

上海交通大学

课程设计报告

课程名称: 《工程实践与科技创新 3F》

设计题目: 基于树莓派的智能小车自动驾驶实践

实验时间: 2023 年 2 月 13 日 至 2023 年 5 月 29 日

学院(系): 电子信息与电气工程学院

专 业: 自动化

学生姓名: 李厚霖 学号: 520020910007

2023 年 6 月 17 日

目录

- 1.实验任务介绍3
- 2.基于树莓派的智能小车自动驾驶实践.....3
 - 2.1 任务背景介绍 3
 - 2.2 任务完成情况 4
 - 2.3 项目内容和实现过程介绍 5
 - 2.3.1 基础巡线和手势识别： 5
 - 2.3.2 霍夫圆检测： 7
 - 2.3.3 模板匹配和左右识别： 8
 - 2.3.4 APP 开发： 9
- 3.项目总结 11

1.实验任务介绍

在第七到第十六周，我们需要完成基于树莓派的智能小车自动驾驶的实践，该任务与第一个任务不同，我们不再使用仿真平台，而是需要根据现实情景，利用数字图像处理、自动控制原理等多学科知识，实现树莓派智能车巡线、倒车入库以及简单障碍物识别操作。

课程任务：

利用数字图像处理、自动控制原理等多学科知识，实现树莓派智能车巡线、倒车入库以及简单障碍物识别操作。

图 1 基于树莓派的智能小车自动驾驶实践任务要求

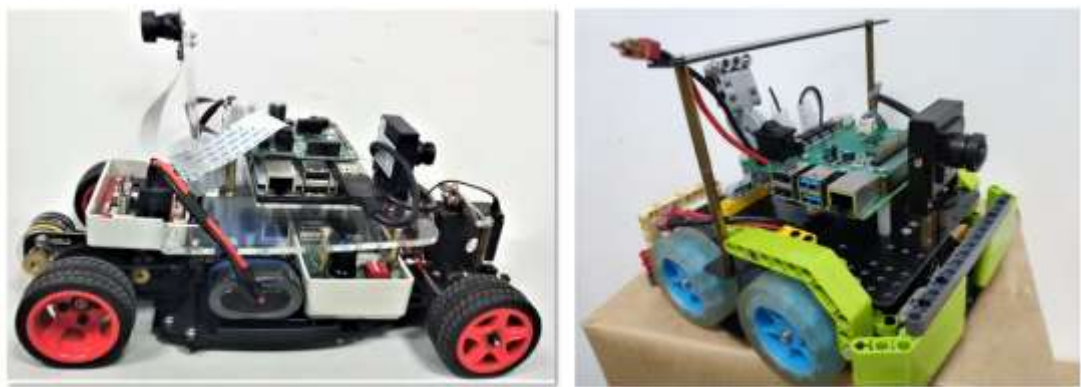


图 2 实体小车展示

2.基于树莓派的智能小车自动驾驶实践

2.1 任务背景介绍

本任务要求我们利用数字图像处理、自动控制原理等多学科知识，实现树莓派智能车巡线、倒车入库以及简单障碍物识别等操作。树莓派智能车的系统结构如下图所示：

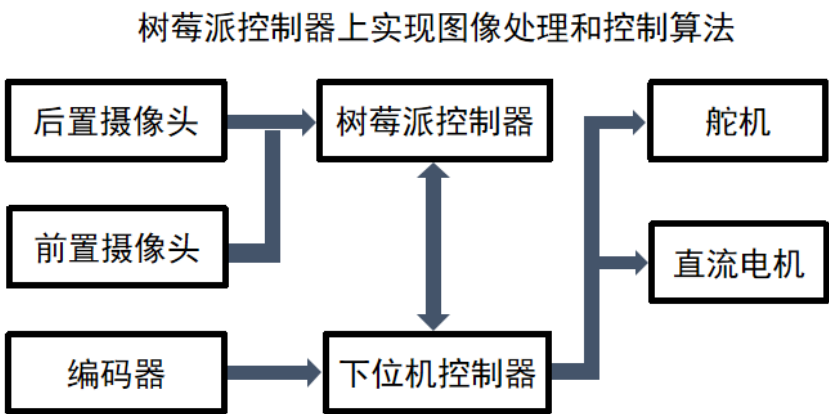


图 3 树莓派智能车系统结构

该任务提供了两种树莓派智能车：①飞思卡尔车②差速车，我们选用的是差速车。

差速小车则需要在巡线过程中使用摄像头完成标志识别和障碍物识别，从而避开障碍物完成转向并到达终点。

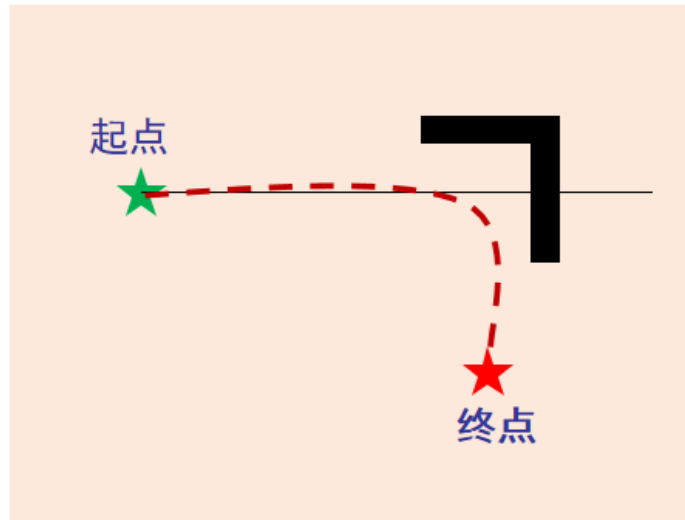


图 4 差速车任务示意图



图 5 差速车任务场地照片及标志图像

2.2 任务完成情况

我们选择了差速小车，因此完成了基本的单线巡线、标志识别以及自动避障的任务，除此之外，我们还额外实现了语音识别控制小车移动、APP 控制小车移动以及手势识别的功能。其中涉及的几项关键技术介绍如下：

（1）自动寻迹

在行驶场地中能够沿着给定的黑线进行行驶，同时在两条黑线交叉的十字路口处停留，

等待进一步识别。

（2）左右识别

在十字路口处会设置“左”、“右”的标志，小车经过识别之后能够相应地进行左转、右转的动作。

（3）蓝牙 APP 控制

通过图形化编程与界面设计，实现在手机端通过蓝牙对小车进行前进、后退、调速、转弯等控制，也支持语音控制。

（4）手势识别

在摄像头识别范围内，用手势比出数字时，能够识别出具体的数字是多少，支持 0-5 的范围。

（4）语音识别：

语音识别的目标是将人类的语音中的词汇内容转化为计算机可读的输入。在这个模块中，我们可以说前进、后退、左转、右转等命令控制小车运动。

2.3 项目内容和实现过程介绍

我们将项目内容分为了四个板块：①基础巡线和手势识别②霍夫圆检测③模版匹配和左右识别④APP 开发，每个板块由小组中的一名成员独立完成。

2.3.1 基础巡线和手势识别：

图像预处理：

由于本次实验中使用的是鱼眼相机，其特征是视角大，能看到较大范围内的物体，但相对的，相机成像后的畸变也就较大。因此需要通过标定获得其畸变参数，从而对获得图片进行畸变校正。同时由于在实验中小车对车道的视角是俯视的，通过透视变换，我们可以将相机从斜向下的视角得到的车道图像变换成完全的俯视图。



图 6 相机标定

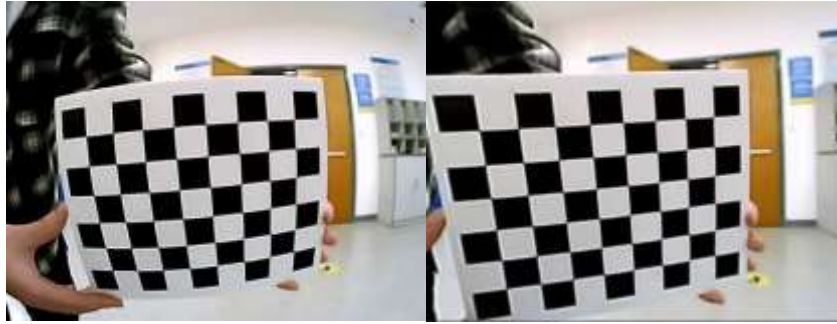


图 7 透视变换（左：变换前；右：变换后）

除了标定和透视变换，我们还需要对图片进行截取和开运算，减少赛道外的背景与光线在白布上的反光影响，此时画面中基本只有黑色的车道与白色的背景，因此可以直接选择使用大津法来对图片二值化。

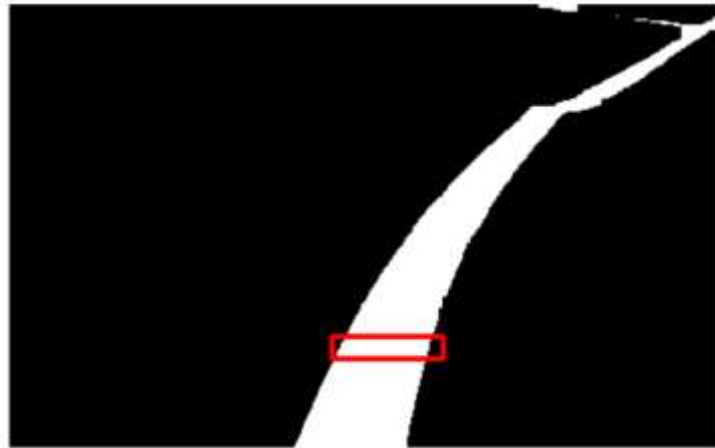


图 8 使用大津法二值化后的图像

控制实现：

在图像预处理完成后我们采用了滑窗法来确定轨线中心。首先确定预瞄距离，接着使用滑窗滑过图片该行，进行像素和的计算，和最大的位置便是车道所在位置。滑窗中心定为跟踪目标点。

对于车辆的控制，我们采用了 PID 控制，将目标跟踪点与车辆航向间的夹角作为误差进行 PID 控制。

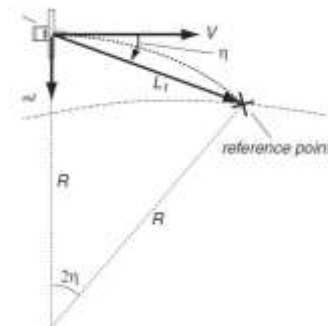


图 9 误差计算示意图

手势识别：

手势识别分为以下几个步骤：①肤色检测，采用椭圆肤色检测模型②根据肤色提取手势图像③对提取的图像进行边缘轮廓检测④判断凹点个数，利用余弦定理计算凹点夹角，根据锐角个数判别手势。

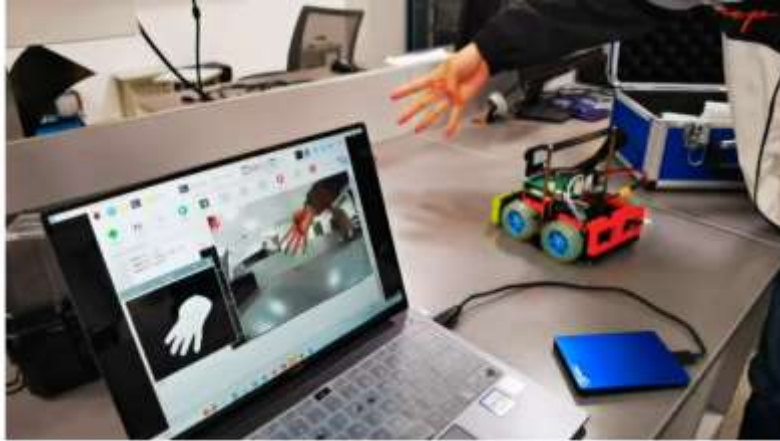


图 10 手势识别示意图

2.3.2 霍夫圆检测：

霍夫圆检测原理：

过点 (x_1, y_1) 的所有圆可以表示为 $(a_1(i), b_1(i), r_1(i))$ ，在 (a, b, r) 空间内，笛卡尔空间中的点为一条曲线，三条曲线若交于同一点，则说明三点共圆。

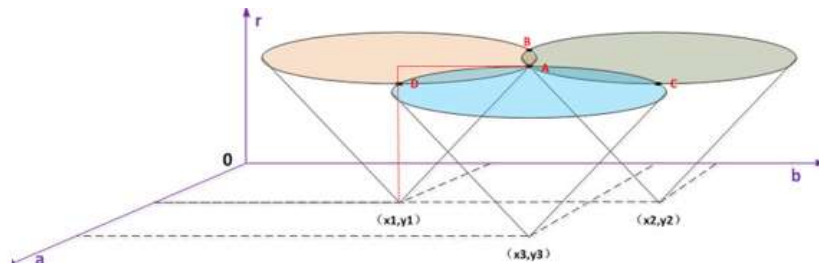


图 11 霍夫圆检测原理示意图

霍夫圆检测实现：

霍夫圆检测的实现分为两个步骤：①寻找霍夫圆圆心②寻找霍夫圆半径

对于寻找霍夫圆圆心，我们首先对图像进行 Canny 边缘检测，获得二值图，然后 Sobel 算子，计算出所有像素的邻域梯度值，最后对所有点沿着梯度方向画线投票，投票最多的点即为圆心。

对于寻找霍夫圆半径，首先计算 Canny 图中所有非 0 点距离圆心的距离，然后根据阈值，选取合适的可能半径，最后遍历 Canny 图中的非 0 点进行投票，投票数最多的半径大小即为霍夫圆的半径。

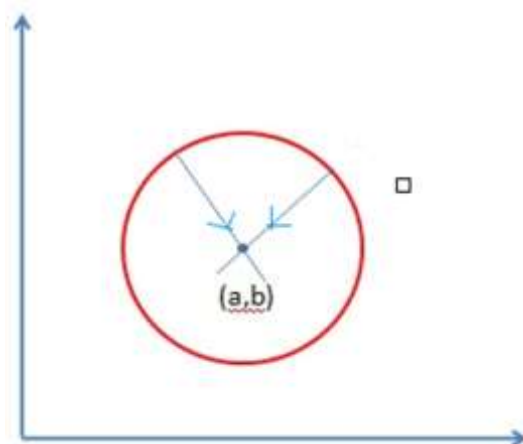


图 12 霍夫梯度法原理示意图

2.3.3 模板匹配和左右识别:

模板采集与标定:

为了提高模版匹配器的鲁棒性和泛用性,我们在不同角度和不同光照条件下采集了多个视频,



图 13: 不同角度和光照条件下采集的数据

之后对视频进行截取、检测霍夫圆中心、选取合适的 R 和 ROI 来确定模版的大小和位置, 截取后的模版大致如下图所示:

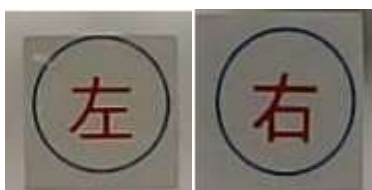


图 14 模版示例

模板匹配算法:

一共有六种模板匹配的算法, 分别为: 方差匹配法、归一化方差匹配法、相关性匹配法、归一化的相关性匹配法、相关系数匹配法、归一化的相关系数匹配法 (CV_TM_CCOEFF_NORMED)

我们选择了归一化的相关系数匹配法来计算模版与我们的检测对象的相似度, 选取相似度最高的模版作为检测对象的类别, 计算公式如下所示:

$$T'(x, y) = \frac{T(x, y) - \frac{1}{w \times h} \sum_{x', y'} T(x', y')}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2}}$$

$$I'(x, y) = \frac{I(x, y) - \frac{1}{w \times h} \sum_{x', y'} I(x', y')}{\sqrt{\sum_{x', y'} I(x', y')^2}}$$

$$R(x, y) = \sum_i (T'(x', y') \times I'(x + x', y + y'))$$

图 15 归一化相关系数匹配法计算公式

我们选取得到与三类模板匹配度最高三个 max_value，之后又在这三个 max_value 中得到三个值中的最大值对应的模板类型。

算法优化：

由于单纯用实际相机拍摄图片和模板进行匹配的偶然性太大，，因此我们要进行一定的算法优化：

首先，我们要对实时获得的图片截取 ROI。与之前的方法一样，对获得的图片进行检测处理，检测到霍夫圆后，确定霍夫圆圆心，设置与模板相同大小的半径，得到对应的 ROI。

之后，我们再用用大津法对图片进行二值化处理，得到对应的结果（同时我们也对模板用大津法一并处理）：



图 16 大津法处理后的左右图

最后，为减少偶然性，提高精确度。我们设计了一个窗口，大小为 10，每次有匹配结果后读入数据，共 10 个数值。选取窗口中识别次数最多的模板作为最终的结果。最终得到的实验结果还是比较满意的。

2.3.4 APP 开发：

APP 开发环境：

我们的 APP 开发使用的是 WxBit 图形化编程，这是中国 App Inventor 爱好者制作的基于 App Inventor 的 APP 开发服务器。WxBit 图形化编程对 App Inventor 的内容进行了汉化和本地化，除此之外还在原基础上提供高德地图、高德定位、百度语音合成与识别、人脸检测等组件，为我们的功能开发与实现提供更多便利。



图 17 WxBit 图形化编程 LOGO

APP 主页面：



图 18 小车 APP 主界面

上图为 APP 的主界面，在蓝牙成功连接小车后，可以通过调节速度滑块位置，实现小车速度的控制。通过按下声音控制按钮，可以实现语音控制小车运动。此外，我们还提供运动控制按键，实现 APP 遥控小车运动。

语音控制：



图 19 语音控制代码

上图为语音控制模块，当我们按下主页面的声音控制按钮后，APP 会调用手机的声音传感器接收我们的语音。当接收完毕后，通过百度语音识别和语音合成 API 接口调用语音识别和语音合成功能，将我们的语音转换成文本，通过匹配文本，输出对应文本的信号到串口，再由树莓派上编写好的小车控制代码对信号进行处理，从而实现语音对小车的控制。

3.项目总结

在本学期的《工程实践与科技创新III-F》课程中，我们团队成员配合默契，热情合作，齐心协力地完成每一次实验过程；同时每位团队成员分工明确，衔接紧密，有条不紊地实现每一个功能模块。在项目初始，我们小组就已经分配好了各自的任务，林鼎同学负责巡线控制和手势识别模块，郝科同学负责霍夫圆的检测，本人负责模版匹配和左右标志识别，卓东同学则负责 APP 的开发。项目正式启动之后，每个人都做着不同的工作，秩序井然，达成了良好的团队学习效果。

总体来说，这是一个极其锻炼我们动手实践能力的项目。在这个项目中，我们将学到的模式识别、图像处理、数学建模等知识转化为实践输出，不但加深了对理论知识的掌握与理解，还增强了我们的代码能力与动手能力。同时我们小组成员分工明确，很有干劲，各司其职，均为完成小组任务做出了巨大的贡献，最终共同完成了项目，达到了预期的结果。