

doi: 10.7690/bgzdh.2018.03.014

# 基于面压力传感器的驾驶员疲劳监测方法

邓三鹏<sup>1</sup>, 蒋永翔<sup>1</sup>, 祁宇明<sup>1</sup>, 郭士杰<sup>2</sup>

(1. 天津职业技术师范大学机器人及智能装备研究所, 天津 300222;

2. 河北工业大学机械工程学院, 天津 300401)

**摘要:** 为预防交通事故的发生, 研究一种基于面压力传感器的无仪器佩戴式驾驶员疲劳识别方法。设计实施一种通过安装在驾驶员靠背上的面压力传感器获取压力信号的试验, 将面压传感器时域数据进行频域信号处理, 通过心电信号与面压信号的相干函数计算, 验证面压力传感器信号中蕴藏心电信号的结论。通过对与心电信号相干系数进行降噪、心率变异性(heart rate variability, HRV)数据处理及数据修正, 提取出和心率变异性信号 LF 值一致的结论。试验结果表明, 利用面压传感器进行驾驶疲劳报警是准确的。

**关键词:** 面压力传感器; 相关系数; HRV 信号; LF 数据修正

**中图分类号:** TP39 **文献标志码:** A

## A Fatigue Driving Detection Method Based on Surface Pressure Sensor

Deng Sanpeng<sup>1</sup>, Jiang Yongxiang<sup>1</sup>, Qi Yuming<sup>1</sup>, Guo Shijie<sup>2</sup>

(1. Institute of Robotics &amp; Intelligent Equipment, Tianjin University of Technology &amp; Education, Tianjin 300222, China

2. School of Mechanical Engineering, Hebi University of Technology, Tianjin 300401, China)

**Abstract:** For preventing traffic accidents, research on non-instrument wearable driver fatigue identification method based on surface pressure sensor is researched. A test for obtaining the pressure signals through surface pressure sensor mounted on the back of the driver's seat is designed, the time domain signals is processed in frequency domain, then the coherence function of the ECG signal and the surface pressure signal is calculated, the conclusion of the correlation between ECG signal and surface pressure signal is verified. Then, the noise reduction of ECG signal and data processing and data modifying of HRV were verified. The conclusion is the same as the LF value of the heart rate variability signal. The results show that the surface pressure sensor is correct for fatigue driving detection.

**Keywords:** surface pressure sensor; correlation function; HRV signal; LF data correction

## 0 引言

驾驶员疲劳的识别与监视对防止交通事故发生具有重要的意义。虽然脑电被认为是测量精神疲劳的生理学金标准, 但建立准确的非侵入式测量与监控方法是实现检测的最终目标。在此领域中, 基于人体眼部、面部表情的疲劳识别是目前驾驶员舒适度最高的监测方式<sup>[1-2]</sup>, 但受外部环境影响较大, 检测准确性还有待进一步提高。心率、脉搏和呼吸检测精度相对较高<sup>[3]</sup>。研究表明: 心率变异性信号(LF, HF, LF/HF)的显著变化可反映驾驶员的疲劳程度, 其中, 以反映交感神经活性的低频段功率值 LF(0.04~0.15 Hz)对驾驶疲劳程度的反应最敏感<sup>[4-5]</sup>。但此类监测过程仍需佩戴相关试验仪器, 给实际驾驶过程带来不便。笔者研究了一种基于面压力传感器的驾驶员疲劳识别方法, 设计实施了一种通过安装在驾驶员靠背上的面压力传感器获取压力信号的试验。

## 1 试验方案设计

### 1.1 试验对象及要求

参加试验人员 10 名, 均为健康男性, 年龄在 20~25 岁, 身高(172.62±3.54) cm, 体质量(66.62±7.41) kg, 试验于上午 9:00—11:00 进行, 以避免昼夜因素的影响, 确保样本间的可比性。试验前要求试验对象保证充足的睡眠, 避免烟、酒、茶和咖啡等任何可能影响心率的食物和药物, 避免剧烈运动。驾驶及测试时间为 120 min。

### 1.2 监测指标及监测设备

1) 监测采用驾驶过程中力康快速心电检测仪 PC-80B(如图 1 所示)提供的心电信号。为获得高质量的心电图, 采用导联线测量方式将电极粘贴在如图 2 所示的测量位置。该仪器默认采样点数 1 024, 采样频率 200 Hz。

收稿日期: 2017-11-20; 修回日期: 2017-12-05

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(61301040)

作者简介: 邓三鹏(1978—), 男, 博士, 教授, 硕导, 从事机器人技术及应用、智能制造装备设计及工程应用研究。



图 1 力康快速心电检测仪 PC-80B

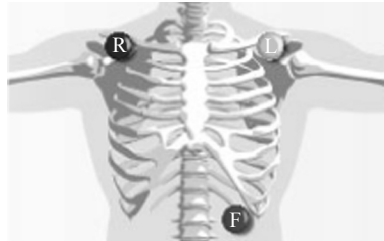


图 2 导联线测量方法电极粘贴示意图

2) 监测采用作用在车座靠背的一种面压力传感器提供的压力信号。该传感器分布 256 个压力传感器组成 16×16 矩阵的压力监测面<sup>[6]</sup>，每个压力传感器都进行了从 1~256 测点的编号，面压力传感器分布如图 3 所示。

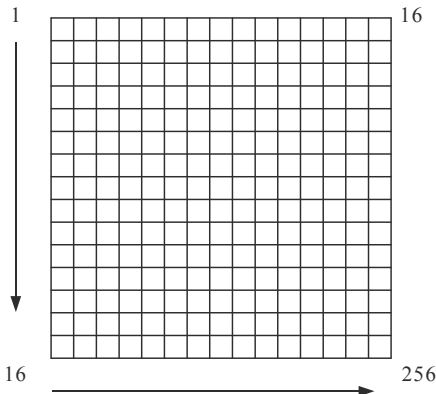


图 3 面传感器分布

### 1.3 模拟驾驶试验台

本试验在中国汽车技术研究中心的“SCANeR 预防车辆交通事故仿真训练系统”及配套模拟驾驶试验台(如图 4 所示)上进行测试，其中，试验过程中的测试人员仪器安装情况如图 5 所示。

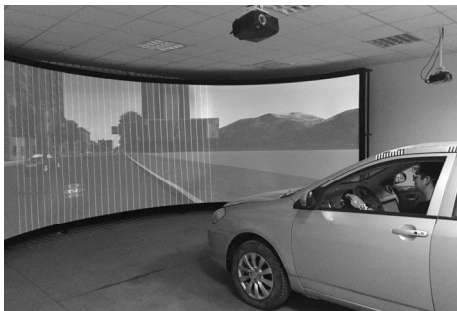


图 4 SCANeR 预防车辆交通事故仿真训练系统



图 5 测试人员及仪器安装情况

### 1.4 试验方案设计

通过试验台模拟驾驶舱外部视觉环境，统一设置驾驶环境为城市道路驾驶，模拟驾驶速度为 20~60 km/h，分析驾驶员座位背压信号与心电信号间的关系。

## 2 试验数据处理及分析

### 2.1 基于面压信号的心电信号提取及相干性分析

将测试的 10 组 120 min 驾驶座椅数据进行分段处理，每段 10 min，试验人员 1 测试数据段 5 的心率范围为 75~80 bpm，对应频率为 0.75~0.8 Hz。同时，面压传感器获得的 10 min 平均压力信号等高图，如图 6 所示。图中受压最大部位分别为驾驶员背部脊椎上端的胸椎及下端的尾椎与驾驶座后背紧密贴合部位。其中，受压最大点处(面压传感器编号 181 测点)截取 5 s 压力时域信号如图 7 所示。

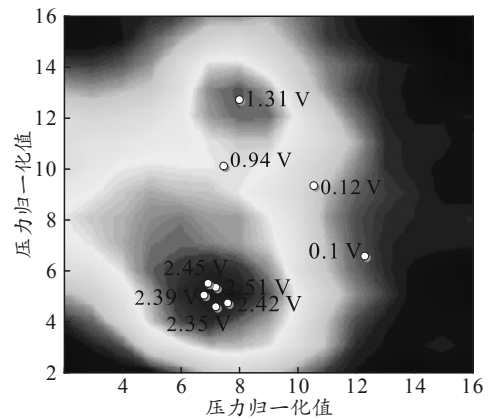


图 6 面压传感器压力等高线及心电提取图

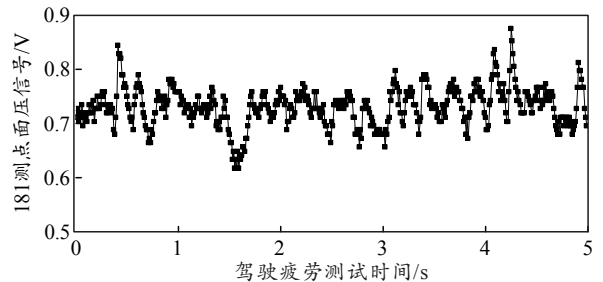


图 7 面压时域信号

将编号 1~256 所有面压测点的时域数据进行 FFT, 记录每一测点心率范围 0.75~0.80 Hz 内的频域信号功率谱最大值。为便于观察心电信号同面压信号的关系, 选取心电信号前 5 个最大值及中、最小值各两点绘制在图 8 中, 图中所标数据为心电信号功率谱最大值数值。对比图 7 中等高线与心率最大值数值, 分布基本一致。为验证 2 组数据的相似性所代表的心电信号与面压信号间对应关系, 绘制相干函数曲线如图 8 所示。2 组数据的相干函数 85% 位于 0.8~1.0 之间时, 具有高相干性, 特别是图 8 中压力最高的两点由于驾驶员背部与面压传感器的紧密接触, 相干程度高达 0.98, 验证了面压传感器信号中蕴藏心电信号这一关键性结论, 为通过基于面压传感器提取心电监测信号以进行准确的疲劳监测并最终设计非佩戴式驾驶员疲劳监测仪器奠定了理论基础。

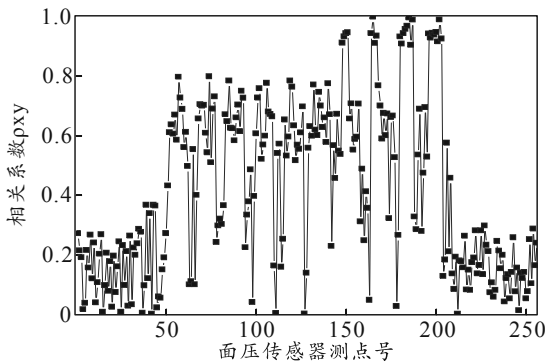


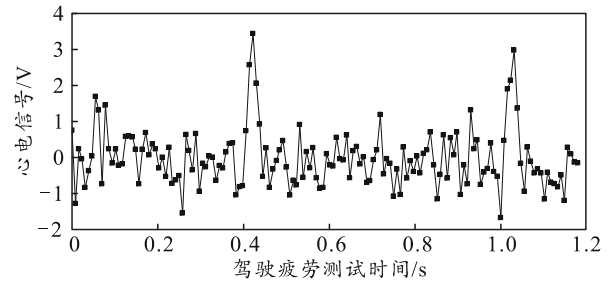
图 8 面压信号与心电信号的相关系数分析

### 2.2 心电信号的降噪及 HRV 心率变异性数据处理

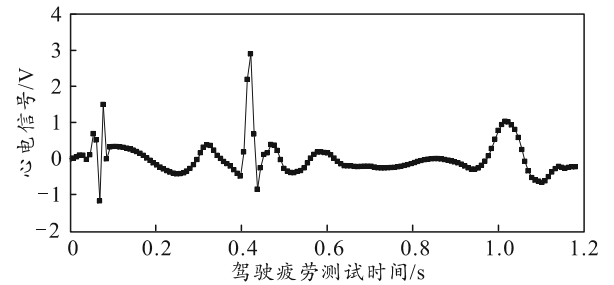
随着疲劳程度增加, 交感神经兴奋加强, 心率变异性数据 LF 值明显上升<sup>[7]</sup>。该指标可获得较为准确的驾驶疲劳判定精度。为进一步研究心率变异性数据与面压传感器信号间的相关性, 进行心电信号的降噪及 HRV 心率变异性数据处理。

#### 1) 心电信号的小波降噪处理。

为确保测试心电信号的高信噪比, 消除人体运动、50 Hz 工频、电极与人体摩擦接触噪声、呼吸、基线漂移和肌电等干扰, 对采集的所有心电数据进行小波降噪。信号处理过程选取 db3、db4 和 db5 小波基函数, 并进行了基于信噪比 SNR 和原始信号与去噪后信号均方根误差 MSE 的效果评价, 最终确定采用 db5 进行小波基去噪。试验人员 1 测试数据段 5 小波降噪前后的心电信号如图 9 所示。



(a) 小波降噪前心电信号



(b) 小波降噪后心电信号

图 9 心电信号的小波降噪

从降噪后的分析可知: 降噪后的心电图平滑度有了明显的改善, 同时重构后的 R 波心电信号未出现失真。上述数据处理为 R 波检测及 HRV 数据获取的准确性奠定了基础。

#### 2) R 波检测及 HRV 数据获取。

HRV 是指窦性心率在一定时间内周期性改变的现象, 是反映交感-副交感神经张力及其平衡的重要指标。笔者采用时域分析法以 R-R 间期的变异为基础, 利用标准差表达心率变化的涨落机制, 进而进行频域分析, 把心率变化信号分解为不同的频率成分, 获取了 0.04~0.15 Hz 间的低频段功率值 LF。将图 9 所示的小波降噪后的心电信号进行 HRV 数据处理如表 1 所示, 其中 LF 值为 0.11。

表 1 HRV 监测数据域指标

Frequency Band	Peak/ Hz	Power/ ms <sup>2</sup>	Power/ %	Power (n.u.)	LF/HF (ratio)
Welch PSD					
VLF	0.01	1 594.1	39.6		4.311
LF	0.10	1 971.9	49.0	0.812	
HF	0.17	457.4	11.4	0.188	
Burg PSD					
VLF	0.00	581.2	42.0		4.029
LF	0.11	643.1	46.5	0.801	
HF	0.22	159.6	11.5	0.199	
Lomb-Scargle PSD (norm)					
VLF	0.01	0.0	49.0		3.514
LF	0.11	0.0	39.7	0.778	
HF	0.15	0.0	11.3	0.222	

### 2.3 面压传感器数据中 LF 信号的提取

由心电信号与面压信号间的对应关系验证实验可知: 面压传感器测得的压力最大点即编号 181

点与心电信号的相干性最高，故选取面压传感器181测点作为心率变异性LF的原始信号，数据处理方法同心电信号的降噪及HRV心率变异性数据特征提取。

由于一个测试人员120 min的数据被平均分成12段，故从编号181测点获得12个LF数据，将心电信号获得的LF随驾驶时间的变化同面压传感器获得的LF2对比，如图10所示。值得注意的是，驾驶前期2组数据的耦合度较高，但后期则出现了误差。分析其原因可知：驾驶过程中由于测试人员长时间保持位姿紧张状态，在测试后期疲劳后出现了身体放松及移位，面压传感器最大值测点在80、95及100 min时分别移位到157、148及175测点附近。根据压力最大点的偏移情况，进行心电信号相干系数最高的面压传感器数据原始信号的替换，获得修正后的LF3信号，表现了与心率提取信号的一致性。

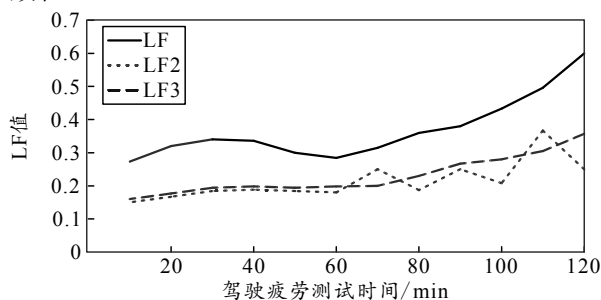


图10 基于心电及面压信号的LF数据对比

分析LF3在90 min的作业过程中逐渐上升，在作业开始的15~20 min出现一个峰值，作业结束时，LF3值达到最高；作为交感神经活性的指标，其影响因素非常复杂。在前期作业时，疲劳程度不明显，且动态模拟驾驶操作属于复杂作业，使LF的影响因素增多，所以在实验前期，体现不出随驾驶疲劳的变化关系；而在作业后期，随着疲劳程度的增加，LF显著增大，能较好地反映疲劳程度。

### 3 结论

笔者研究了一种基于面压力传感器的无仪器佩戴式驾驶员疲劳识别方法，通过研究面压传感器

与心电信号之间的对应关系，进行了模拟驾驶试验及相关分析，得到以下结论：

1) 笔者的方法，将所有面压测点的时域数据进行快速傅里叶变换，选取心率范围内的最大值绘制等高线图并与面压传感器平均受压数据进行对比，获得了面压力传感器中蕴藏心电信号的结论。

2) 采用相干函数分析方法，获得了面压力传感器中与心电信号相干性最高的压力测点作为疲劳监测的原始数据，故可采用驾驶员背压监测替代心电监测，应用基于心电信号监测疲劳驾驶的相关技术，既确保了监测的准确性，又实现了无仪器佩戴式疲劳监测。

3) 将上述分析获得的原始数据采用小波降噪及HRV心率变异性数据处理方法，可获得与心电信号相似的LF信号。试验分析验证了为提高疲劳监测精度，需考虑驾驶过程身体移位造成的压力最大点变换现象，确保面压原始数据为与心电信号相干性最大的测点。

### 参考文献：

- [1] 王仲民, 李佳玉, 邓三鹏. 基于D-S理论和模糊神经网络的疲劳驾驶监测[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(3): 73-76.
- [2] 毛喆, 初秀民, 严新平. 汽车驾驶员驾驶疲劳监测技术研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(3): 108-112+2.
- [3] SYLVIE C, RAPHAELLE N. Roy, Stephane Bonnet EEG index for control operators mental fatigue monitoring using interactions between brain regions[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 52(15): 91-98.
- [4] 刘灵. 心率变异性在汽车司机驾驶疲劳监测中应用的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [5] 李锦, 刘大钊. 昼夜节律下心率变异性信号的熵信息和谱特征[J]. 物理学报, 2012, 61(20): 547-552.
- [6] 刘天国, 张德, 赵宝林, 等. 压电冲击传感器方向敏感量化分析研究[J]. 兵工自动化, 2016, 35(2): 41-43.
- [7] 祝荣欣, 王金武, 唐汉. 基于心率变异性的联合收割机驾驶员疲劳分析与评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 77-83.