



安徽建筑大学  
ANHUI JIANZHU UNIVERSITY

# 大学生创新创业训练计划项目 申报书

项目名称: 基于机器视觉与心率变异性的行车安全监测系统

项目类别: ☒ 创新训练项目

☐ 创业训练项目

☐ 创业实践项目

学院名称: 电子与信息工程学院

专业名称: 电子信息工程

申报人姓名 (学号): 年志豪 (20210040216)

申报年度: 2022 年

安徽建筑大学创新创业学院制

# 说明

## 一、项目分类说明：

1. 创新训练项目是本科生个人或团队，在导师指导下，自主完成创新性研究项目设计、研究条件准备和项目实施、研究报告撰写、成果（学术）交流等工作。

2. 创业训练项目是本科生团队，在导师指导下，团队中每个学生在项目实施过程中扮演一个或多个具体的角色，完成编制商业计划书、开展可行性研究、模拟企业运行、参加企业实践、撰写创业报告等工作。

3. 创业实践项目是学生团队，在学校导师和企业导师共同指导下，采用前期创新训练项目（或创新性实验）成果，提出一项具有市场前景的创新性产品或服务，以此为基础开展创业实践活动。

二、表内项目填写时一律用钢笔或打印，字迹要端正、清晰，此申报书可复印。

三、填写时可以改变字体大小等，但要确保表格的样式没有被改变；填写完后用 A4 纸张打印，不得随意涂改。

申报人情况	姓名	年志豪		学号	20210040216	
	年级/专业/班级			2020 级电子信息工程 2 班		
	项目名称	基于机器视觉与心率变异性的行车安全监测系统				
	电子邮箱	q82109570@163.com		手机	17764443561	
项目组成员情况	姓名	性别	年龄	专业班级	学号	
	胡傲	男	20	20 级通信二班	20205040237	
	叶旺	女	20	20 级电子二班	20205010204	
	金松源	男	20	20 级通信二班	20205040213	
	吴梦雅	女	18	20 级通信一班	20205040145	
指导老师	姓名	性别	职称	所在单位及职务		联系电话
	邵慧	女	教授	安徽建筑大学电子与信息工程学院		15855188988

一、项目简介

随着我国道路交通事业的飞速发展和人们生活水平的逐渐提高以及各大城市道路交通系统的不断完善，交通事故猛增成了交通管理所面临的严重问题，如图 1。



图 1 近年交通事故财产损失与死亡人数统计

针对酒后驾驶和超速驾驶我国已经从法律层面进行了规范和治理，但对于分心驾驶和疲劳驾驶至今仍然缺乏有效的预防和治理措施。

本项目设计一套基于 Raspberry Pi 和 STM32 微控制器驾驶员驾驶状态及心率血氧检测系统。在 Raspberry Pi 里植入 Linux 系统，Linux 系统中搭建 Opencv 和 Dlib 环境，STM32 微控制器作为 Raspberry Pi 的协处理器。

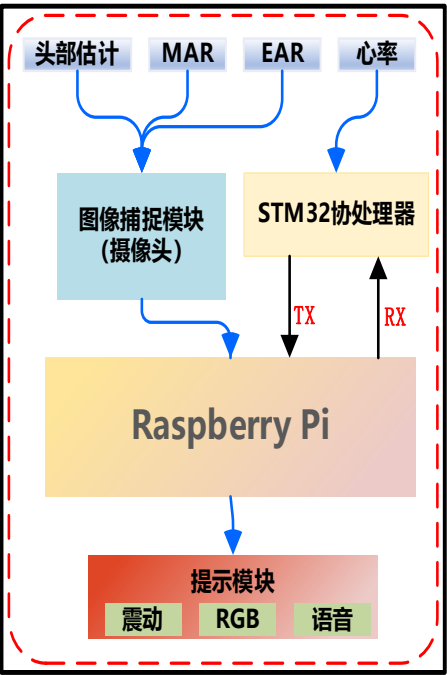


图 2 主控及外围设备框图

车辆行驶过程中，Raspberry Pi 通过摄像头获取每帧图像，计算出驾驶员头部估计值（计算头部在三维空间中偏转角度），嘴部的开合度（MAR）和眼部的闭合程度（EAR）对驾驶员进行状况监测（如图 2）。同时 Raspberry Pi 与 STM32 通信，接收 MAX30100 模块采集的心率信息。该系统可实时对非正常驾驶中的驾驶员进行震动，语音和 RGB 灯光提醒。实现优势互补的“融合检测”。该装置完成了接触式设备和非接

触式设备的融合监测，在驾驶员安全驾驶领域具有较为良好的应用前景。

二、申请理由（包括自身/团队具备的知识条件、特长、兴趣等）

## ● 团队及指导老师介绍

### ◆ 指导老师邵慧 教授 博士学位 硕士研究生导师

多次主持安徽省高校省级重点项目，具备丰富的研发和项目管理经验，能够为团队发展提供关键的指导意见及技术支持。

### ◆ 成员竞赛经历，合作经验丰富

团队成员 5 人，其中 4 人为电信学院互联创新实验室成员，曾共同参加过全国大学生电子设计竞赛、全国大学生嵌入式芯片与系统设计竞赛、全国大学生智能车竞赛等 A 类赛事及大学生创新创业训练计划项目并取得不错成绩，合作经验和竞赛经历丰富。成员在全国大学生数学建模竞赛中分别获得国家级、省级等奖项。

### ◆ 团队成员专业能力强

团队成员熟练使用 51 单片机，STM32 单片机，掌握标准库和 HAL 库开发且精通 STM32cubeMX 图形化编程软件和 Keil 软件，在项目实战和竞赛中，团队已完成基础外设与单片机片内外设的底层驱动程序编写，形成了较完备的自建驱动程序库，科研能力较强。成员曾共同完成计算机视觉相关项目，在 Windows 系统中搭建 Pytorch 环境基于 YOLO 算法的分类项目。

### ◆ 团队成员成绩优异，责任心强

本团队共 5 名成员，成绩优异，均获得校级奖学金，两位成员获得国家励志奖学金。各成员均具备足够的能力与充足的专业知识储备，互有所长，能力互补，有助于团队合理规划、高效率完成任务。

## ● 团队成员介绍

### ◆ 负责人：年志豪

精通 STM32cubeMX 图形化编程软件和 Keil 软件且熟练使用 51 单片机，STM32 单片机，掌握标准库和 HAL 库开发.具有计算机视觉（YOLO 算法）相关项目开发经验。部分经历获奖如下：

- 全国大学生数学建模竞赛（CUMCM）国家级二等奖
- 2021 年国家励志奖学金
- 智能车竞赛二等奖，入围省赛
- 美国大学生数学建模竞赛(MCM)二等奖(H)
- 2021 年校级奖学金，三好学生荣誉称号及 2021 年上学期专业第一荣誉证书

### ◆ 成员 1：胡傲

有嵌入式开发经验，多次参加相关竞赛以及嵌入式开发的项目，可以熟练使用 51 单片机和 STM32 单片机进行项目开发，对于嵌入式开发有充分的爱好和兴趣。同时有数据分析与数学建模的相关能力，可以熟练使用 Matlab，Python，Spss 等软件进行编程，对模型算法学习也较多。部分经历获奖如下：

- 全国大学生数学建模竞赛（CUMCM）三等奖
- 智能车竞赛三等奖，入围省赛
- 2021 年校级奖学金

### ◆ 成员 2：叶旺

学习认真刻苦，追求卓越，成绩优异、善于思考，具有创新精神，热爱科研，具备足够的能力和充足的专业知识储备、精通数学和多种编程语言，动手能力强，有良好的沟通能力，富有团队意识和合作精神。部分经历获奖如下：

- 2021 年国家励志奖学金
- 2021 年校级奖学金
- 校级文体类比赛一等奖
- 2021 年三好学生荣誉称号

### ◆ **成员 3：金松源**

任务责任心强，勤恳踏实、吃苦耐劳，有一定的创新能力，亦注重优良的团队协作精神和个人观念，具有高度的纪律性，生活和顺应环境的能力较强。在校期间，专业绩点名列前茅，获得多项奖学金；担任班级心理委员，勤劳能干；参加数学建模、电子设计大赛等大规模比赛，思维敏捷、动手实践能力强。部分经历获奖如下：

- 智能车竞赛三等奖，入围省赛
- 2021 年校级奖学金

### ◆ **成员 4：吴梦雅**

学习认真努力，积极参加各种专业赛事，曾参加电子设计大赛、智能车大赛等赛事。品德兼优，有较强的实践能力和组织能力，多次参加学院组织的各种思想引领活动。部分经历获奖如下：

- 全国大学生数学建模竞赛（CUMCM）三等奖
- 智能车竞赛三等奖，入围省赛
- 2021 年校级奖学金
- 班级优秀团干荣誉

### 三、项目方案

本项目是基于机器视觉和心率变异性的行车安全监测装置，在 Raspberry Pi 中使用 Linux 系统，在 Linux 系统中搭建 Opencv 和 Dlib 库环境，调用 face-recognition 模块与 Dlib 库中 HOG 特征对驾驶员眼部特征点标注，计算驾驶员眼睛闭合程度，开始实时进行驾驶员驾驶状态监测,如图 3 所示：

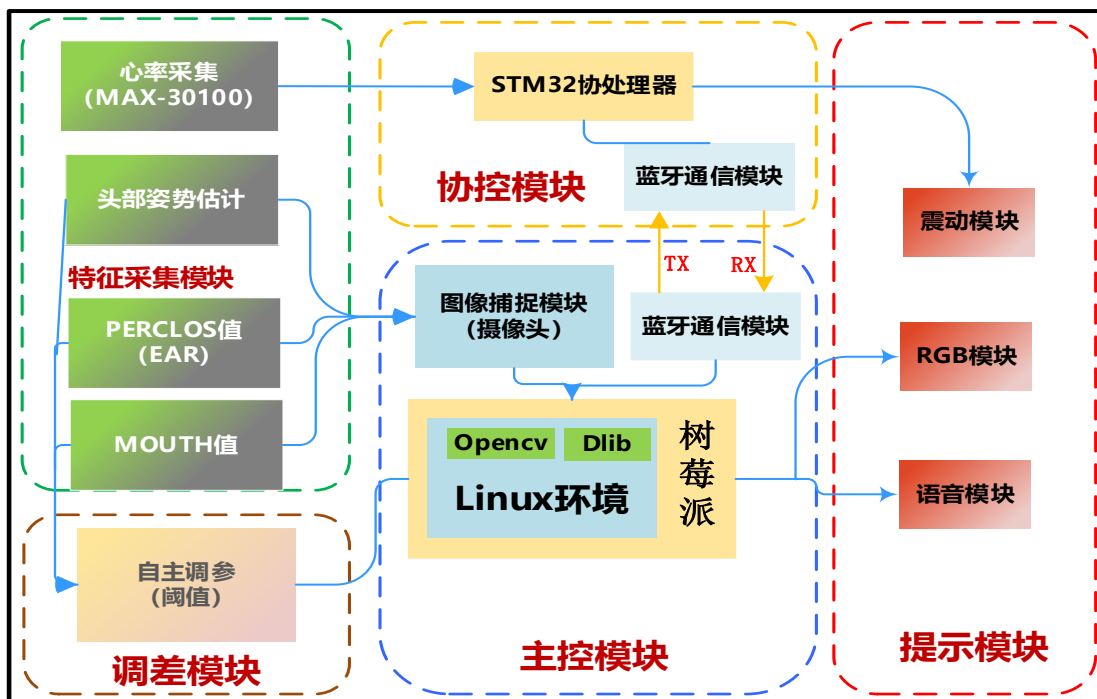


图3 系统内部库及外围设备框图

同时,STM32 开始进行驾驶员心率的监测，当测定的疲劳值达到一定阈值时，Raspberry Pi 与 STM32 通过串口通信，控制震动模块逐渐加大震动并通过声音播报提醒驾驶员。同时本项目所设计的装置在原有的开源项目上进行创新和优化，如：增加多维度的特征点来提高识别精度，不仅仅对疲劳驾驶进行识别，还对分心驾驶进行检测。在原有项目基础上进行优化，为了降低世界坐标系投影到相机二维图像的距离偏差，引入头部姿势估计算法，相似计算三维空间中真实投影的欧拉角。





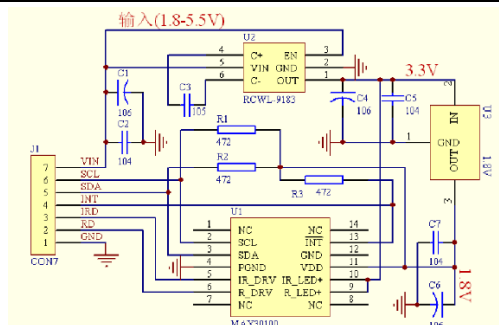


图 6 MAX-30100 原理图

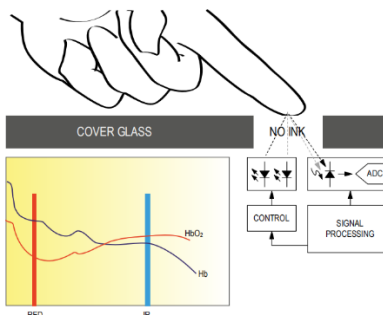


图 7 MAX-30100 采集示意图

该模块中红光、红外光都用来测量驾驶员血液中的氧含量。含氧血液中传递更多的红光并吸收更多的红外光，而脱氧血液中传递更多的红外光并吸收红光，读取两个光源的吸收电平，通过测量心脏向外泵的血 液 中的氧合血红蛋白增加和减少之间的时间，确定脉搏率（心率）。

## ➤ Raspberry Pi

Raspberry Pi 4B 采用官方的 Raspbian 操作系统，搭载 Opencv 环境，大(主)芯片为 Broadcom 的 BCM2711BO，最高主频 1.5GHz，4 个 CortexA72 内核，支持 64 位。Raspberry Pi4B 配备 500 万像素的广角摄像头，其静止图像分辨率可达 2592\*1944px，并支持 720p 与 1080p 视频。

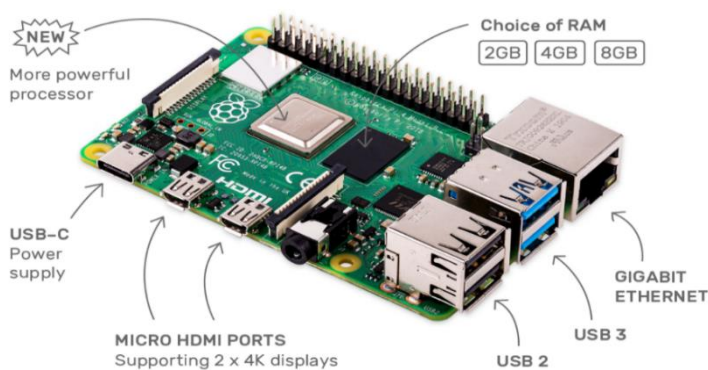


图 8 Raspberry Pi 主控及外设外观图

## 1.2 系统算法介绍

### ➤ 头部姿态估计 (Head Pose Estimation)

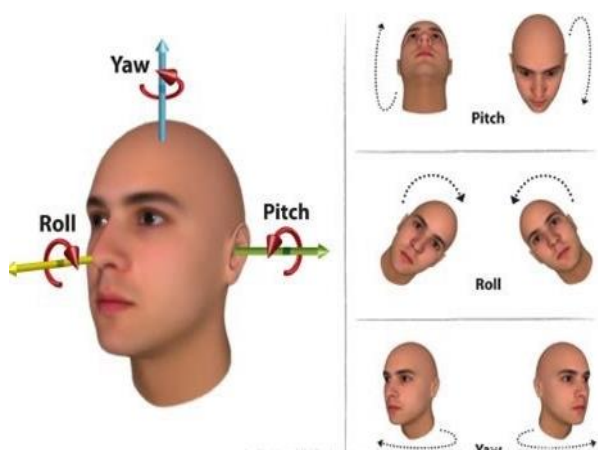


图 9 头部姿态估计示意图

通过一幅面部图像来获得头部的姿态角. (示意图: 图表 9) 在 3D 空间中, 表示物体的旋转可以由三个欧拉角(EulerAngle)来表示: 分别计算 pitch(围绕 X 轴旋转), yaw(围绕 Y 轴旋转)和 roll(围绕 Z 轴旋转), 分别学名俯仰角、偏航角和滚转角, 通俗是抬头、摇头和转头。

HeadPoseEstimation 算法的步骤为:

- (1) 2D 人脸关键点检测;
- (2) 3D 人脸模型匹配;
- (3) 求解 3D 点和对应 2D 点的转换关系;
- (4) 根据旋转矩阵求解欧拉角。

一个物体相对于相机的姿态可以使用旋转矩阵和平移矩阵来表示:

- 平移矩阵: 物体相对于相机的空间位置关系矩阵, 用  $t$  表示;
- 旋转矩阵: 物体相对于相机的空间姿态关系矩阵, 用  $R$  表示。

坐标系转换分析, 分别是: 世界坐标系( $U, V, W$ )、相机坐标系( $X, Y, Z$ )、图像中心坐标系( $u, v$ )和像素坐标系( $x, y$ ), 如下图:

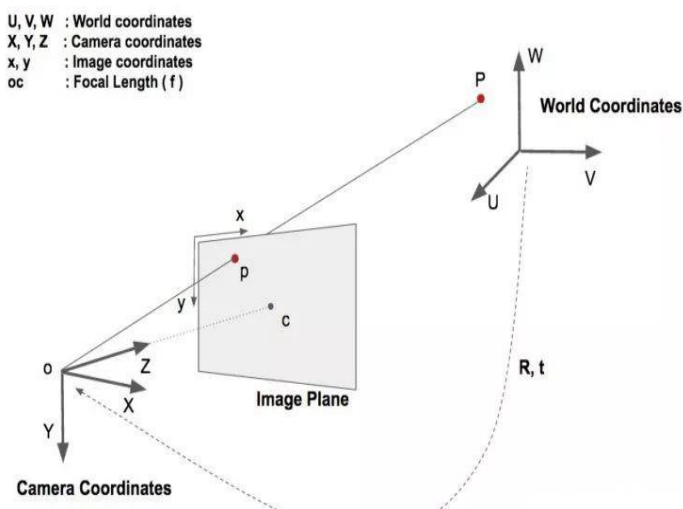


图 10 世界坐标系到相机坐标系映射图

图 10 中，O 是相机的中心，图中所示的平面是图像平面。我们找出控制 3D 点 P 在图像平面上的投影的方程。假设我们知道 3D 点 P 在世界坐标中的位置。如果我们知道

世界坐标相对于相机坐标的旋转 R（一个  $3 \times 3$  矩阵）和平移 t（一个  $3 \times 1$  向量），可以使用以下等式计算该点 P 在相机坐标系中的位置 (X,Y,Z)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + t \quad \text{_____} \quad (1)$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [R \mid t] \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{bmatrix}$$

扩展形式：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & t_x \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & t_y \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{_____} \quad (2)$$

上述是一个线性方程组，其中  $r_{i,j}$  和  $(t_x, t_y, t_z)$  是未知数。知道足够数量的点对应关系  $((U,V,W)$  和  $(X,Y,Z)$ ) 便可以求解未知数。

同理：可以得到相机坐标系到像素坐标系的关系

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & f_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中  $\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$  是像素点坐标,  $\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & f_z \end{bmatrix}$  是旋转和平移变换矩阵。

联立上述公式可得到像素坐标系（摄像头捕捉的图像像素）到世界坐标系（场景）的变换关系：

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & f_z \end{bmatrix} [R | t] \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

确定 pose 是：确定从 3Dmodel 到图片中人脸的仿射变换矩阵，包括旋转和平移的信息；其实 OpenCV 已经给我们提供了求解 PnP 问题的函数 solvePnp(), 其输出结果包括旋转向量(rotationvector)和平移向量(translationvector), 本项目只需要关心旋转信息，所以主要将对旋转向量进行操作。通过引入四元数处理旋转向量就可以得到欧拉角。

### ➤ Eye Aspect Ratio

计算眼睛长宽比 EyeAspectRatio, EAR. 当人眼睁开时, EAR 在某个值上下波动, 当人眼闭合时, EAR 迅速下降, 理论上会接近于零, 当时人脸检测模型还没有这么精确。所以我们认为当 EAR 低于某个阈值时, 眼睛处于闭合状态。为检测眨眼次数, 需要设置同一次眨眼的连续帧数。眨眼速度比较快, 一般 1~3 帧就完成了眨眼动作。两个阈值都要根据实际情况设置, 本项目加入了自动调参算法, 解决

了因人眼型差异而导致的识别精确度不高问题。

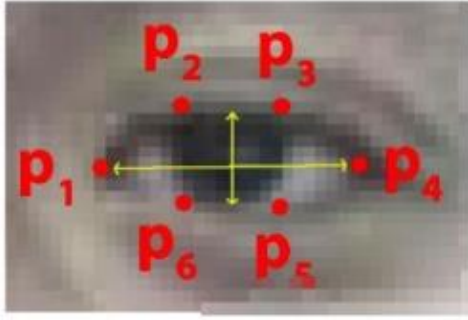


图 11 EAR 六点坐标图

$$EAR = \frac{\|P_2 - P_6\| + \|P_3 - P_5\|}{2 \|P_1 - P_4\|} \quad (5)$$

通过计算  $P_{38}$ 、 $P_{39}$ 、 $P_{42}$ 、 $P_{41}$  的纵坐标、 $P_{37}$ 、 $P_{40}$  的横坐标来计算眼睛的睁开度。

如： $1/2 * [(y_{42} + y_{41}) - (y_{38} + y_{39})] / (x_{40} - x_{37})$  通过一个阈值确定眼睛是睁开还是闭上。

也可以将这个值与初始的值的比值作为睁开度，根据不同程度来进行比较。睁开度从大到小为进入闭眼期，从小到大为进入睁眼期，计算最长闭眼时间（可用视频帧数来代替）闭眼次数为进入闭眼、进入睁眼的次数：

$$\text{Eye Aspect Ratio}_{Right} = \text{normalize} \left( \frac{P_{42} * y + P_{41} * y - P_{38} * y - P_{39} * y}{P_{40} * x - P_{37} * x} \right) \quad (6)$$

目前，PERCLO 方法有三种判断疲劳的不同准则，分别 E 准则、P70 准则、P80 准则。其具体含义如下：

EM 准则：瞳孔被眼睑覆盖超 50% 的面积，则认为眼睛是闭合的；

P70 准则：瞳孔被眼睑覆盖超 70% 的面积，则认为眼睛是闭合的；

P80 准则：瞳孔被眼睑覆盖超过 80% 的面积，则认为眼睛是闭合的。

当人注意力特别集中或处在沉思状态时可能也会有眼睑覆盖瞳孔超过 50% 甚至 70% 的可能，所以系统采用的是 P80 准则。

统计表明，人在一分钟之内要眨十次左右的眼，每次需要 0.3—0.4 秒左右。然而，由于驾驶员工作性质的不同，需要其在工作中注意力高度集中，所以眨眼次数略少，约 5~10 次。眼睛闭合的频率以及闭合时间的长短与疲劳有密切联系，如果

连续监测到驾驶员的 PERCLOS>30%且平均闭眼时长>0.25s, 就判定驾驶员处于非正常驾驶状态, 并发出报警。

截至目前, 国内外针对疲劳驾驶检测系统的设计与开发方法可分为主观检测法和客观检测法。主观检测法是通过驾驶员进行人工询问、填写调查表、主观评价等方式获取在不同时间段下驾驶员的心理、驾驶动作以及面部表情等信息, 然后通过对获取到的信息进行分析从而得出驾驶员的疲劳状态。

➤ **心率值 (MAX-30100)**

该模块中红光、红外光都用来测量驾驶员血液中的氧含量。含氧血液中传递更多的红光并吸收更多的红外光, 而脱氧血液中传递更多的红外光并吸收红光, 读取两个光源的吸收电平, 通过测量心脏向外泵的血液中的氧合血红蛋白增加和减少之间的时间, 确定脉搏率 (心率)。由于人体的皮肤、骨骼、肌肉、脂肪等对于光的反射是固定值, 而毛细血管和动脉、静脉由于随着脉搏容积不停变大变小, 所以对光的反射值是波动值, 而这个波动值正好与心率一致, 所以光电容积法正是通过这个波动的频率来确定使用者的心率数据。

spO<sub>2</sub> 计算公式:

$$spO_2 = \frac{\text{氧合血红蛋白}}{\text{去氧血红蛋白} + \text{氧合血红蛋白}} * 100\% \quad (7)$$

该模块利用 IIC 通信协议与 STM32 交换数据, 读取 raw IR Value (红外 FIFO 数据)、raw Red Value (红光 FIFO 数据) 进行处理计算驾驶员心率血氧数据。

系统主要监测指标及人体正常情况下的数据, 如表 1 所列:

表 1 监测指标参考

人体健康指标	正常范围
心率	60-100 次/分钟
血氧饱和度	95%-100%
脉搏	新生儿 130-140 次/分钟 3-5 岁儿童 100-120 次/分钟 10 岁 左右儿童 90-100 次/分 老年人约 55-60 次/分钟



#### 四、项目特色与创新

##### ✿ 引入头部估计算法，降低世界坐标系投影到相机二维图像的距离偏差

计算驾驶员在三维空间的三个垂直方向的偏转角度，修正 EAR 与 MAR，提高识别可信度。汽车驾驶员从根本上受到人们在任何时候都能观察到的视野的限制。当一个人没有注意到他的环境发生变化时，如果驾驶员被警告出现看不见的危险，则可能会减轻危及生命的碰撞的可能性。

##### ✿ 实现接触式设备和非接触式设备的融合监测

与传统的纯计算机视觉设备相比，本系统增加了接触式设备，实现对驾驶员心率的测量，从而更高效准确的监测驾驶员驾驶状态和提醒驾驶员。与传统的接触式方案相比，其接触式方案更简单，无需繁杂的操作和过多的接触式设备，减少了该设备对驾驶员的影响。

##### ✿ 增加多维度的特征点提高识别精度

不仅仅对疲劳驾驶进行识别，还可实现分心驾驶检测。调用 Face-Recognition 模块与 Dlib 库中 HOG 特征对驾驶员面部特征点标注。计算驾驶员 EAR 与 MAR 值，通过头部估计算法计算 Pitch(围绕 X 轴旋转)，Yaw(围绕 Y 轴旋转)和 Roll(围绕 Z 轴旋转)，修正 EAR 与 MAR 值，提高识别精度。

## 五、项目进度安排

**项目进度安排计划表**

时间	进度安排
2022 年 6 月—2022 年 9 月	设备材料购买,硬件电路设计及焊接, Linux 系统植入,STM32 通信调试
2022 年 9 月—2022 年 12 月	STM32 底层驱动程序编写, 调试 Dlib Opencv 库环境搭建及程序编写调试
2022 年 12 月—2023 年 2 月	程序内部参数调试优化, 设备测试
2023 年 2 月—2023 年 5 月	成果总结与撰写结题报告, 论文

## 六、项目经费使用计划

**项目经费使用计划表**

开支项目	预算经费 (元)	主要用途
预算经费总额	10000	
实验材料费	4000	购买所需设备和材料
论文发表	2000	发表论文费用
资料费与日常办公用品	3000	日常办公有关的费用
学术交流与调研费	1000	学术交流和调研相关费用

## 七、项目预期成果

### ☞ 设计和搭建一套可实用的行车安全监测系统

完成项目方案里的硬件电路搭建和系统环境搭建以及 STM32 协处理器的底层驱动程序编写。在系统环境中完成算法编写和设备调试。该设备将实现接触式设备和非接触式设备的融合监测，达到高效准确监测驾驶员驾驶状态的效果。

### ☞ 完成并提交结题报告

撰写结题报告一份，对该项目进行客观、全面、实事求是的描述。结题报告将包含项目背景，研究意义，理论依据，研究目标，研究主要内容，项目研究方法步骤以及主要过程等部分。完成对项目的回顾，梳理以及归纳。

### ☞ 发表高质量论文一篇

撰写并发表论文一篇。首先针对项目相关的文献进行研究，分析以及学习。对本项目内容以及创新点进行系统的描述与归纳，完成对本项目高度总结，精心分析，合乎逻辑地铺述。

## 八、项目诚信承诺

本项目负责人和全体成员慎重承诺，该项目不抄袭他人成果，不弄虚作假，先诚实做人，再诚信做学问和研究，按项目进度保质保量完成各项任务。

项目负责人签名：年志豪 项目组成员签名：胡傲 叶照 余松源 彭雅

2022 年 5 月 19 日

2022 年 5 月 19 日

<div>指导教师意见：</div> <div></div> <div>签    名：</div> <div>年    月    日</div>
<div>所在学院意见：</div> <div></div> <div>签名盖章：</div> <div>年    月    日</div>
<div>学校意见：</div> <div></div> <div>签名盖章：</div> <div>年    月    日</div>