



南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

智能机器人 与智能信息系统

课程设计 报告

组 长	:	周旭	学 号	:	918102380136
组 员	:	林宇鹏	学 号	:	918102610114
组 员	:	许正昊	学 号	:	918102610117
组 员	:	鲍春晖	学 号	:	918103860416
组 员	:		学 号	:	
组 员	:		学 号	:	

1.题目

地面移动机器人的道路检测与识别

2.内容要求

基于智能车辆（小型移动机器人）的视觉、激光雷达等多传感器系统平台，利用所学机器人、图像处理及模式识别相关知识，开展城市结构化道路、乡村非结构化道路检测及识别方法研究，为移动机器人的局部路径跟踪及避障提供决策依据。

3.研究背景

3.1 机器人的发展现状

机器人技术是一项跨领域非常大，综合程度非常高的技术类别。这几十年，机器人技术工作者们从无到有一步步构建起了这么庞大的体系，进步是非常大的。目前来说，各个方面的技术储备已经达到了一个要爆发的临界点，比如移动机器人上游产业链完善、人工智能技术（尤其是计算机视觉）进展非常大、机器人软件系统开始扩大化发展、自主导航（无人驾驶）技术方案框架明晰，就差把所有的技术整合在一起应用于人们的生活了。可能一开始是类似仓储机器人、送餐机器人、酒店机器人这样的移动机器人，慢慢各种技术的集成与完善，才会开始出现无所不能的超级机器人。我现在创业的项目就是做以视觉应用为主的智能移动机器人，解决机器人的眼睛+移动的机能需求。无论是双足机器人、小车机器人、送餐的、送快递的、运货的，眼睛+移动是能被称之为“人”的一个基础机能，之前在 lamda 实验室已经能做出实验室级别智能移动机器人，现在在往商业化的进程上努力，行业内这一块的进度都差不多，差不多这两年可以实现这一基础机能，那么，基于此的上层软件应用也会大大加快发展速度，未来五年内服务机器人将会遍地开花。

在过去 30~40 年间，机器人学和机器人技术获得引人注目的发展，具体体现在：①机器人产业在全世界迅速发展；②机器人的应用范围遍及工业、科技和国防的各个领域；③形成了新的学科——机器人学；④机器人向智能化方向发展；⑤服务机器人成为机器人的新秀而迅猛发展。

我国在机器人研究方面相对西方国家和日本来说起步较晚。但我们所取得的

成就仍是不容轻视的。目前中国在这个方向上的进展并不比国外慢多少，国外虽然有多年的积累，但他们的分享精神还是挺足的，加上中国的年轻一代学习能力非常强，通过学习跟进和自主研发，还是可以缩短差距赶上国外水平的。

我国是从 20 世纪 80 年代开始涉足机器人领域的研究和应用的。1986 年，我国开展了“七五”机器人攻关计划，1987 年，我国的“863”高技术计划将机器人方面的研究开发列入其中。目前我国从事机器人研究和应用开发的主要是高校及有关科研院所等。最初我国在机器人技术方面研究的主要目的是跟踪国际先进的机器人技术。随后，我国在机器人技术及应用方面取得了很大的成就，主要研究成果有：哈尔滨工业大学研制的两足步行机器人，北京自动化研究所 1993 年研制的喷涂机器人，1995 年完成的高压水切割机器人，沈阳自动化研究所研制完成的有缆深潜 300m 机器人、无缆深潜机器人、遥控移动作业机器人。

我国在仿人形机器人方面，也取得很大的进展。例如，中国国防科学技术大学经过 10 年的努力，于 2000 年成功地研制出我国第一个仿人形机器人——“先行者”，其身高 140 厘米，重 20 公斤。它有与人类似的躯体、头部、眼睛、双臂和双足，可以步行，也有一定的语言功能。它每秒走一步到两步，但步行质量较高：既可在平地上稳步向前，还可自如地转弯、上坡；既可以在已知的环境中步行，还可以在小偏差、不确定的环境中行走。

3.2 车道识别研究现状

在过去几十年中，国内外许多专家学者在车道线识别和跟踪系统方面已经做出了很多积极有意义的探索。国外一些关于智能车辆辅助驾驶系统的研究成果已经比较成熟，有些已经投入到商业化应用中。相对国外的研究水平，国内的研究起步比较晚，但是发展速度比较快。

基于机器视觉的车道线检测方法比较成熟，如单目视觉、双目视觉、多目视觉等。车道线检测是对由摄像机获取的道路图像进行处理，将图像中道路上的车道线或道路边界信息提取出来。

（1）国外研究现状

国外关于车道线识别的研究比国内早，且成果也比较成熟，有些车道线识别方法已经投入到了实际的商业化应用中。其中，具有代表性的系统有：意大利帕尔玛大学开发的 GOLD 系统；美国密歇根州立大学人工智能实验室开发的 LOIS

系统；美国卡内基梅隆大学开发的 RALPH 系统；美国卡内基梅隆大学机器人学院 NavLab 实验室和 Vision & Autonomous System Center 联合开发的 SCARF 系统和 ALVINN 系统。

GOLD 系统：该系统采用立体视觉技术，根据目前车道线的油漆颜色特征来定位车道线所处位置，但是立体视觉技术面临图像匹配以及运行时间长等问题，因而该系统有设计了并行 SIMD 硬件结构来满足实时性要求。

LOIS 系统：该系统利用一种可变型的道路模板技术，将道路的弯曲度和智能车辆在行驶过程中所处道路的位置问题转换成多维参数空间的最优化问题，通过得到的最优解来解决车道偏离预警中出现的问题。

RALPH 系统：该系统首先根据车辆速度的变化情况，建立了与之相对应的一系列梯形窗口，通过对梯形窗口内的视频图像通过逆透视变换来确定道路的弯曲度，然后计算智能车辆偏离车道中心线的距离，判断车道线偏离情况，最后通过跟踪逆透视变换得到的道路平行线，从而实现道路车道线的追踪。虽然此系统可对道路曲率的改变做出判定，但道路结构变化时效果不佳。

SCARF 系统：该系统利用双目视觉原理，在图像中设置的梯形窗口内，利用霍夫变换来估计车道线可能出现的 ROI 区域，然后反投影到真实的道路平面，通过控制车辆的方向沿着 ROI 中心线方向行驶来确保车辆不会偏离车道线。

ALVINN 系统：采用基于 BP 神经网络的方法，通过对不同天气状况下的车道线特征进行训练，来得到一个参数训练模型，从而根据训练得到的参数模型来预测不同天气状况下的车道线位置。

（2）国内研究现状

随着经济快速发展和综合国力不断提升，中国在智能交通方面的研究虽然开始晚，规模小，然而中国各大学和研究机构对智能车辆的研究获得很多成果。国内的主要研究成果有以下几个：

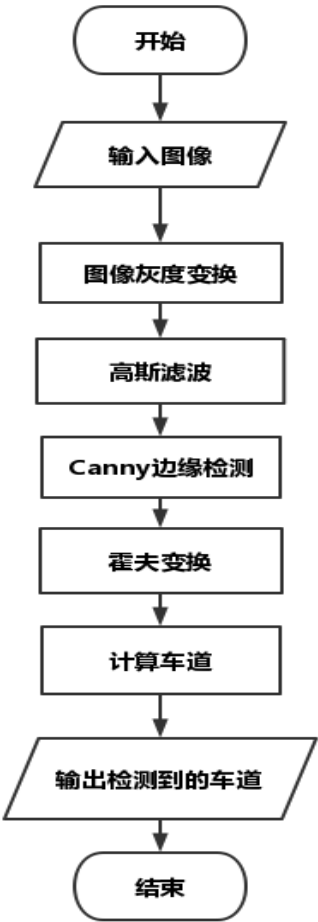
清华大学计算机智能技术与系统国家重点实验室研制的 THMR 系统：该项目采用的道路模型是直线模型，利用多窗口的双阈值二值化进行特征提取，在后续处理中采用增强转移网络来完成，在算法实时性方面做得比较好，但由于道路模型首先，因此只能对直线车道进行检测和识别。

吉林工业大学研制的 JUTIV 系统：该项目采用 3D 回旋曲线为道路模型，用

最大类方差方法来设定阈值提取道路边缘，利用随即采用的 LmedSquare 方法进行车道线曲线拟合，同时结合了驾驶员稳态预瞄原理，建立了车道线拟合的预测区域，并进一步利用多传感器信息融合技术对复杂环境下的车道线检测识别与跟踪等关键技术做了系统研究。

4.设计方案与原理

总体设计方案



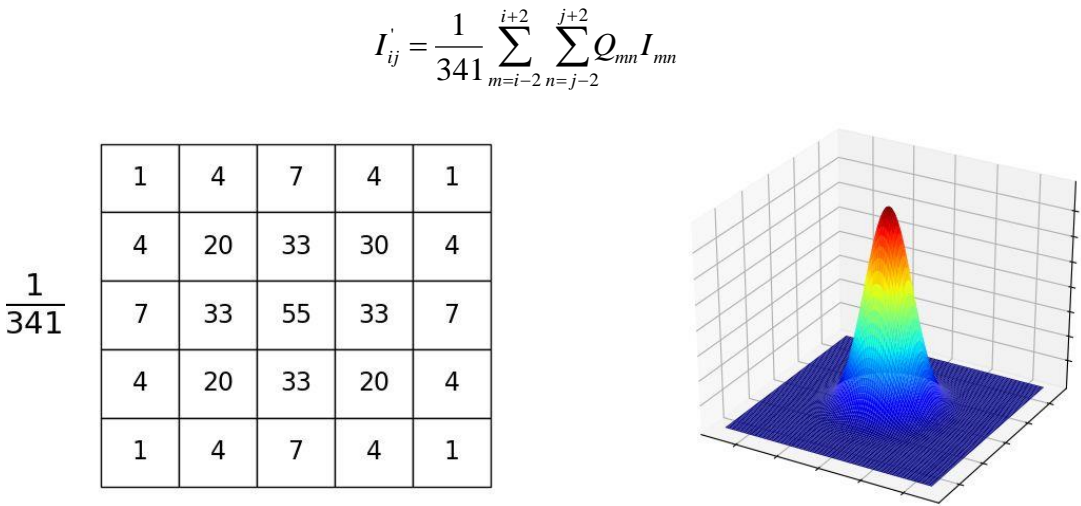
4.1 灰度变换

图像灰度化是指将彩色图像 RGB 转换为灰度图像 Gray。处理 RGB 三通道的所有信息，运算量大，花费时间长,而对图像中局部和整体之间的亮度等级、色度等级的特征和分布等信息的表现时，Gray 图像和 RGB 图像相同，Gray 图像优点之一是可降低图像处理计算量，改善运算效率，既保留了车道线信息，也使车道线与非车道线信息特征对比显著。图像预处理步骤中图像的灰度化为之后的图

像识别和分析等上层操作做了准备。

4.2 高斯滤波

高斯滤波是一种线性平滑滤波，适用于消除高斯噪声，广泛应用于图像处理的减噪过程。通俗的讲，高斯滤波就是对整幅图像进行加权平均的过程，每一个像素点的值，都由其本身和邻域内的其他像素值经过加权平均后得到。高斯滤波的思想是：用一个模板（或称卷积、掩模）扫描图像中的每一个像素，用模板确定的邻域内像素的加权平均灰度值去替代模板中心像素点的值。下图左侧展示了一个 $\text{kernel_size} = 5$ 的 Gaussian Filter，55 是高斯分布的中心点，341 是网格中所有值的和。假设网格矩阵为 Q ，图片为 I ，新图片为 I' ，则：



4.3 Canny 边缘检测

图象的边缘是指图象局部区域亮度变化显著的部分，该区域的灰度剖面一般可以看作是一个阶跃，即从一个灰度值在很小的缓冲区域内急剧变化到另一个灰度相差较大的灰度值。图象的边缘部分集中了图象的大部分信息，图象边缘的确定与提取对于整个图象场景的识别与理解是非常重要的，同时也是图象分割所依赖的重要特征，边缘检测是对图像中特征提取的关键一步，可减少很多数据量，以找出道路图像中亮度改变突出的有车道线特征的部分，使车道线特征明显，选择一种合适的方法得到的边缘信息对准确检测出道路图像的车道线信息至关重要。

Canny 边缘检测算子是一个多级边缘检测算法，它的目标为实现最优的边缘检测算法。Canny 算子的处理过程分为几个步骤，首先要对输入图像进行高斯平滑处理，然后使用一个二维一阶导数算子作用与平滑处理后的图像，用于突出图

像中高空间导数的图像区域,这样我们就从原始图像生成了图像中每个点亮度梯度图以及亮度梯度的方向。随后 Canny 跟踪这些亮度梯度并且保留局部最大值而把其他值设为 0,即非极大值抑制,最后使用双阈值算法检测和连接边缘。

3.4 基于 ROI (感兴趣区域) 的边缘过滤

感兴趣区域(Region-of-Interest, ROI)是指从原图中把图像中的待检测区域分离出来,在图像预处理领域,提取 ROI 是图像预处理阶段的一个重要步骤之一。利用基于感兴趣区域表示图像的方式对图像中各个区域的重要性进行了区分,使图像中的冗余信息和处理时间很大程度上得到了减少,突出重要信息,有利于检测精度的提升。

4.5 霍夫变换

霍夫变换(Hough Transform)属于图像处理领域中对特征进行提取的技术,对特定形状的物体进行检测时,采用的方法为投票法。Hough 变换是对图像进行检测的方法之一,可把图像中的几何形状检测出来。原理为:由点线的对偶性把原始图像空间的线转换至参数空间的点,通过这样处理把检测原始图像空间线转变成寻找参数空间峰值,即检测整体特性转变成检测局部特性。如检测直线、椭圆、圆、弧线等几何形状。

在图像 x - y 坐标空间中,经过点 (x_i, y_i) 的直线表示为:

$$y_i = ax_i + b \quad (1)$$

其中,参数 a 为斜率, b 为截矩。

通过点 (x_i, y_i) 的直线有无数条,且对应于不同的 a 和 b 。

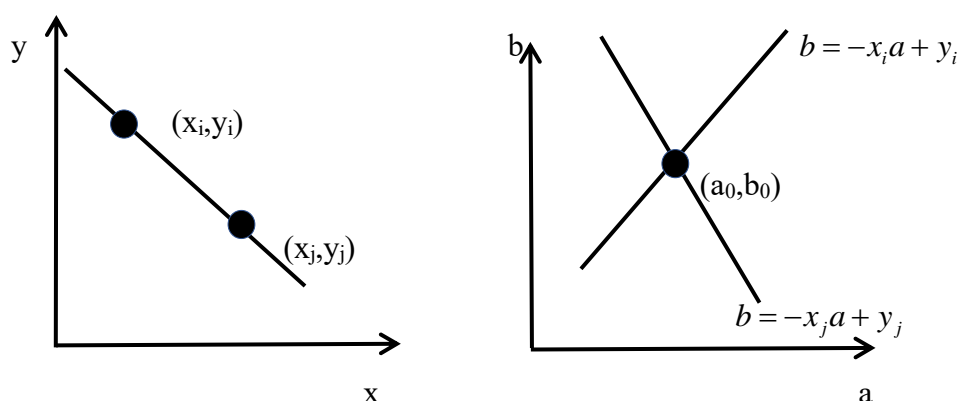
如果将 x_i 和 y_i 视为常数,而将原本的参数 a 和 b 看作变量,则式子(1)可以表示为:

$$b = -x_i a + y_i \quad (2)$$

这样就变换到了参数平面 a - b 。这个变换就是直角坐标中对于 (x_i, y_i) 点的 Hough 变换。该直线是图像坐标空间中的点 (x_i, y_i) 在参数空间的唯一方程。考虑到图像坐标空间中的另一点 (x_j, y_j) ,它在参数空间中也有相应的一条直线,表示为:

$$b = -x_j a + y_j \quad (3)$$

这条直线与点 (x_i, y_i) 在参数空间的直线相交于一点 (a_0, b_0) ，如图所示：



图像坐标空间中过点 (x_i, y_i) 和点 (x_j, y_j) 的直线上的每一点在参数空间 a - b 上各自对应一条直线，这些直线都相交于点 (a_0, b_0) ，而 a_0 、 b_0 就是图像坐标空间 x - y 中点 (x_i, y_i) 和点 (x_j, y_j) 所确定的直线的参数。反之，在参数空间相交于同一点的所有直线，在图像坐标空间都有共线的点与之对应。根据这个特性，给定图像坐标空间的一些边缘点，就可以通过 Hough 变换确定连接这些点的直线方程。

具体计算时，可以将参数空间视为离散的。建立一个二维累加数组 $A(a, b)$ ，第一维的范围是图像坐标空间中直线斜率的可能范围，第二维的范围是图像坐标空间中直线截距的可能范围。开始时 $A(a, b)$ 初始化为 0，然后对图像坐标空间的每一个前景点 (x_i, y_i) ，将参数空间中每一个 a 的离散值代入式子(2)中，从而计算出对应的 b 值。每计算出一对 (a, b) ，都将对应的数组元素 $A(a, b)$ 加 1，即 $A(a, b) = A(a, b) + 1$ 。所有的计算结束之后，在参数计算表决结果中找到 $A(a, b)$ 的最大峰值，所对应的 a_0 、 b_0 就是源图像中共线点数目最多(共 $A(a, b)$ 个共线点)的直线方程的参数；接下来可以继续寻找次峰值和第 3 峰值和第 4 峰值等等，它们对应于原图中共线点略少一些的直线。

5.详细设计

前提：智能车辆需保持在同一车道内行驶且车道线清晰可见，需与前车保持一定的距离。

输入传感器为从汽车前方角度拍摄的视频。而视频是由一帧一帧的图片所构成。

基本步骤分为以下几步：Gray Scale Transformation（灰度变换） Gaussian Smoothing（高斯平滑） Canny Edge Detection（Canny 边缘检测） ROI (Region of

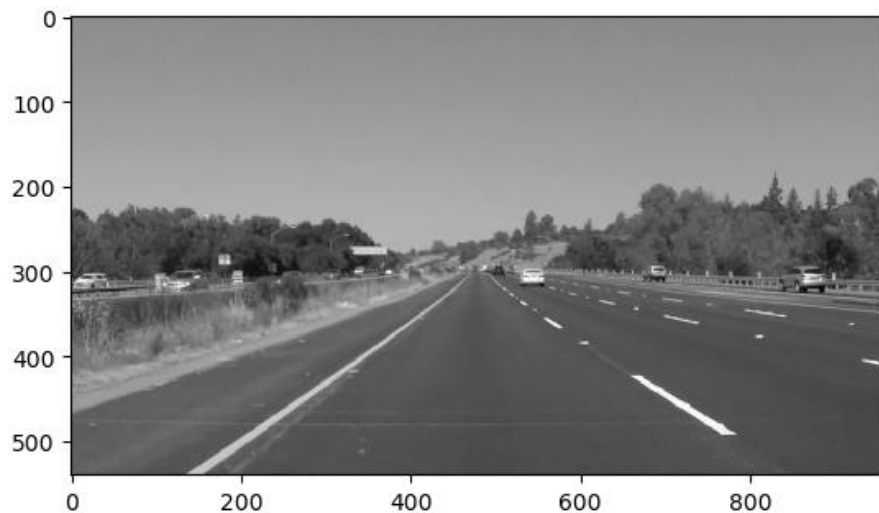
Interest) Based Edge Filtering (基于 ROI (感兴趣区域) 的边缘过滤) Hough Transformation (霍夫变换) Lane Extrapolation (车道外沿)

代码设计:

(1) Gray Scale Transformation (灰度变换)

```
import cv2
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
```

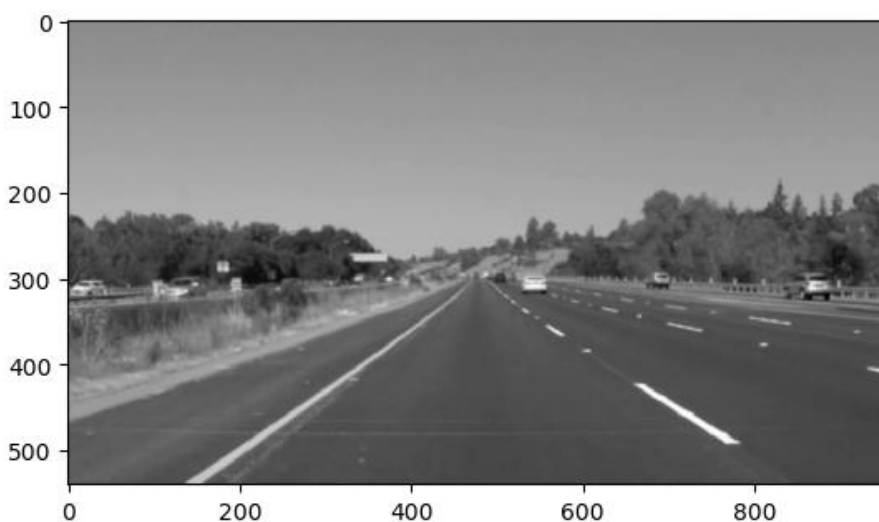
将 RGB 图片转换成灰度图片, 为后面的 Canny 边缘检测做准备。



(2) Gaussian Smoothing (高斯平滑)

```
blur_ksize = 5
blur_gray = cv2.GaussianBlur(gray, (blur_ksize, blur_ksize), 0, 0)
```

用空间低通滤波法, 对图片使用高斯低通滤波器阻挡高频部分, 仅让低频部分通过。

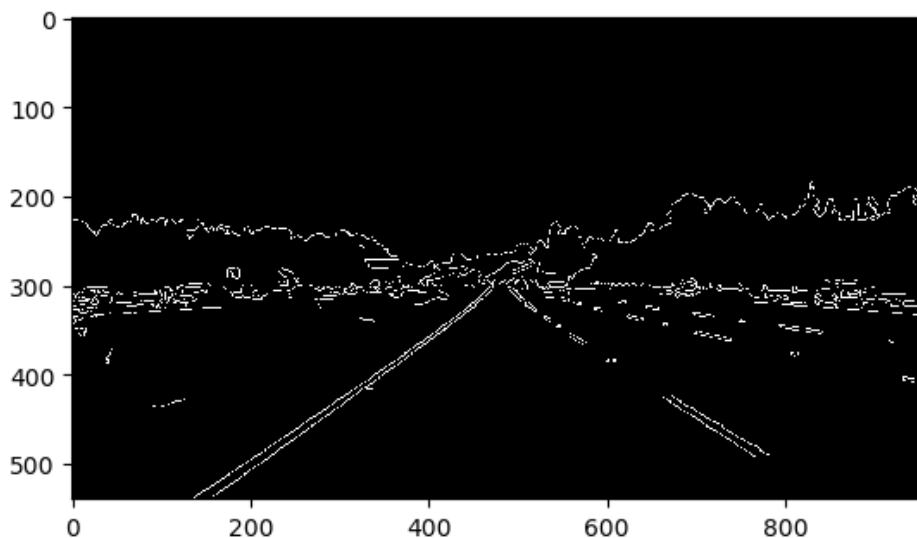


(3) Canny Edge Detection (Canny 边缘检测)

```
canny_lthreshold = 50 # Canny edge detection low threshold
```

```
canny_hthreshold = 150 # Canny edge detection high threshold
edges = cv2.Canny(blur_gray, low_threshold, high_threshold)
```

在进行阈值处理时，Marr-Hildreth 算法中，只用了一个阈值，其中低于这个阈值的所有值都被设置为 0。如果阈值设置的太低，则仍然会有一些假边缘。如果阈值设置的太高，那就会删除有效的边缘点。Canny 算法使用滞后阈值处理，设置两个阈值：一个低阈值 `canny_lthreshold`，和一个高阈值 `canny_hthreshold`。高阈值和低阈值的比例应该在从 2: 1 到 3: 1 的范围内。本次使用 3: 1 的比例。



(4) ROI (Region of Interest) Based Edge Filtering（基于 ROI（感兴趣区域）的边缘过滤）

```
def roi_mask(img, vertices):
    mask = np.zeros_like(img)
    mask_color = 255
    cv2.fillPoly(mask, vertices, mask_color)
    masked_img = cv2.bitwise_and(img, mask)
    return masked_img

roi_vtx = np.array([(0, img.shape[0]), (460, 325),
                    (520, 325), (img.shape[1], img.shape[0])])
roi_edges = roi_mask(edges, roi_vtx)
```

由于视频传感器是固定在车上的某一位置，所以视频中车道也基本在一个特定的区域之内。由此画出一个大概的地区，从而能够过滤掉区域之外的 edges。

(5) Hough Transformation（霍夫变换）

```
# Hough transform parameters
rho = 1
theta = np.pi / 180
```

```

threshold = 15
min_line_length = 40
max_line_gap = 20

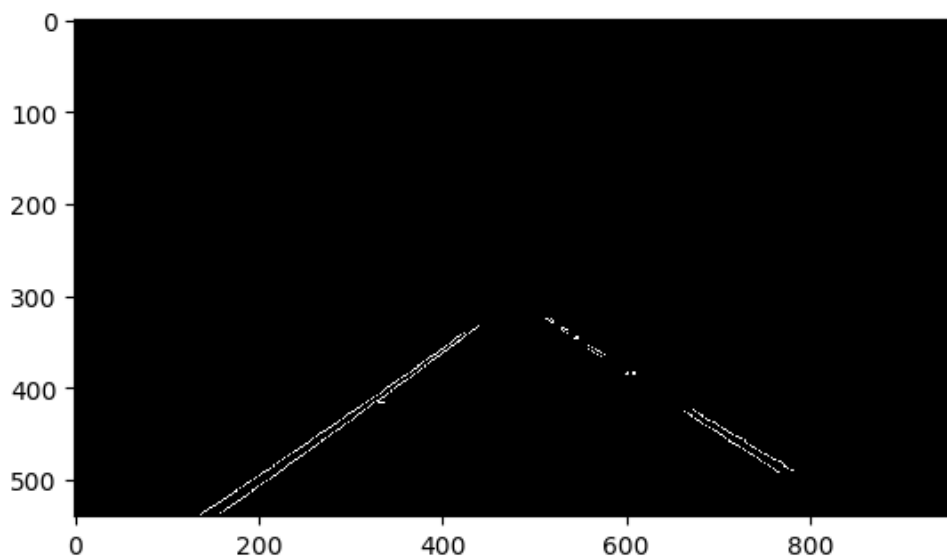
def draw_lines(img, lines, color=[255, 0, 0], thickness=2):
    for line in lines:
        for x1, y1, x2, y2 in line:
            cv2.line(img, (x1, y1), (x2, y2), color, thickness)

def hough_lines(img, rho, theta, threshold,
                min_line_len, max_line_gap):
    lines = cv2.HoughLinesP(img, rho, theta, threshold, np.array([]),
                            minLineLength=min_line_len,
                            maxLineGap=max_line_gap)
    line_img = np.zeros((img.shape[0], img.shape[1], 3), dtype=np.uint8)
    draw_lines(line_img, lines)
    return line_img

line_img = hough_lines(roi_edges, rho, theta, threshold,
                        min_line_length, max_line_gap)

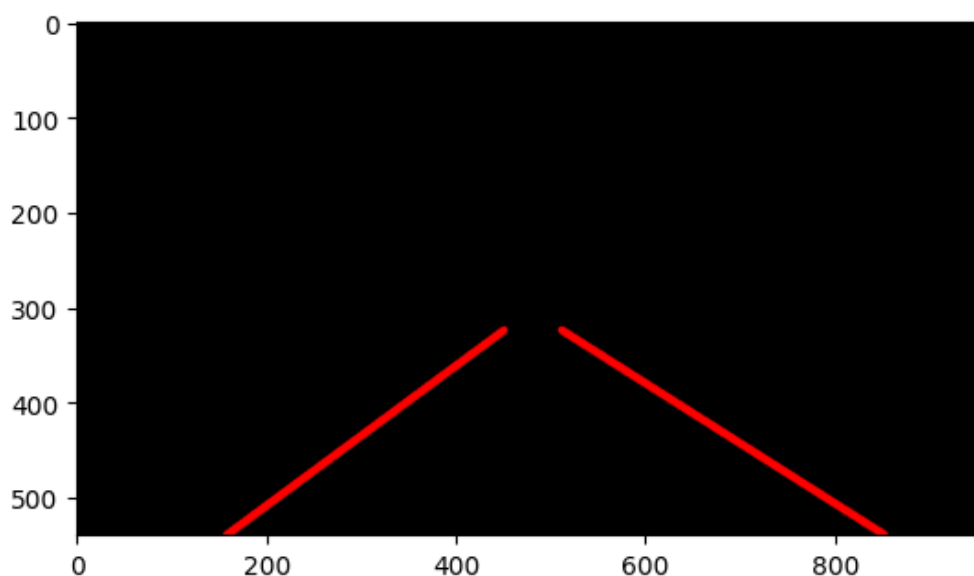
```

霍夫变换是一种基于像素集是否在规定形状的曲线上的方法。一旦检测到这些曲线，它们就会形成边缘或感兴趣的区域边界。考虑一条直线的斜截式的通用公式 $y=ax+b$ 。过点 (x, y) 的直线有无数条，并且对于 a 和 b 的不同值，都满足公式。将公式写为 $b=-xa+y$ ，并考虑 ab 平面（也称为参数空间）。如果在参数空间里有多条线相交于一点，则那些对应的点在图像中也位于同一条直线上。



(6) Calculate left and right lanes (计算左右车道)

可以根据斜率的正负来划分左右。分别对左右车道线移除 outlier：迭代计算各条线的斜率与斜率均值的差，逐一移除差值过大的线。分别对左右车道线的顶点集合做 linear regression，得到最终车道。



(7) 将原图和结果图像叠加在一起

```
cv2.addWeighted(img, 0.8, line_img, 1, 0)
```

6. 程序运行与结果分析

6.1 程序运行

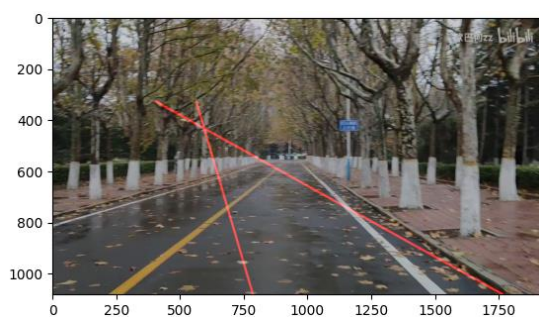
分别输入四个不同的视频，得到四个不同的输出。四个不同的视频代表不同的道路状况，video1 和 video2 代表路况较好的道路，如日常生活中的高速公路的路况。video3 和 video4 代表路况较差的道路，video3 的路况类似于学校、公园里面的路况，video4 的路况类似于城市里面的道路状况。分别测试该道路识别系统再各个路况下的实际运行效果，输出结果见下图。



video1



video2



video3



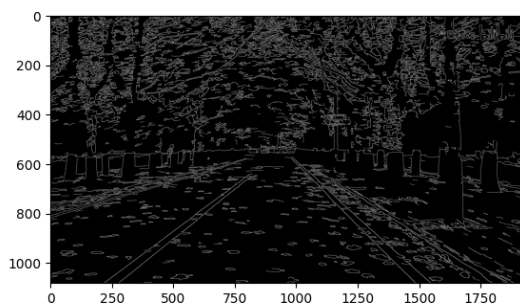
video4

6.2 结果分析

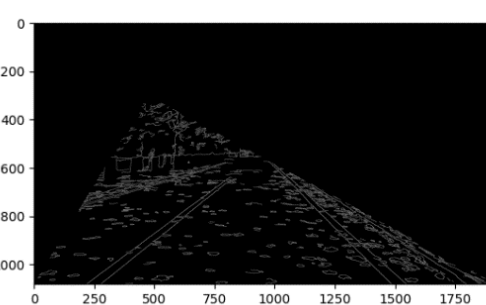
video1 和 video2 的输出结果良好，能有效地识别出左右两条车道。但是 video3 和 video4 的输出结果无法有效地识别出两侧的道路线，甚至出现严重错误。

分析出现错误的原因。首先从原始的输入视频看，与 video3 和 video4 相比，video1 和 video2 的路面状况很好，车辆两旁的道路线明显且清晰，前方无任何障碍物，比较容易识别，输出的效果也较好。

再观察 video3 的边缘检测结果和霍夫变换结果，见下图。可以看出由于路面上有许多的落叶，遮挡住了车道，使得图像的噪点较多，霍夫变换无法找到正确的线路，所以通过本算法难以实现车道的检测。



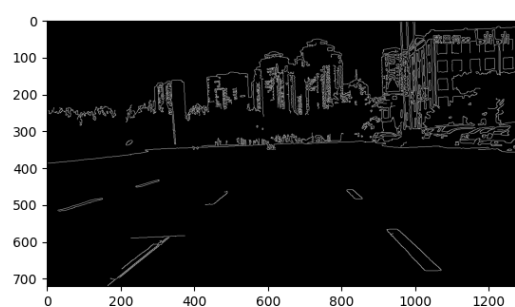
video3 边缘检测结果



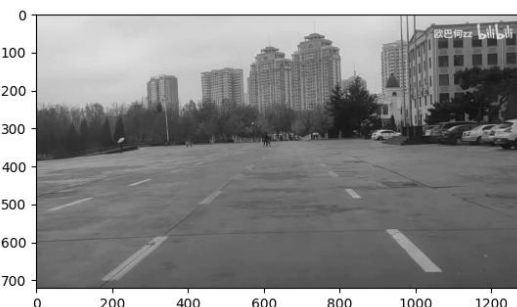
video3 霍夫变换输出结果

video3 的输出出现错误的原因是道路上的点太多，造成了对识别的干扰。video4 的输出出现错误则是因为道路的线或点太少。由 video4 的边缘检测和霍夫变换的输出结果（见下图）可以看出，道路两侧的车道线时比较稀疏的，而且边缘检测只得到出前面的一小部分车道线，远处的车道线没有被检测出来。观察灰度图像（见下图）可知由于车道线断断续续，且比较模糊，在灰度图中已经和背景相差无几，所以在边缘检测的时候被当作背景而剔除，无法检测出较远的车

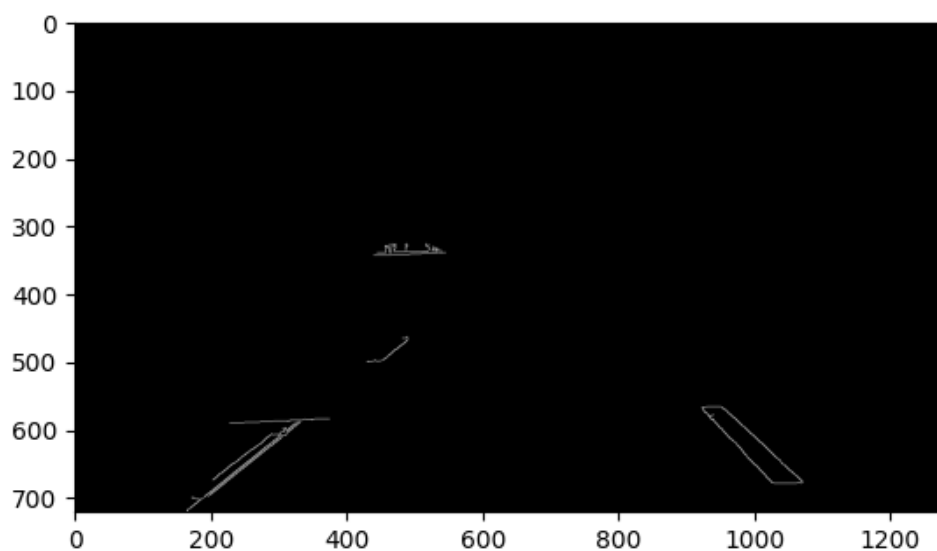
道线。由于边缘检测结果有关车道线的点或线太少，使得霍夫变换无法得到正确的车道线。



video4 边缘检测结果



video4 灰度图



video4 霍夫变换结果

7. 总结体会

这次的课程设计的题目是地面移动机器人的道路检测与识别，主要运用到了图像处理的知识。图像处理的知识我们在理论课上都学过，但是当我们亲自动手设计方案和利用代码实现时才发现并不像想象中的那么容易。但这一路的自我学习、独立思考的过程让我们真正学到了不少使用的知识和技能。

通过这次课程设计，我们对智能机器人与智能信息系统的整个规范流程以及代码的熟悉有了极大的提高。亲手完成一次课程设计，在理论上它让我学会了相关知识。在实践上对以后的学习乃至参加工作都是由极大的价值的。虽然这次

设计最后的实现结果与最初的构想还存在一点差距，但在设计过程中的学习和收获的快乐与财富，以及最后完成项目的成就感，将使我们终身难忘，给我们带来了极大的启发。

个人总结

(1) 周旭

通过这次课程设计，了解了一些关于智能机器人以及智能小车传感器的基本知识，并结合之前所学图像处理以及模式识别等相关知识在 Python 上实践了车道检测功能。对高斯滤波，Canny 算子边缘检测和霍夫变换的基本原理和过程有了更深一步的了解。也激发了我对图像处理和模式识别的兴趣。但是与此同时，通过这次课设我也意识到自己代码能力的不足，许多知识仅仅停留在理论方面。以后要加强自己的代码能力，多多实践，继续学习。

(2) 林宇鹏：

通过此次课程设计，使我更加扎实的掌握了有关图像处理和智能机器人与智能信息系统方面的知识，在设计过程中虽然遇到了一些问题，但经过一次又一次的思考，一遍又一遍的检查终于找出了原因所在，也暴露出了前期我在这方面的知识欠缺和经验不足。实践出真知，通过亲自动手制作，使我掌握的知识不再是纸上谈兵。

回顾起此课程设计，至今我仍感慨颇多，从理论到实践，在这段日子里，可以说得是苦多于甜，但是可以学到很多很多的东西，同时不仅可以巩固了以前所学过的知识，而且学到了很多在书本上所没有学到过的知识。通过这次课程设计使我懂得了理论与实际相结合是很重要的，只有理论知识是远远不够的，只有把所学的理论知识与实践结合起来，从理论中得出结论，才能真正为社会服务，从而提高自己的实际动手能力和独立思考的能力。

(3) 许正昊

在完成这次课程设计的过程中，我明白了许多道理。开发过程中要有毅力，遇到难题不能退缩，要迎难而上，这样才能使自己学到更多的知识，同时团队的配合非常重要，一个项目需要多个人去做，我们在这个过程中不仅要做好自己的工作，还要保证团队整体工作的顺利进行。只有不断地去探索、不断去发现别人没有发现的东西，才能让自己在这方面成为突出的人才。把课堂上学到的理论转

化成实际的成果时才是真正检验自己所学知识的时候，只有把所学的知识运用到实际去解决相关实际的问题，我们对知识的了解才会更加深刻，才能让知识真真正正的属于自己，让它变成自己的工具，解决一些问题。做项目过后也能通过发现理论与实际应用之间的差距，然后再去改善。只有通过这样的不断发现并改善才能不断提升自己。

（4）鲍春晖

在这次课程设计中，学习到了许多东西。首先是意识到了认知与实践的偏差，理论上可行的方案，到了实践中会出现各种各样的问题，理论是抽象的，要想真正地学到知识，关键还是要靠实践。其次就是体会到了自己知识量的匮乏，面对具体的问题时，关键的切入点和剖析方向还不能较好的把握，尤其是涉及到未知的领悟时，更是感觉无从下手，日后还是需要多多积累经验，从实践中逐步提升和完善自我。