，且存在很大的外界干扰，所以需要对其进行放大、滤波、整形处理。

#### 3.1.1 传感器

脉搏传感器分为：红外脉搏传感器、心率脉搏传感器、压力脉搏传感器、腕部脉搏传感器、数字脉搏传感器、心音脉搏传感器等等。其中红外脉搏传感器是利用特定波长红外线对血管末端血液微循环产生的血液容积的变化的敏感特性，从而检测出由于心脏的跳动，引起指尖的血液变化的脉搏波。红外光电传感器的特点是结构简单、抗干扰能力强、可靠性高。因此本系统选用红外光电传感器检测人体手指的血脉流动状态，将脉搏信号转化为电信号。

图 2 中 ST188 是一个反射型红外光电传感器，由高发射功率红外光电二极管和高灵敏度光电晶体管组成，检测距离可调整范围大（4~13 mm 可用），并适用于非接触检测方式。用 +5 V 电源供电，R2 取 330 Ω，R3 取 20 kΩ。当人把手指放在发光二极管和光电三极管之间时，动脉血管的血液容积会随心脏周期性的收缩和舒张产生变化，在恒定波长照射下，有脉搏跳动时光线弱，无脉搏时透光强，光电三极管接收到的信号会随人体脉搏强度的变化而变化，进而转化成周期变化的电信号输出<sup>[11]</sup>。因此 ST188 光电传感器可以间接地测量人体脉搏信号。为方便驾驶员佩戴，ST188 被设计成指套形式固定于方向盘上。

#### 3.1.2 滤波电路

正常成人脉搏通常为 60~100 次/分钟，对应频率范围在 1~1.66 Hz 之间，因此红外光电传感器实际采集并转换得到的人体脉搏电信号频率非常低。考虑到外界强光及人体手指与指套接触不良等因素带来的高频干扰，为避免检测结果有误，必须选用电阻和电容搭建起一个 RC 滤波电路用于消除噪声。图 2 所示电阻 R3 与电容 C4，以及并联电容 C5、C6 共同组成高频滤波器，滤除高频干扰，人体脉搏电信号经耦合电容 C5、C6 加到集成运放同相输入端。图中电容用来传递电流信号，通过运算放大器电路处理后变为电压信号即脉冲信号。

#### 3.1.3 放大整形电路

由于脉搏信号一般在毫伏级别，因此经过滤波后，还需增加一个放大整形电路，将不规则且伴有低频干扰的脉冲信号做放大整形处理，如图 2 所示，双运算放大器 LM358 内部包含两个独立、高增益运算放大器，将其中一个集成运放用作放大光电传感器电压信号，另一个运放用作电压比较器，以输出直流方波信号给单片机。计算 LM358 放大倍数与其它通用运放一样，主要由反馈电阻来决定。电路采用同相比例运算放大电路，放大倍数  $A_v = U_o / U_i = 1 + R_8 / R_{12}$ 。经过 LM358 双运算放大器处理之后，左边信号放大了 304 倍。为了更好的观测到脉搏跳动状态，LM358 还接上了一个 LED 灯，灯光的闪烁意

味着脉搏波的一次跳动。

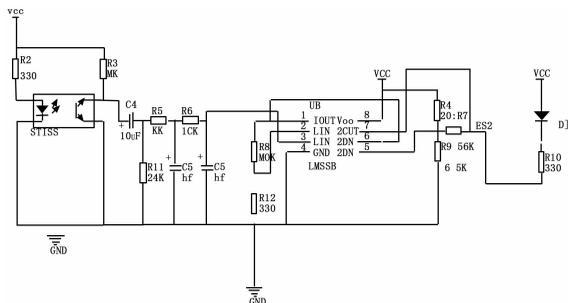


图 2 信号采集与处理电路

### 3.2 主控模块

主控模块是整个系统的控制中心, 负责检测各种参数, 驱动数码管显示, 触发蜂鸣器、报警灯报警。综合性能参数、实用性和性价比, 本设计采用 STC89C52 单片机作为系统的主控芯片。单片机最小系统电路主要由时钟电路(振荡电路)和复位电路组成。为了控制电路的定时, 时钟电路提供了基本的校准时间, 执行一条基本校准时间指令就是相应的一个周期。本系统由单片机外接一个 12 MHz 晶振和两个 30PF 电容组成时钟电路, 经计算, 单片机系统的工作周期是 1 μs。而单片机的复位电路由弹片和电容组成, 确保了系统电路工作的可靠性。

### 3.3 显示模块电路

显示模块是由一个四位数码管显示参数。显示模块采用动态驱动, 当位选打开时, 输入段码, 对应的数码管就会打开; 关闭之前的位选, 打开一个新的位选, 输入段码, 则对应的数码管又会打开。每个位选打开和关闭时间上的间隔小于 20 ms, 在人眼看来是同时显示。

### 3.4 按键模块电路

该系统共设置四枚按键, 分别接入单片机 I/O 端口, 用以设置脉搏波上下限值, 以便在超出范围时驱动蜂鸣器发出警报。

### 3.5 电源和报警电路

选用车载充电器将车载 12 V/24 V 电源转化为 5 V 的直流电源, 用以给系统供电。

当驾驶员在清醒状态正常驾驶时, 单片机输出低电平, 绿色 LED 灯亮起; 当主控模块监测与计算的结果不在设置范围内时, 驾驶员被判定进入疲劳驾驶状态, 绿色灯光熄灭, 蜂鸣器发出持续报警, 提醒驾驶员停车休息。

## 4 系统软件设计

主程序流程图如图 3 所示。先通电, 按下测量按钮, 系统最先会进行初始化操作流程, 完成仪器软、硬件的初态设置, 单片机内专用寄存器的设定, 单片机工作方式及各端口的工作状态的规定。当按钮被按下响应时, 首先会开始计时并测量人体的脉搏次数, 单片机定时 15 s, 信号下降沿触发外部中断, 通过对外部中断的计数从而实现脉搏个数的测量。通过测量时间内脉搏值推算出一分钟脉搏跳动的次数, 并显示在系统界面方便查看。当然用户也可以选择自己设置脉搏范围, 按下设定按键, 单片机会根据用户的设定改变范围数值。

## 5 误差分析与数据处理

### 5.1 误差分析

随机选取 5 位受试者, 用本装置测量其脉搏频率值, 并计

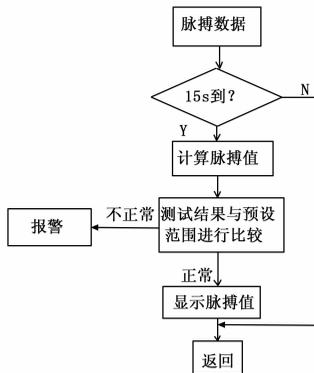


图 3 系统主程序流程图

入误差分析表, 如表 2 所示。

表 2 误差分析表

实际脉搏次数	装置测量脉搏次数 1	装置测量脉搏次数 2	装置测量脉搏次数 3	装置测量脉搏次数 4	装置测量脉搏次数 5
71	70	71	72	68	70
65	66	66	64	66	66
72	72	71	73	72	72
83	80	83	84	81	84
78	77	79	80	79	77

注: 实际脉搏次数以电子心率仪测出的心跳频率为准。

表 2 列出了测量值, 但存在误差, 对实测数据进行线性补偿, 见公式 (5-1)。

$$\text{由均方差公式得: } S = \sqrt{\frac{(X_n - \bar{X})^2}{n(n-1)}} = 0.223 \quad (5-1)$$

误差分析: 经校准, 非线性补偿后, 误差已基本达到要求。

### 5.2 实验数据处理

选取一组 5 个样本, 实验前保证所有样本在清醒状态下, 并用本装置测量其脉搏频率; 所有样本经过 4 小时以上连续高强度工作后, 使用与之前的光照强度一致的灯光前提下, 对其睡意状态下进行脉搏频率测试, 得出清醒状态和睡意状态的脉搏频率数据结果, 如表 3 所示。

表 3 清醒状态和睡意状态的脉搏频率数据结果样本

样本序号	清醒状态脉搏频率	睡意状态脉搏频率
1	64	69
2	69	75
3	73	80
4	74	82
5	76	88

通过表 3 中的数据结果表明, 睡意状态脉搏频率要高于清醒状态下的脉搏频率。

## 6 结论

通过对国内外检测驾驶员睡意技术进行分析研究, 对比其优缺点, 提出信号提取较为简单的脉搏波检测法; 同时通过对清醒状态和睡意状态下人体脉搏信号进行定性和定量分析, 提出将驾驶员脉搏频率特征信号作为判定睡意状态的依据。

(下转第 256 页)