

工程实践与科技创新 III -F

结题报告

项 目 名 称 : 基于树莓派的智能小车自动驾驶实践

姓 名 : 岳博

学 号 : 517021910825

联 系 电 话 : 15618550013

电 子 信 箱 : yuebo2017JD@sjtu.edu.cn

合作人姓名 : 潘鼎、徐加声、沈熠辉

2020 年 12 月

一、研究内容综述

1. 对比开题报告，说明各个研究内容的完成情况

本项目的课程任务是利用数字图像处理、自动控制原理等多学科知识，实现树莓派智能车巡线、倒车入库任务。本项目技术架构框图见图 1。

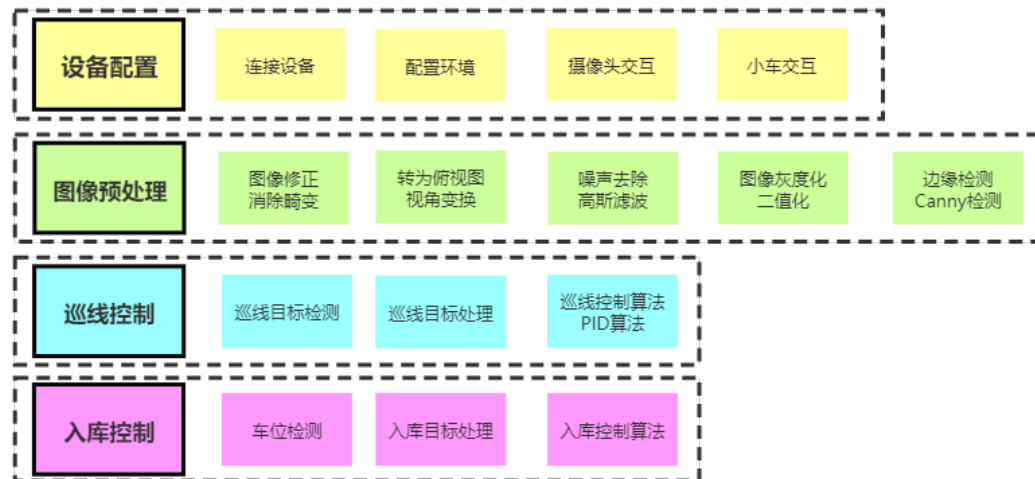


图 1 本项目实施中的技术架构

本项目的技术架构主要由设备配置、图像预处理、巡线控制和入库控制四个主要模块组成，每个模块又包括多个子模块。我们的研究内容主要是围绕这四个模块进行。

在开题报告提到的研究内容中，我们小组完成了以下内容：

完成图片处理内容 图片处理是巡线任务和倒车任务的前提。我们把摄像头拍摄到的图片转化为灰度图后并二值化，分离出了车道线和车位线。我们处理后的图片能有效抑制噪声以及解决二值化后道路不连通问题。

实现小车巡双线任务 我们小车在赛道上运行过程中能够较为准确找到道路中点，然后小车在算法控制下能够以一定的速度较稳定地沿着道路中心前进，在转弯处能够按照轨迹基本在道路内前进，整体情况良好。

实现小车倒入任意车库 我们小车能够从给定位置以较正的姿态倒入基础任务规定的 3 号车位，并且车停止后，车身在车位中前后左右的距离适当。同时我们完成了发挥部分，能够成功倒入 1~4 中任意的车位。

2. 未完成的研究指标应说明原因

经过我们小组 2 个多月的研究，我们完成了基本任务和倒车的发挥部分，但仍有部分研究指标未完成，未完成的指标及相应原因如下：

未能在 60s 内完成巡双线的赛道 在巡双线任务中，由于我们使用的飞思卡尔小车的下位机和算法控制间存在延迟现象，对方向的控制无法及时传给小车，导致在增加速度后，小车会由于转向不及时驶出赛道，巡线失败。尽管经过了很多的尝试，我们小组仍未找到一个行之有效的方法。

未能实现创新任务 我们小组大部分时间用于小车巡双线的调试工作中，期望进一步优化控制和速度，故没有去进行创新任务。

二、研究方案

请详细撰写各个研究内容的研究过程、原理、实验设计与实验分析

本课程实践分为两大部分巡双线和倒车入库。图像处理则穿插于这两大部分之

中。接下来，我将分别从图像处理、巡双线和倒车入库三块来详述相应的研究过程、原理、实验设计与实验分析。

图像处理 巡双线和倒车任务均需要根据处理后的图像对小车进行控制。当小车的摄像头获得图像后，我们小组经过对实地场景的多次测试，充分考虑了现场光照条件后，设置合适的阈值将图像二值化，分离出图像处理的车道线和倒车入库的车位线。二值化后的图片存在黑色噪点和车道线断点的问题，会影响车道线识别。我们采取先膨胀再腐蚀的闭操作来消除黑色噪点，先腐蚀后膨胀的开操作来连接不连续的车道线。图像处理的流程图如图 2-1 所示，图片处理的结果如图 2-2 所示。

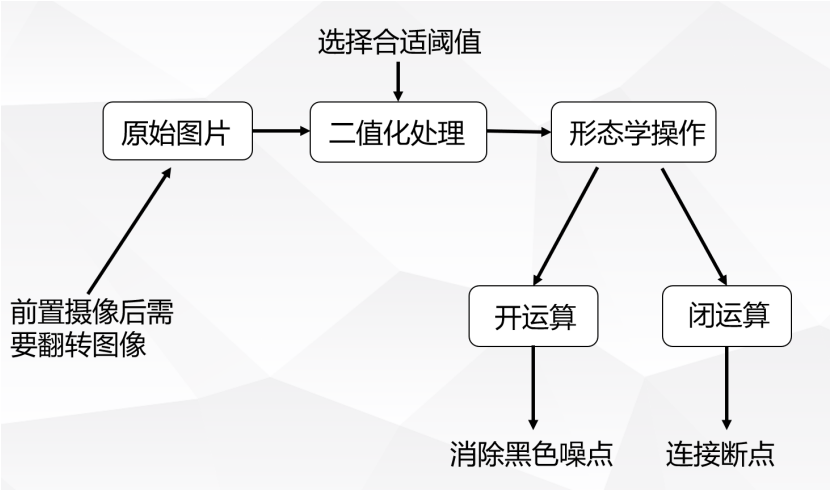


图 2-1 图像处理流程图



图 2-2：图像处理结果。左：原图。右：图像处理后图片。

巡双线 本任务中，白色背景地面上粘贴着由黑色胶带围成的闭合曲线。我们需要控制小车沿着双黑线的中线构成的红色轨迹线行进。红轨迹线的形状如图 3-1 所示，巡双线的流程图如图 3-2 所示。

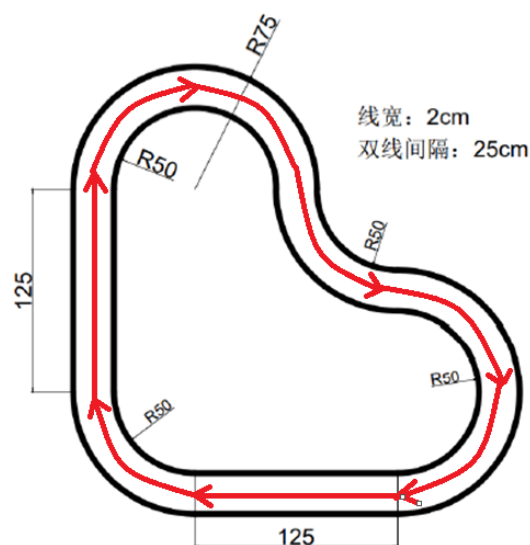


图 3-1 巡双线任务小车轨迹示意图

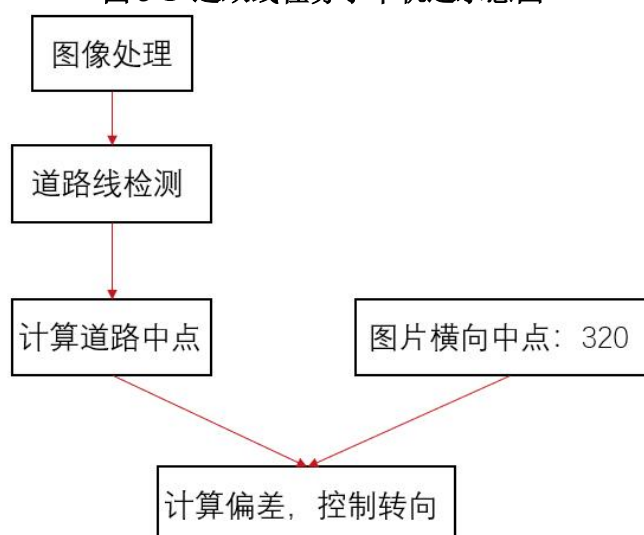


图 3-2 巡双线流程图

我们组巡双线的**研究过程**为 1) 对摄像头采集的 RGB 图进行图像处理, 得到标有道路中点的二值图; 2) 计算道路中点和图片中点的偏差; 3) 根据偏差进行控制; 4) 控制过程中利用 PID 算法进行稳定性和精确性的调优。

我们组巡双线的**原理**如下: 1) 由于双黑线颜色 (黑色) 与地图背景颜色 (白色) 反差很大, 我们想到先对摄像头采集的 RGB 图像 (480×640) 进行灰度化、二值化, 再在二值化图像中进行特征提取工作。另外由于摄像头视角不便于后期调试和特征提取, 我们在处理之前先对摄像图进行了调焦和角度固定; 2) 我们选取 465 行作为求取道路中点的基准点。遍历整行的像素点, 分类讨论无黑色像素点、只有一块连续黑色像素点、有两块连续黑色像素点、有多于两块黑色像素点的情况, 求取道路中点; 3) 利用求取的道路上中点与图像横轴中点 320 作差, 得到偏差; 4) 将偏差作为控制量, 控制转向; 5) 利用 PID 算法调整。

我们巡双线的**实验设计**经历了两次错误, 在汲取经验教训后, 才得到了第三次正确的实验。在通过遍历图像某一行求取道路中点时, 如果无黑色像素则转向与上一帧相同; 如果有两块连续黑色像素, 则直接求两块连续黑色像素的中点; 如果有多于两块, 则选取最宽的两个连续黑色区域作为道路两侧, 求取中点, 见图 4。因而, 三次实验设计 (两次失败、一次成功) 最大的区别在于只有一块连续黑色像素区域时, 应该如何找寻道路的中点。1) 第一次实验设计是完全寻单线, 即将这唯一一块连续黑色像素区域

的中点作为道路中点，但是这样会带来明显的缺点：小车转弯时会完全压线行驶。如果参数未调好，甚至会驶离赛道。2）第二次实验设计则是看第一次出现单线时，单线的中点是在图像的左边还是右边。如果在左边，则进入右线丢失状态，直到再出现双线为止，一直默认为右线丢失。在右边同理。以右线丢失状态为例，我们设定道路长度，位于图像左侧的连续黑色像素区域的中点加上道路长度之后，如果大于图像尺度，则截取为图像最右侧的点，如果小于等于图像尺度，则保留；再通过这两个点求中点得到道路中点。这种方法比巡单线效果要好得多，但是也会带来缺点：在过弯道时候，会有时因为转弯不够及时，而出现丢失右线时，左线出现在了图像的右边，导致判断失误，直接驶离赛道，进而巡线失败，见图 5-1。3）第三次实验设计是由于在大量调试过程中，我们发现小车右转时只会丢失右线，左转时只会丢失左线。因此，在出现单线时候，判断弯道是朝左转还是右转，如果左转，则向认为丢失左线。如果右转，则认为丢失右线。然后再进行第二次实验设计中的操作即可，见图 5-2 和 5-3。

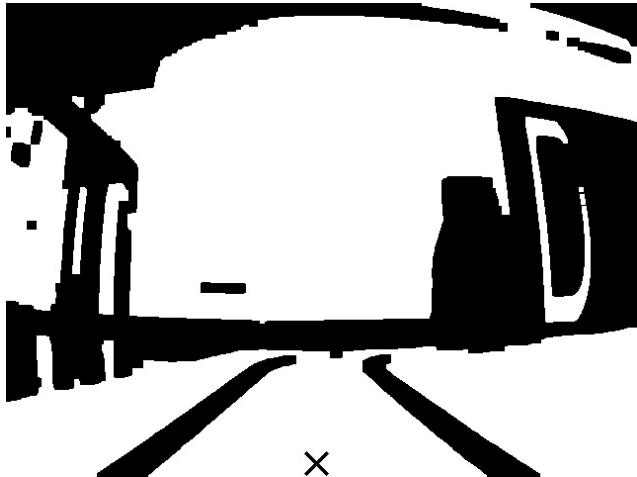


图 4 出现双线时直接求中点作为道路中点

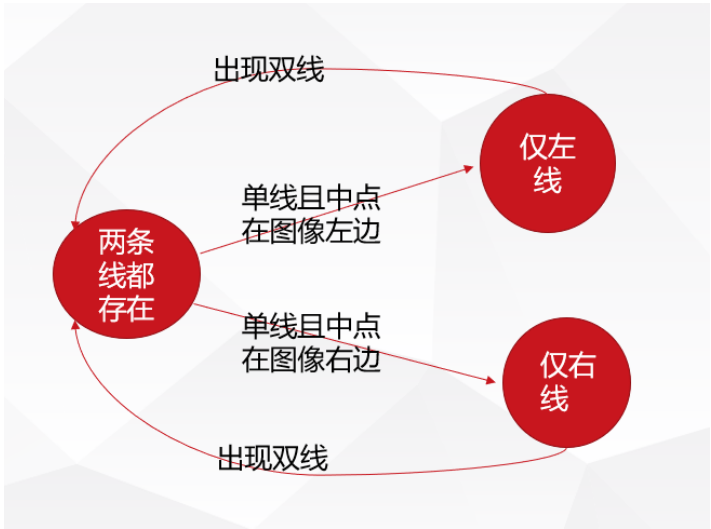


图 5-1 第二次实验设计流程图

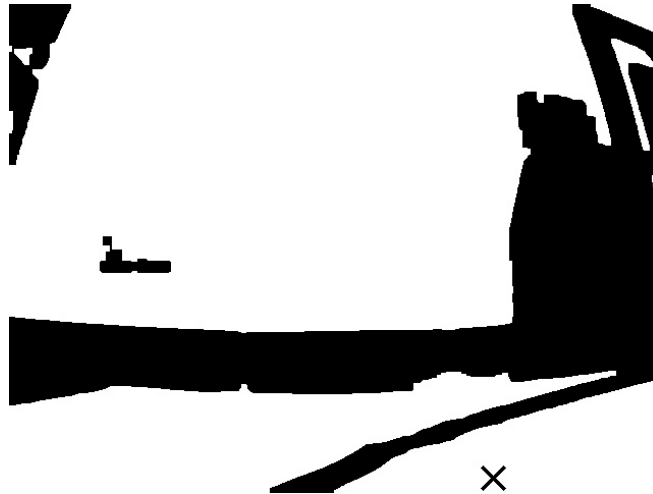


图 5-2 出现单线时，先判断左转还是右转，再求取道路中点

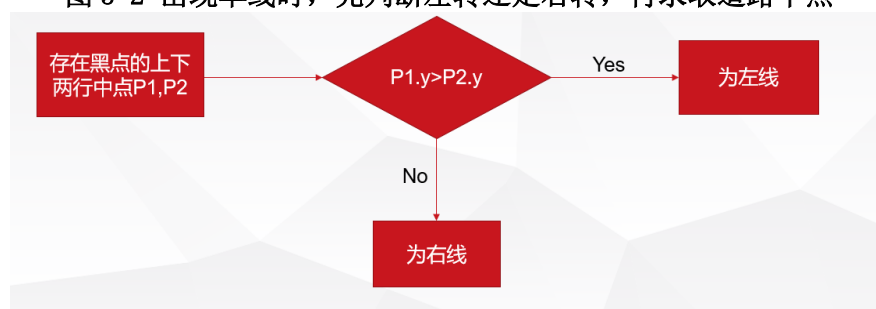


图 5-3 第三次实验设计流程图

因此，最终我们组的**实验分析**为第三次实验设计方案。我们也取得了较短的时间和不错的精度控制。

倒车入库 倒车入库任务中，车辆的后方有四个并列摆放的车库，从左到右分别标号 1~4。我们的小车需要依次倒车进入 1~4 号车库，在倒车过程中不能压线，并且车身要尽可能与车库保持平行。车库的实景图如图 6 所示，任务过程示意图如图 7 所示。

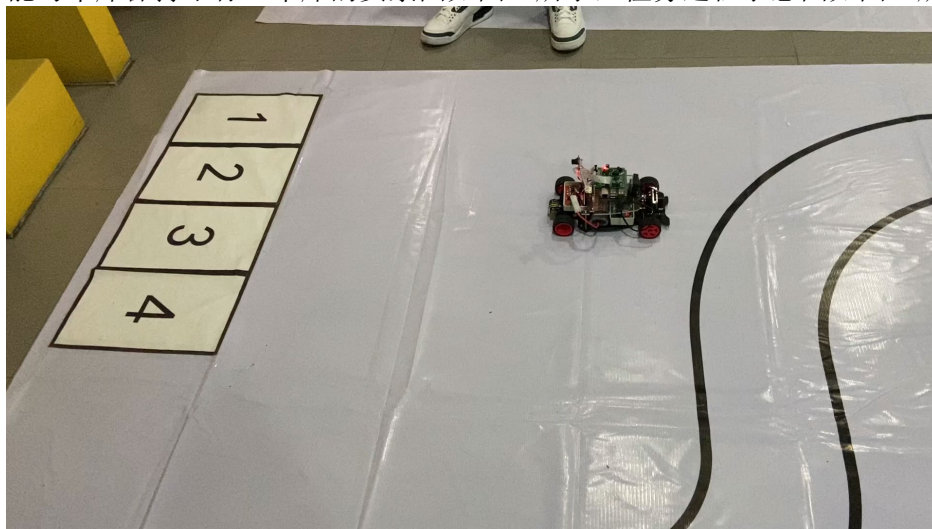


图 6 倒车入库任务中车位分布实景图

倒车入库要求：小车放置于距离车库 1-2 个车位处。基本要求中起始位置和车库中轴线重合。倒车入库的**研究过程**分为：1) 开闭环结合；2) 各部分代码编写；3) 实地调试；4) 完成发挥部分。

倒车入库的**实验设计**分为三个阶段：倒车转向阶段、平直入库阶段以及停车阶段，其中：倒车转向阶段采取开环控制；平直入库阶段时，小车后置摄像头传输图像，实时处理，至识别相关标志时，进入停车阶段。

倒车入库的**原理**分为三个阶段 1) 倒车转向阶段：根据现实生活中的倒车过程作为经验，在开环过程中采用先往左打方向盘，再往右打方向盘，通过尝试，调试出最佳的转向参数，保证小车能够笔直入库。2) 平直入库阶段：此阶段的核心在于通过图像分析出小车的停车点，原理是将二值化的图像中，车位及地图部分为白色，而车位底线以外部分为黑色（理想情况下），故选取一行，在该行中的白色像素值个数小于某一阈值之后，进入停车阶段，见图 8。3) 停车阶段：由于当摄像头角度固定时，进入停车阶段的小车位置相同，所以只需要倒车固定距离即可。经过适当参数调整，固定小车速度及帧数即可。

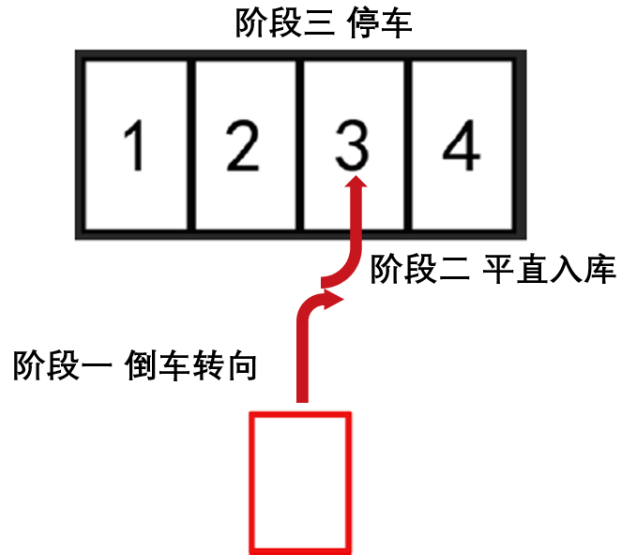


图 7 倒车入库任务中的三个阶段示意图

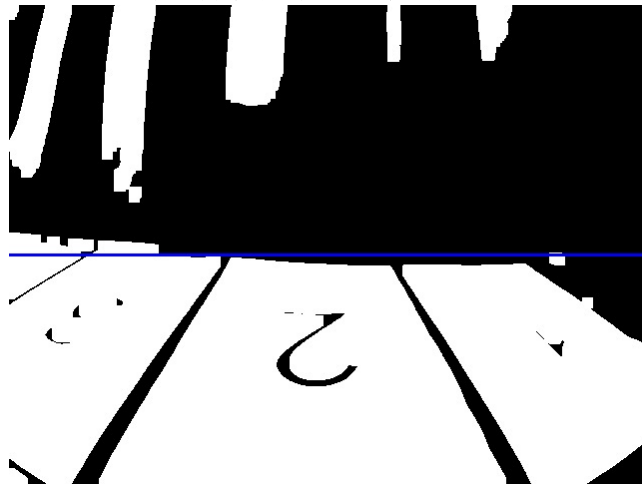


图 8 倒车入库任务中 RGB 经图像处理后的二值图，图中蓝线极为 ROI

倒车入库的**实验分析**采用图像连续帧的模拟和实际参数调试两个部分，其中：第一阶段以人工的形式根据倒车轨迹模拟出倒车路径，同时使用后置摄像头，按照小车实际运行时的帧率拍摄出各个阶段的图像，在本地计算机进行相应的图像处理操作以及识别操作，最终模拟出整个倒车的连续帧。第二阶段进行实地调试，采用控制变量的方法，每次改变一个环节的变量，保持其他因素不变，同时根据控制台输出参数进行闭环调节。

三、研究成果

对比开题报告中的研究指标，详细论述研究成果

在本节中，我将结合开题报告中的预期计划和任务目标，详细介绍我们小组的项目

成果。本节主要分为时间进度和任务完成情况两个部分进行说明。

在**时间进度**方面，我们预期在第 7~11 周完成巡双线任务及其附加要求，在第 12~13 周完成倒车入库任务及其附加要求，在第 14 周进行算法调整和鲁棒性提升的工作。实际进度中，我们与预期相差不大，在第 10 周时，由于巡双线任务进入了瓶颈期，多次尝试都没能实现任务要求，所以我们决定提前开始倒车入库，兵分两路，两个人负责巡双线，两个人负责倒车入库。第 12 周左右我们基本完成了倒车入库要求，又开始全员钻研巡双线任务。期间，我们每周都会对小车进行大量调试，渐进式地完成任务要求。

本课程以树莓派和后驱四轮小车为平台，基于 RGB 摄像头取得图像，对图像进行处理和信息提取，最后基于任务要求对小车进行相应控制。接下来我将分别介绍巡线任务和入库任务的研究成果。

在**巡双线**任务中，我们小组完成整个巡线的时长为 2 分 08 秒，小车速度参数固定为 0.05，小车在巡线过程中转向稳定，且始终位于两条黑线的中线上，在拐弯时与中线有较小误差但是能自动调节与纠正。我们不断读取摄像头获得的图像，对取得的图像进行二值化、腐蚀膨胀、降噪等处理，将一个原始的 RGB 图像转化为一张有着清晰双线中点及双黑线的二值图。通过读取道路中点在图像中的位置的横坐标和图像横轴中点横坐标的偏差，我们就能以此控制小车的转向和速度。依据以上逻辑，我们最终完成了整个巡线任务，我们巡线的时长较短，我们巡线的精度也比要求高很多，总得说来我对巡线任务的完成情况比较满意。我们选择了三组巡双线结果如表 1 所示。

表 1 巡双线结果对比

速度参数	巡双线时长	改进之处	选择原因
0.03	3'48	参考组	/
0.05	2'08	图像处理、控制算法	速度较快、误差合理
0.07	失败	速度参数	/

在**倒车入库**任务中，最终倒车进入 3 号车位成效较好，车身姿态较正，倒车过程中不压线，同时能够较好的识别到摄像头采集的图像上部白色像素的变化以及时停车；在附加任务中，除 1 号车位车身稍有 10° 到 20° 的偏差，其余车位表现良好。倒车入库的过程可以抽象为消除小车相对与车位的左右偏差和前后偏差。由于时间紧张，我们小组选择在处理左右距离上使用开环调试，在处理前后距离中引入图像识别闭环调试，两者的结合可取得较好成果。此外，在第二阶段中，沿用巡双线中的 PID 控制算法，识别左右停车线作为“双线”，在倒车入库时进行车身的微调，但在实际调试过程中我们没有采用，因为实验效果不好：原因在于小车本身接受信号会有些许延迟，这对倒车入库这种精细任务是致命的，且进入第二阶段时车身已即将进入车库中，反而容易出现较大偏差。

四、研究总结

1. 研究中存在问题、建议及需要说明的问题

代码鲁棒性 本门课程中，最令我们哭笑不得的是场地的光线因素。同一个代码，同一片场地，早上中午晚上跑出来的结果是不一样的。而且场地的灯光越靠近晚上越亮，这对我们调试代码的参数造成了一定影响。当然，这也训练了我们提高代码鲁棒性的能力。

延迟 小车上位机和下位机传输及代码运行存在延迟，这导致我们的实际控制指令是存在延迟的，很有可能出现“南辕北辙”的情况。

调试成本 由于场地是在开放地段，存在很多偶发因素，这对我们判断小车运行错误来源造成很大干扰；此外，树莓派处理器速度较慢，代码运行一次的时间成本也很大，这些都对我们的调试效率造成了负面影响。

代码规范 在编程实践中，我们也面临了较大挑战。首先，文件不能直接从 VNC 里面拉出来，必须使用 xftp 或者 filezilla 传输，这就会有一定麻烦；其次，组员每个

人的代码习惯各不相同，在缺少注释的情况下，理解组员的代码会浪费较多时间；最后，我们小组开始没有很好地做好版本控制，导致有时候改了很久之后，忽然回不到之前能跑通的版本，这就造成了一定时间的浪费。

错误判断 在实地测试中干扰的来源、方式和造成的效果是千差万别且很难提前预知的，并且由于我们往往无法判断是什么样的干扰造成了失误，导致我们经常把时间浪费在了错误参数的调试和整定之上，而随之积累的经验大概也让我们成为了专家整定法的重要参与者。我们最后还是通过最笨拙但是踏实的方法来解决错误，即把每一帧的图片及图像处理后的图像都按一定的命名规范保存下来，一帧一帧分析指导发现问题，找到问题，解决问题。而不是最开始的通过主观经验臆测。

2. 在本次课程实践中的感想与体会

分工 在半个多学期的工程实践中，起初我们小组是一起负责巡双线的任务，我们首先各自编写了控制代码，再来实验场地“竞标”。对比之下，我们选择了最基础的但是直观高效的 PID 控制算法。之后，我主要负责了小车巡双线的调试工作、代码的维护以及撰写周报的任务。再后来，我们巡双线遇到了瓶颈，截止日期也开始迫近，我们决定兵分两路：我和沈熠辉负责倒车入库部分，徐加声和潘鼎则继续钻研巡双线部分。我和沈熠辉共同写了倒车入库的代码并进行调试，取得了不错的效果。最终，我们四个人又一起优化了巡双线的算法，尤其是图像处理部分的逻辑和参数，最终也成功完成了巡双线部分。本门课程的分工让我想起了 IT 项目管理课程中的一些 schedule 技巧，我们也成功运用了 IT 项目管理里的进度管理等知识。如何科学高效的分工，并按进度保质保量地完成既定任务确实是一门学问。

认知（自动驾驶） 在本门课程中，我们的项目需要有摄像头获取小车前方（或后方）的图像，经图像处理，生成相应控制指令，进行巡双线或者倒车入库。期间，通过闭环控制算法进行精确控制。我发现巡双线和倒车入库其实都是自动化领域的分支之一——自动驾驶的热门研究方向和行业应用的简化版。老师和助教们的用心何其良苦啊。在激发我们兴趣的同时，也能做到学以致用。使用到的核心方法——计算机视觉，亦是当今热门的研究方向。我相信本门课程中学到的内容将会为我今后的职业生涯打下坚实的基础。

理论与实践 当然，老生常谈的理论和实际需要紧密结合的问题又出现了。以图像处理为例，在数字图像处理和计算机视觉这两门理论课上，尽管我们学习了很多经典和超前的图像处理方法，但是在实际过程中，遇到了诸多难以处理的问题，比如：地图上的褶皱，地图反光，遮挡产生的阴影，周围物体干扰及实验场地光线等问题。此外，一些图像处理（如：形态学）的参数也很难调试，每次现场条件不一样，导致参数需要经常调整。我们小组通过在基础算法的基础上，加入各种应对非正常情况的代码，不断提升我们小组算法的鲁棒性，最终实现巡双线和倒车入库。

工程问题 在我们半个多学期的调车过程中，有理论突破的欣喜，有理论与现实不符合的痛苦，有调试参数的屡败屡战、屡战屡败，还有冥思苦想但百思不得解的崩溃。我们起初的想法是无论转弯还是直道都是找图片上特定位置的双线中点。但是由于存在图片畸变的问题，我们最后发现拐弯过程中巡单线的效果更好。此外，起初我们设定的速度值是固定的，但是随着我们深入的研究，我们发现，速度和转向、调控的力度都存在关系。当我们小组冷静下来，跳出之前的死胡同，与其它同学沟通交流之后，问题得到了很快地解决。这说明工程难题是家常便饭，我们不能一味消极应付，用合适的方法、独特的眼光和积极的态度，才是解决问题的正道。这门课程为我之后学习和工作提供了一些启示。

合作 最后，我还是想感谢我的三位队友：徐加声，沈熠辉和潘鼎。在和他们合作的过程中，我不仅收获了思想碰撞出的火花带来的快乐，收获知识与技能的升华，也锤炼了我团队沟通与协作的能力，增进了我们的友谊。我想没有什么比齐心协力完成一项工作更能让人兴奋激动的吧。

3. 对本次课程实践的意见与建议

设备限制 由于上位机与下位机之间的传输存在延迟，当遇到拐弯等需要控制的情况时，上位机向下位机传输指令时，实际情况已经发生了变化，很有可能出现矫枉过正或者控制力度的情况。当然，我们可以通过降低小车速度的方法来改善这一点，但这又会带来小车运行一起一停，巡线速度慢等显然与实际格格不入的现象。当然，这些多受制于硬件上的要求，希望树莓派的改进可以带来改变。

场地限制 由于调试场地在电信群楼且仅有一个场地，为避开其他组使用场地对我们组调试造成的影响（如人员行走带来的阴影干扰图像处理），我们不得不挑选比较特殊的时间来场地，如很早或很晚，导致效率不是很高；此外，调试场地没有椅子与桌子，冬天地板又较为寒冷，在实地调试过程中，我们其实并不舒适，会有一定别扭的感觉。为此，我建议可以开辟两个或者三个试验场地，并在周围适当放置桌椅便于学生调试。

调试时间 小车的单次调试成本较高，一次小小的修改，从停止、修改再到重新运行，需要较久的时间。而且，树莓派可能会出现卡顿等问题，手机热点连接也不足够稳定，对手机电量提出了较高要求。总之，修改的代价较高昂。当然，这些多受制于硬件上的要求，希望树莓派的改进可以带来改变。

结题报告 因为一个小组完成的工作是一样的，当小组成员共同完成一项任务时，报告的内容都是大致相同的，大家对技术问题交流很多，重复撰写多次没有意义；当小组成员分工非常明确时，大家又对其他成员的内容不太了解，写报告也会产生不完整的情况。为此，我建议同一小组共同完成一份结题报告，而不是一个人交一份，个人的工作量可以直接在报告中写出或者由组员互评。

4. 致谢

由于疫情的关系，本应上学期修的工科创 3-F 调整到了这学期修。但是周越老师和助教们依然认真尽责地为我们提供最大的帮助和指导。第一节课对课程内容的详细介绍和知识点的阐述、仿真平台上的巡线及倒车任务对我们实地调试小车带来了很大帮助。胡校将助教总能及时耐心细致地解答我们小组的问题，并对我们小组给出有效的建议，这里作出特别感谢。本门课程将理论、仿真与实践融为一体，让我们在金色的秋冬季节收获良多。同时，项目的展示，考核灵活而多元，锻炼了我们从环境配置，架构设计，技术操作，现场测试到创新，汇报展示和书写报告的全方位能力。我真诚地感谢我的三位队友，并祝福工科创 3-F 这门课程可以越来越好！