



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

计算机测试与控制系统实验

——两轮直立智能车实验系统

实验指导书

(2019 版)

董韶鹏 编

自动化与电气教学研究实验中心

2019 年 4 月

目录

概述/前言/课程介绍	4
基本要求与注意事项	5
一、安全操作守则	5
二、预习要求	5
三、出勤要求	5
第一部分 实验系统操作指导	7
1 仪器设备介绍	7
2 仪器设备使用方法	9
2.1 信号源使用说明	9
2.2 示波器使用说明	10
3 实验系统软件介绍	12
3.1 编程调试软件	12
3.2 仿真调试软件	18
第二部分 两轮直立智能车实验系统实验指导	21
实验一 MINI 编码器测试及上位机通讯实验	21
一、实验目的	21
二、实验内容	21
三、实验设备	22
四、预习要求	23
五、实验原理	23
六、实验步骤	24
七、注意事项	24
八、实验报告要求	24
九、课后思考题	24
十、参考资料	25
实验二 智能车电机控制实验	26
一、实验目的	26
二、实验内容	26
三、实验设备	27
四、预习要求	28
五、实验原理	28
六、实验步骤	29
七、 注意事项	29
八、实验报告要求	30
九、课后思考题	30
十、参考资料	30
实验三 智能车直立控制实验	31
一、实验目的	31
二、实验内容	31
三、实验设备	31

四、预习要求	31
五、实验原理	32
六、实验步骤	34
七、注意事项	34
八、实验报告要求	34
九、课后思考题	34
十、参考资料	35
实验四 赛道图像信息处理实验	36
一、实验目的	36
二、实验内容	36
三、实验设备	36
四、预习要求	37
五、实验原理	37
六、实验步骤	37
七、注意事项	37
八、实验报告要求	38
九、课后思考题	38
十、参考资料	38
实验五 智能车方向控制实验	39
一、实验目的	39
二、实验内容	39
三、实验设备	39
四、预习要求	39
五、实验原理	39
六、实验步骤	40
七、注意事项	40
八、实验报告要求	40
九、课后思考题	40
十、参考资料	41
实验六 整车控制实验（1）	42
一、实验目的	42
二、实验内容	42
三、实验设备	42
四、预习要求	42
五、实验原理	42
六、实验步骤	43
七、注意事项	43
八、实验报告要求	43
九、课后思考题	43
十、参考资料	44
实验七 整车控制实验（2）	45
一、实验目的	45
二、实验内容	45

四、预习要求	45
五、实验原理	46
六、实验步骤	46
七、注意事项	46
八、实验报告要求	46
九、课后思考题	47
十、参考资料	47
实验八 分组结课报告	48
一、实验目的	48
二、实验内容	48
三、实验设备	48
四、预习要求	48
五、实验原理	48
六、实验步骤	48
七、注意事项	48
八、实验报告要求	49
九、课后思考题	49
十、参考资料	49
附件 1 实验报告模板	51

概述/前言/课程介绍

智能小车，是一个集环境感知、规划决策，自动行驶等功能于一体的综合系统，它集中地运用了计算机、传感、信息、通信、导航及自动控制等技术，是典型的高新技术综合体。

智能车辆也叫无人车辆，具有道路障碍自动识别、自动报警、自动制动、自动保持安全距离、车速和巡航控制等功能。智能车辆的主要特点是在复杂的道路情况下，能自动地操纵和驾驶车辆绕开障碍物并沿着预定的道路(轨迹)行进。智能车辆在原有车辆系统的基础上增加了一些智能化技术设备：

- (1)计算机处理系统，主要完成对来自摄像机所获取的图像的预处理、增强、分析、识别等工作。
- (2)摄像机，用来获得道路图像信息。
- (3)传感器设备，车速传感器用来获得当前车速，障碍物传感器用来获得前方、侧方、后方障碍物等信息。

全国大学生“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛起源于韩国，是韩国汉阳大学汽车控制实验室在飞思卡尔半导体公司资助下举办的以 HCS12 单片机为核心的大学生课外科技竞赛。组委会提供一个标准的汽车模型、直流电机和可充电式电池，参赛队伍要制作一个能够自主识别路径的智能车，在专门设计的跑道上自动识别道路行驶，最快跑完全程而没有冲出跑道并且技术报告评分较高为获胜者。其设计内容涵盖了控制、模式识别、传感技术、汽车电子、电气、计算机、机械、能源等多个学科的知识，对学生的知识融合和实践动手能力的培养，具有良好的推动作用。

本实验指导书帮助学生研究图像循迹智能车实验系统关键技术，实质是研究用恩智浦公司 32 位 K60 系列微控制器作为核心控制单元，自主构思控制方案进行系统设计，包括传感器信号采集处理、电机驱动、转向控制以及控制算法软件开发。按照“恩智浦”杯智能车竞赛要求完成智能车设计编程等全部动作。

基本要求与注意事项

一、安全操作守则

1. 首次进入实验室参加实验的学生应认真听取实验指导教师对于安全内容的介绍。
2. 实验室总电源由指导教师负责，学生不得擅自接触。
3. 实验过程中需妥善保管好水杯、饮料瓶等容器，不许放置在实验操作台上。
4. 学生进行实验时，独立完成的实验线路连接或改接，须经指导教师检查无误并提醒注意事项后，方可接通电源。
5. 严禁带电接线、拆线、接触带电裸露部位及电机旋转部件。
6. 各种仪表、设备在使用前应先确认其所在电路的额定工作状态，选择合适的量程。若认为仪表、设备存在问题或发生故障，应报告指导教师，不得自行排除故障。
7. 实验中发生故障时，必须立即切断电源并保护现场，同时报告指导教师。待查明原因并排除故障后，才可继续进行实验。
8. 实验室内禁止打闹、大声喧哗、乱扔废物以及其它不文明行为。
9. 实验开始后，学生不得远离实验装置或做与实验无关的事。
10. 实验完毕后应首先切断电源，再经指导教师检查实验数据后方可拆除实验线路，并将实验仪表、用线摆放整齐。

二、预习要求

1. 仔细阅读实验指导书，根据实验指导书内容完成实验预习。
2. 针对实验的内容，查找相关资料，学习相关原理。
3. 对实验进行设计，包括试验方法、实验设备、程序设计等。
4. 考虑实验过程中可能出现的问题，及可能的实验结果。

三、出勤要求

1. 要求按时进入实验室进行实验，不迟到。迟到 10 分以上者，实验过程成绩减半，迟到 20 分钟以上者，取消本次实验资格。
2. 实验完成后，经实验教师检查合格后方可离开，中途不得随便离开实验室，确有

情况者，向实验教师讲明原因，在允许的情况下方可离开。

3.实验过程中应关闭通信设备，或将通信设备调至静音，实验过程中不得玩手机。

4.如未参加实验，则实验成绩按 0 分计。

第一部分 实验系统操作指导

1 仪器设备介绍

实验设备包括：计算机、示波器 DS5062CE、信号源 DG1011、两轮直立式智能车实验平台、高精度万用表 VC9804 或 UT61E 等。如图 1.1~图 1.4 所示为实验中用到的部分实验仪器（未拍计算机）。

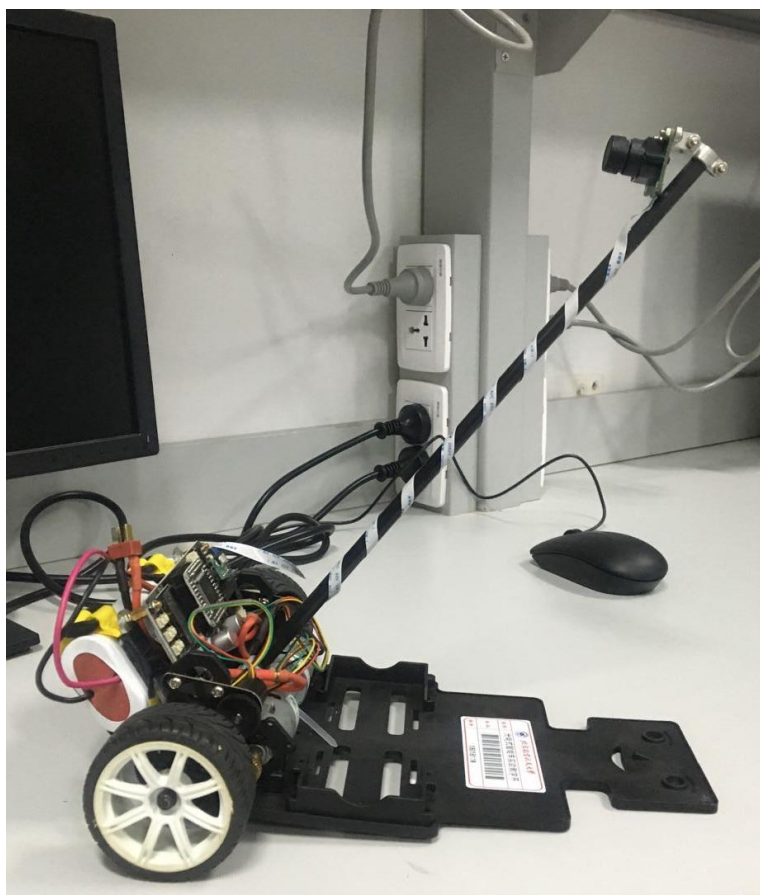


图 1.1 两轮直立式智能车实验平台

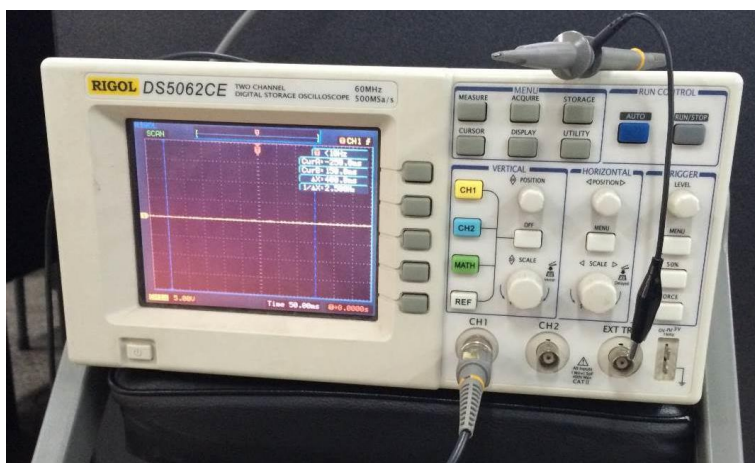


图 1.2 示波器



图 1.3 信号源



图 1.4 万用表 (UT61)



图 1.4 万用表（VC9806）

2 仪器设备使用方法

2.1 信号源使用说明

DG1011 型信号发生器面板如图 2.1 所示。

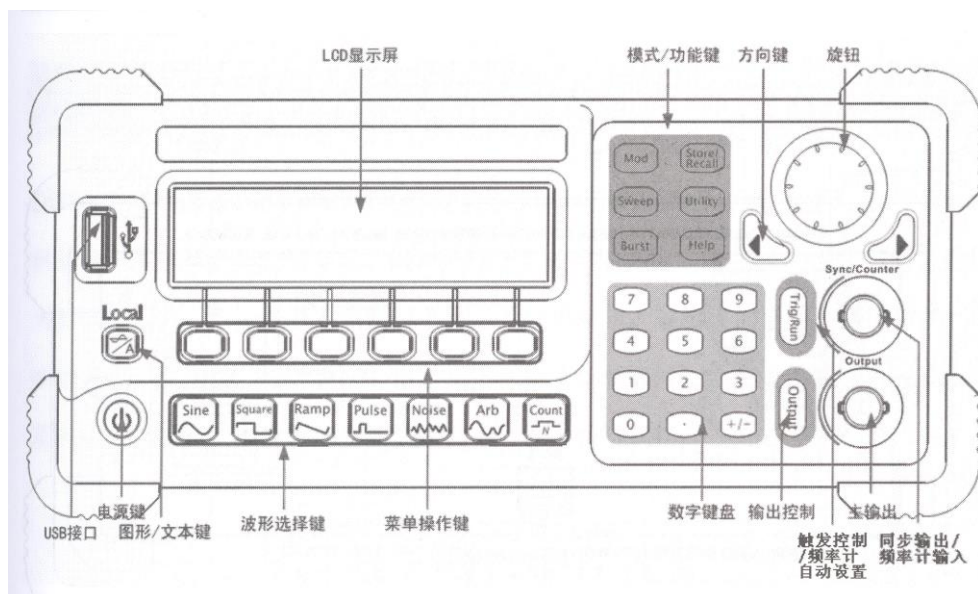


图 2.1 信号源面板图

信号源的一般操作如下：

- (1) 插上电源线。
- (2) 按亮左下角电源开关。
- (3) 按波形选择键，选择某个信号波形，如按亮“sin”选择正弦输出，LCD 显示屏显示对应波性的参数及对应数值，如正弦有“频率”、“幅值”和“偏移量”三个参数。
- (4) 按数字键盘可输入对应参数的数值，然后选择对应的特性，如噪声信号可选“mVpp”、“Vpp”、“mVRMS”和“VRMS”，其中“Vpp”为峰峰值，“VRMS”为均方值。
- (5) 设置完成后，连接输出端子的信号线，按亮“Output”按钮，信号可输出。
- (6) 使用完毕后，关闭电源，拔下导线。

信号源除了输出典型的波形外，还有一些辅助功能，如直流、同步等。直流输出的操作步骤如下：

- (1) 插上电源线。

- (2) 按亮左下角电源开关。
- (3) 按亮“Utility”，LCD 显示屏底部显示辅助功能，按菜单操作键中“直流关”对应的按钮，显示“直流开”及“偏移量”，输入要求的数字键设置直流输出的幅值。
- (4) 连接输出端子的信号线，按亮“Output”按钮，信号可输出。
- (5) 使用完毕后，关闭电源，拔下导线。

2.2 示波器使用说明

数字示波器 DS-5000 面板如图 2.2 所示，其操作面板分布如图 2.3 所示。

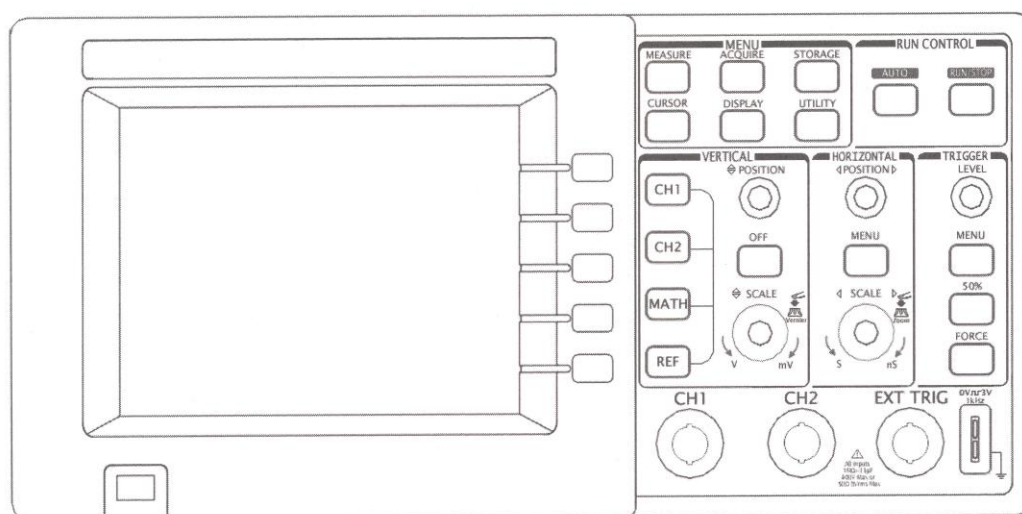


图 2.2 示波器器面板图

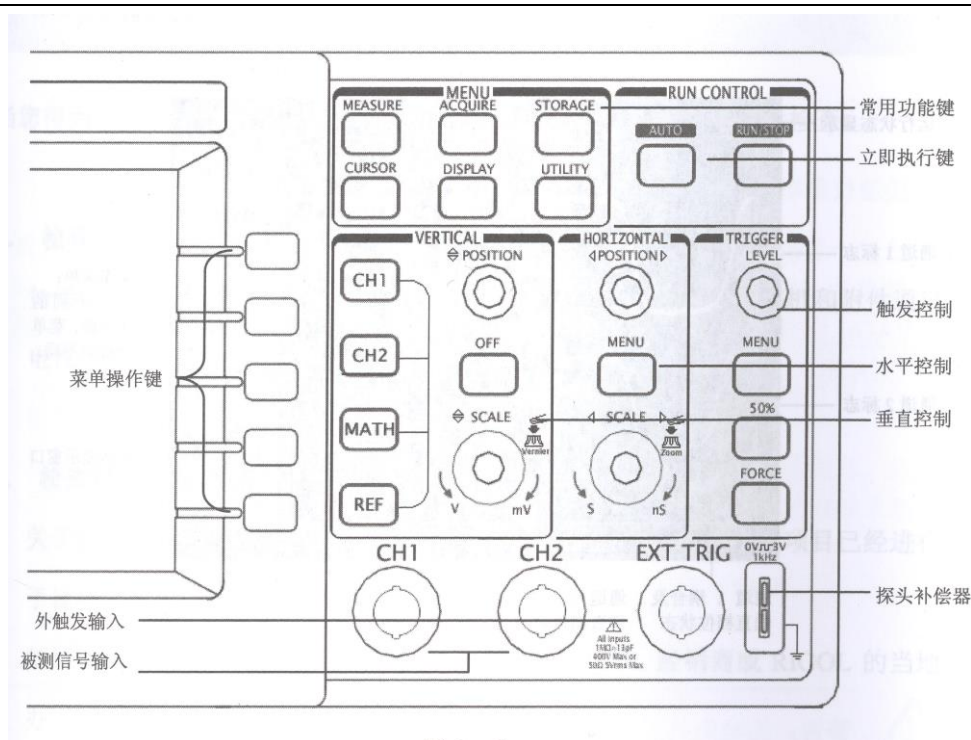


图 2.3 示波器操作面板分布图

示波器也是常用的测试仪器，该仪器常用操作如下：

- (1) 按下左下角电源开关，打开示波器。
- (2) 示波器探头连接至 CH1 和 CH2，将探头连接到信号端，按 AUTO 按钮，可在显示屏显示波形。
- (3) 使用完毕后，关闭示波器。

实验中使用示波器的单次触发，单次触发设置步骤如下：

- (1) 按一下示波器右侧“TRIGGER”框中的“MENU”按钮，显示屏显示“TRIGGER”菜单；
- (2) 按动显示屏右边对应菜单中“触发方式”的按钮，选择“单次”；
- (3) 按动显示屏右边对应菜单中“边沿类型”选择双沿；
- (4) 按动显示屏右边对应菜单中“信源选择”选择“CH2”。

示波器时间测量标尺设置步骤如下：

- (1) 在示波器操作面板的左上角“MENU”框中，按一下“CURSOR”按钮，显示屏显示“CURSOR”菜单；
- (2) “光标模式”选择“手动”；“光标类型”选择“时间”；
- (3) 示波器操作面板上的垂直和水平“POSITION”旋钮可以分别移动标尺的位

置。

3 实验系统软件介绍

3.1 编程调试软件

开发调试程序使用的软件是 IAR，关于软件的安装步骤如下：

(1) 下载安装软件

关于 IAR 软件的下载，为避免下载版本不一导致部分功能不兼容、例程无法使用等不必要的错误出现，已经将下载包下载好放在“实验指导所用软件”文件夹中：

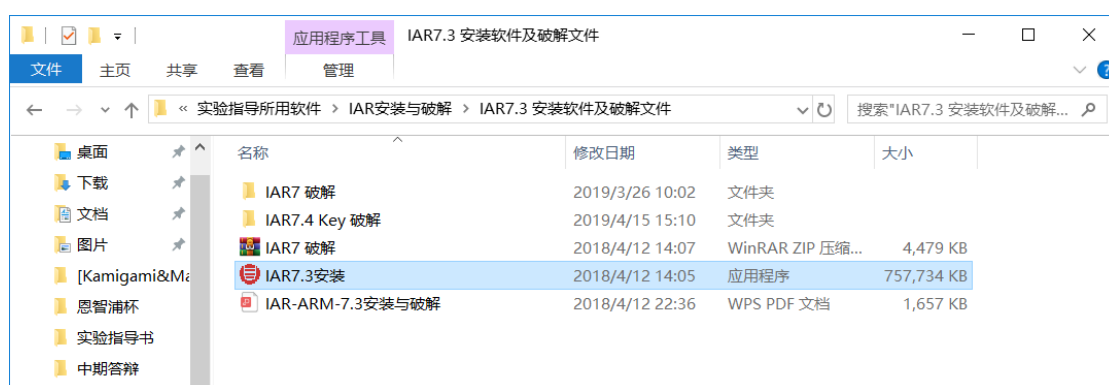


图 3.1 IAR 安装软件位置

其中还包括 IAR 破解软件。

(2) 安装 IAR 详细过程

①. 运行实验指导所用软件中的 IAR7.3 安装.exe。

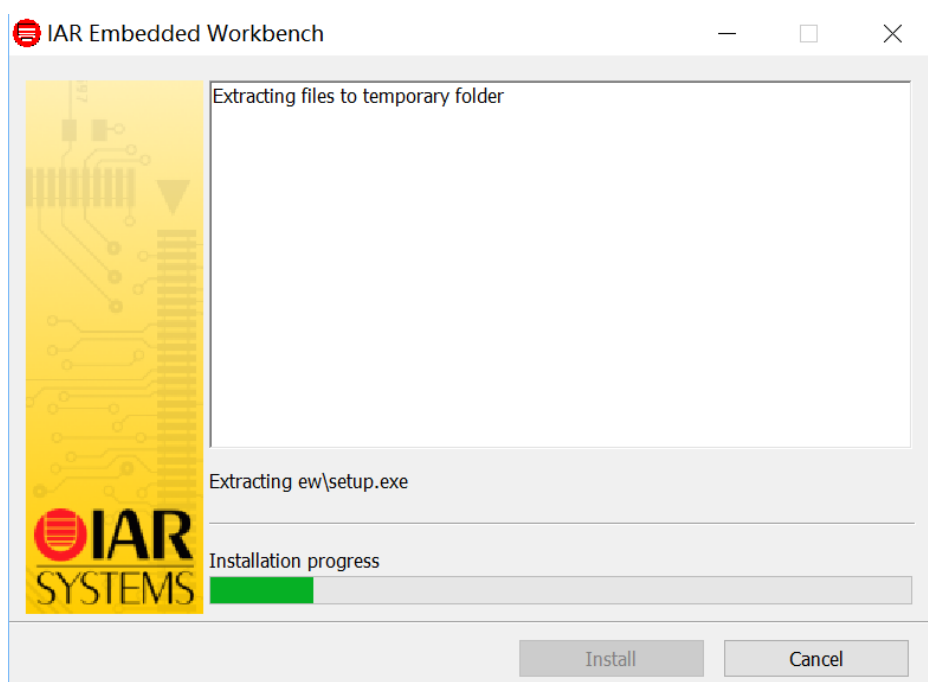


图 3.2 IAR 软件安装

②. 按照 IAR-ARM-7.3 安装与破解.pdf 进行 IAR 的安装与破解工作

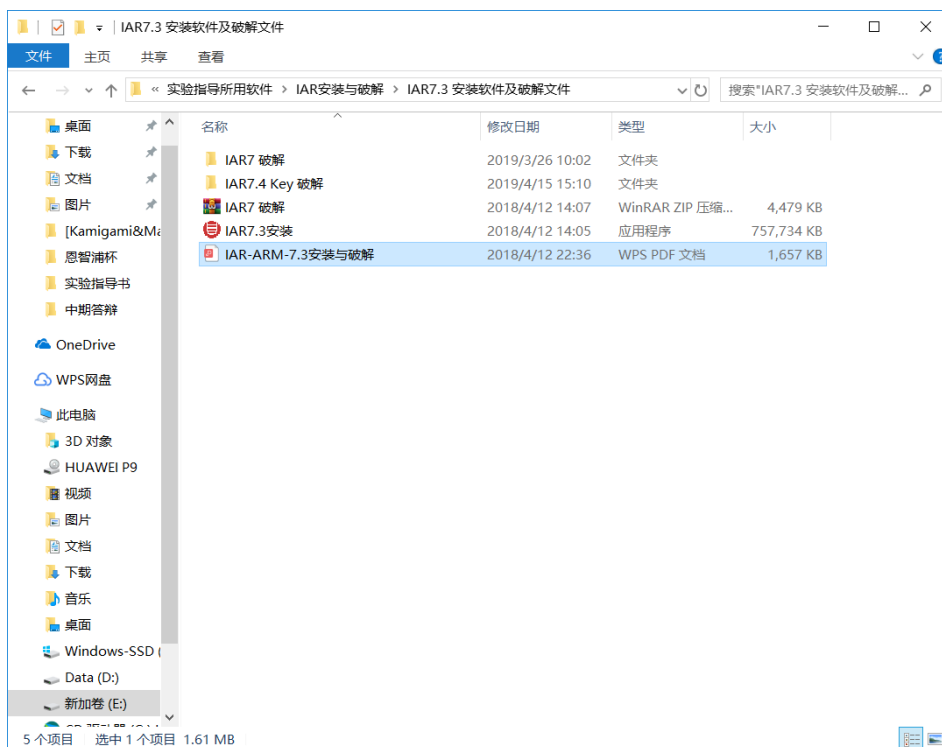


图 3.3 IAR 软件破解

③. IAR 软件编程界面

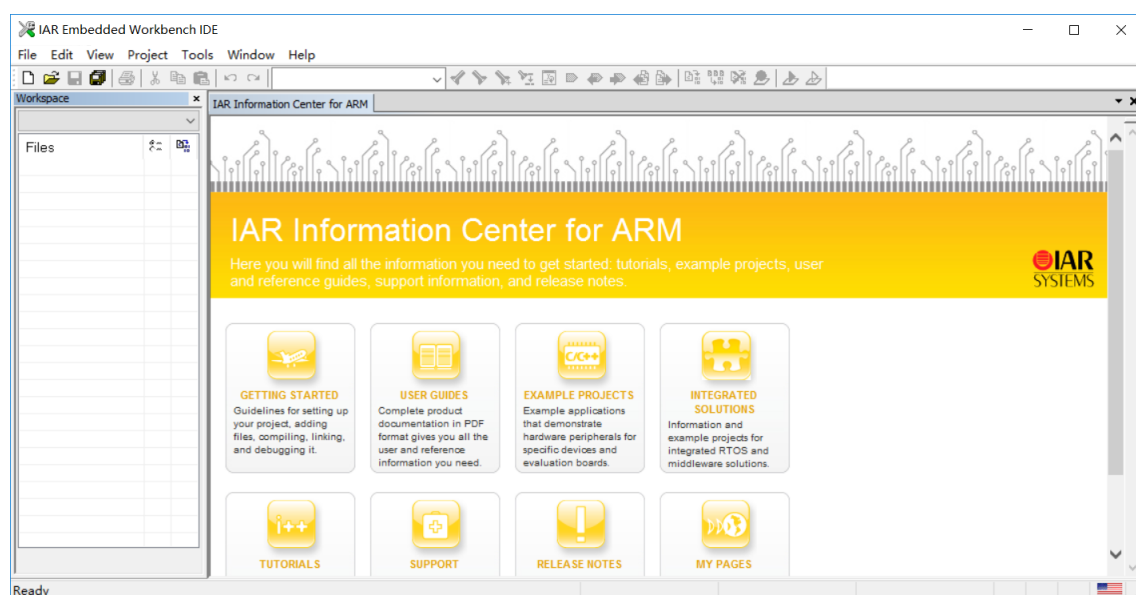


图 3.4 IAR 运行界面

相对于 Keil For ARM、CodeWarrior 而言，IAR for ARM 的编程界面是最简单的，编译效率高。

(3) 使用 IAR 建立工程

在这里，我们以 GPIO 为例子，一步步操作，讲解建立工程的详细过程。

①. 建立工作空间

File——New——Workspace

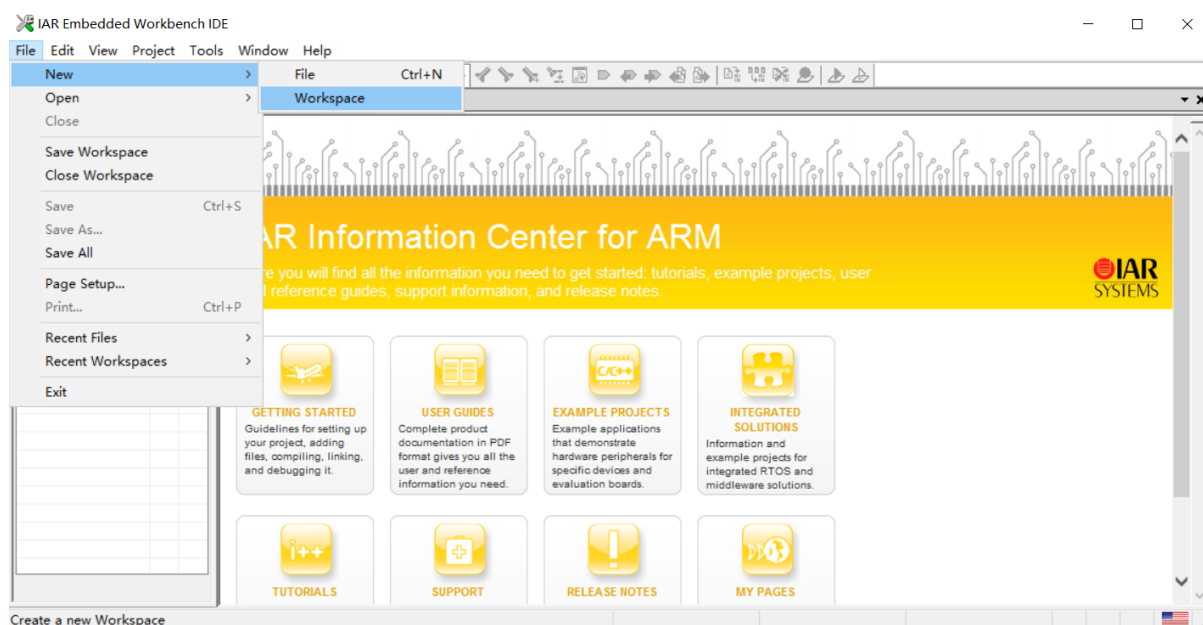


图 3.5 建立工作空间

②. 建立工程

在工具栏里选择 Project——Create New Project

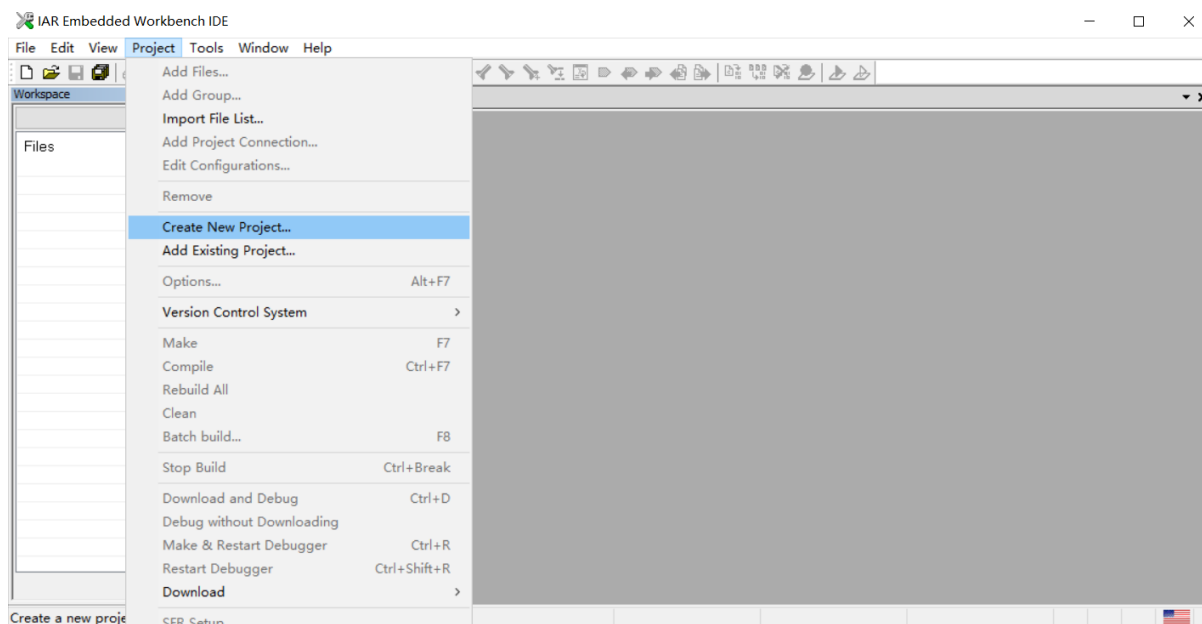


图 3.6 建立工程（1）

接着在弹出来的对话框里选择空的工程，点击确定

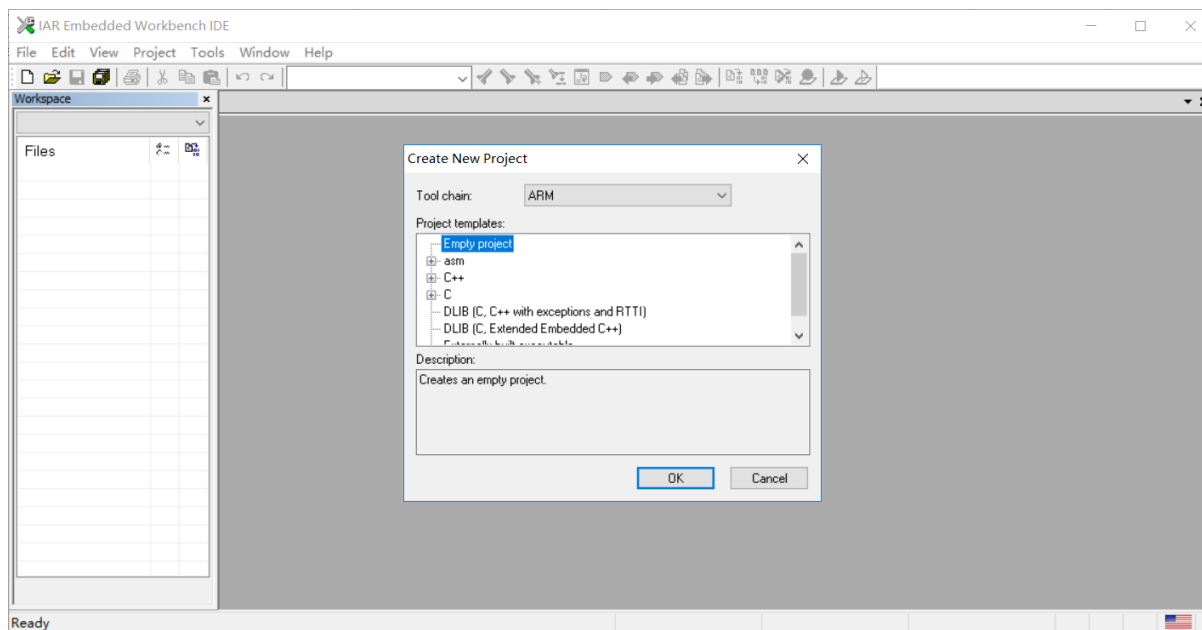


图 3.7 建立工程（2）

接着弹出选择保存工程的对话框。由于我们还没建保存工程的文件夹，我们就直接在对话框里新建：右键——新建——文件夹——重命名为：fire_Kinetis。

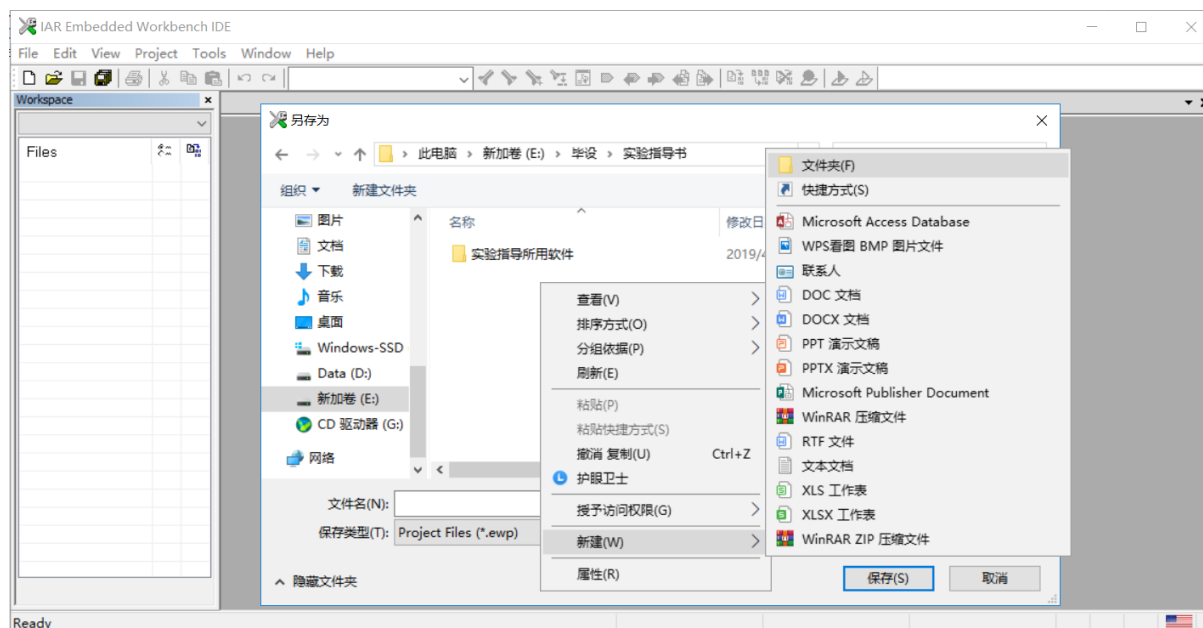


图 3.8 建立工程（3）

打开新建的 fire_Kinetis 文件夹，再建一个 build 文件夹， build 文件里再建一个 gpio_demo 文件夹，把工程文件保存在 gpio_demo 文件夹里面，工程文件名为：fire_gpio_demo。

保存后，进入 IAR 界面，进行工作区的保存。在菜单栏里找到图标，点击保存全部文件，把 工作区文件保存在 fire_Kinetis 文件夹下，名字为 fire_Kinetis：

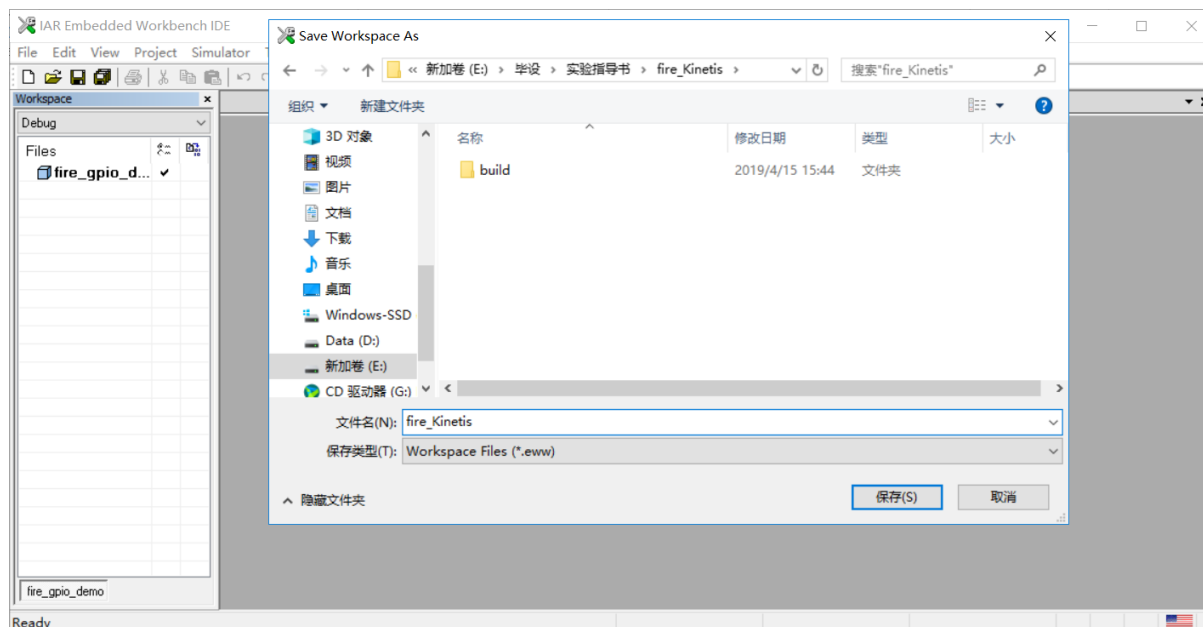


图 3.9 建立工程（4）

这样，一个空的 IAR 工程骨架就建立完毕，需要我们往里面添加自己的模块。

③. 往工程添加 Kinetis 官方自带函数库。

复制例程文件夹下的文件夹 lib 到 fire_Kinetis 文件夹下：

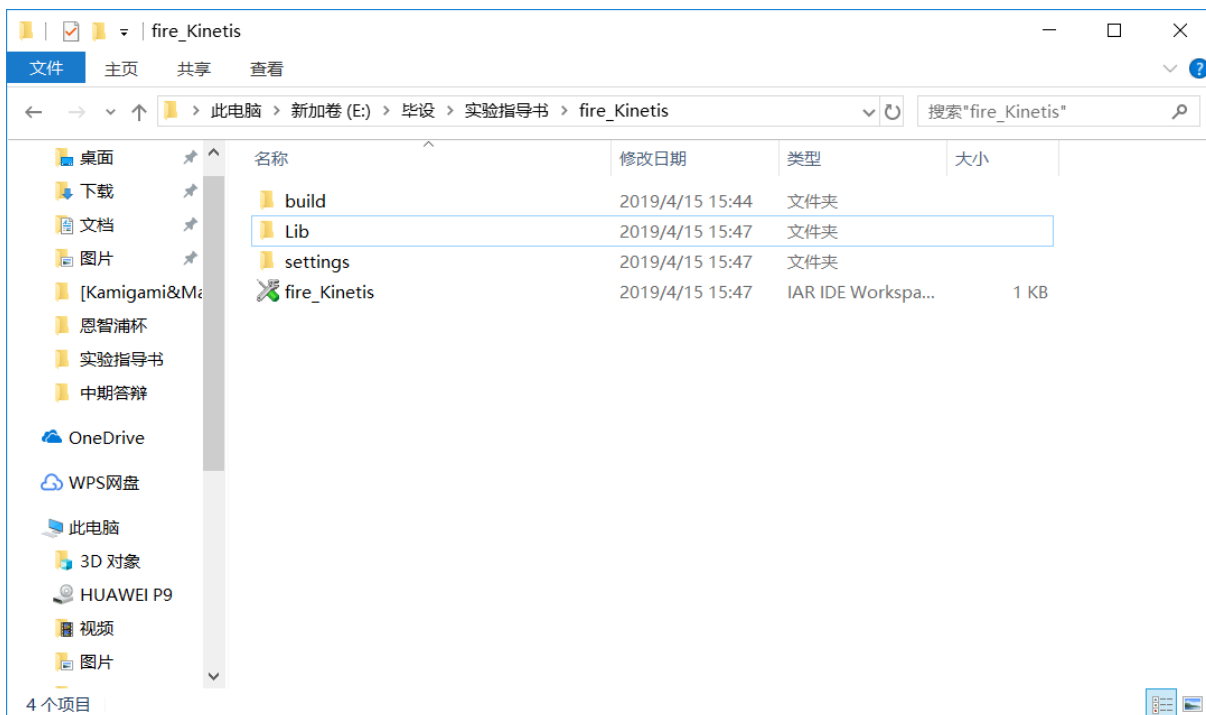


图 3.10 添加函数库

④. 添加分组，方便管理代码

返回 IAR 界面，在工程里创建分组：

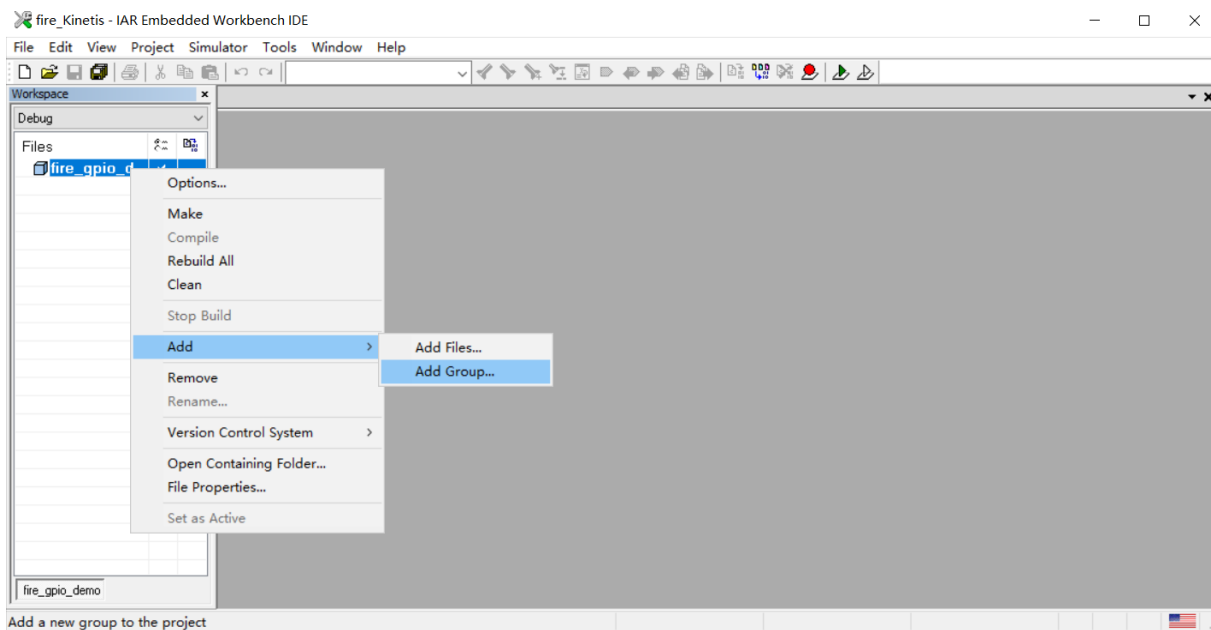


图 3.11 添加分组

按照提示填入分组名 app、common、user、cpu、drivers 等。

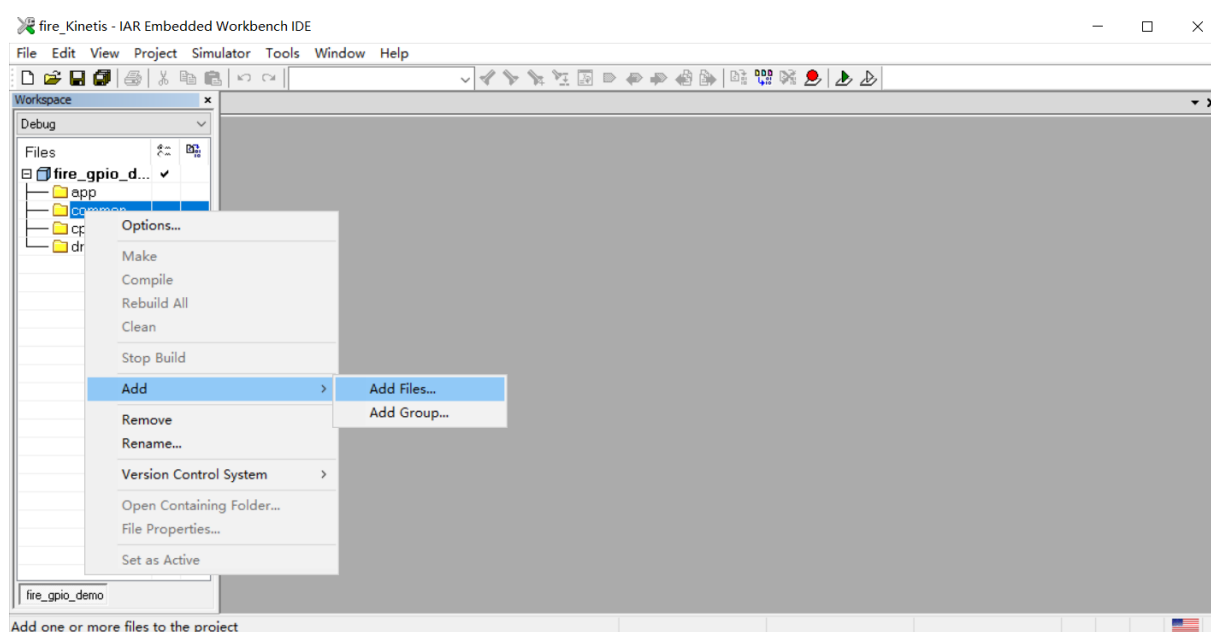


图 3.12 添加文件

通过分组添加文件能够使各部分代码文件更加整齐方便管理和查看。

当然，为了节省时间，也可以将例程的文件夹复制到自己的电脑上，直接利用例程已经建立好的架构进行程序的编写。

3.2 仿真调试软件

仿真使用的软件是 Simulink，也是使用较为广泛的一种仿真软件。

运行 MATLAB，在任务栏中找到 simulink 图标并点击打开：

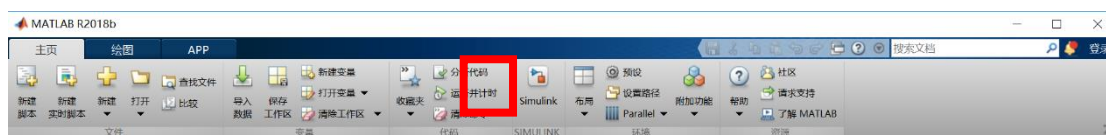


图 3.13 simulink 位置

点击界面中的“blank model”，建立新的模型：

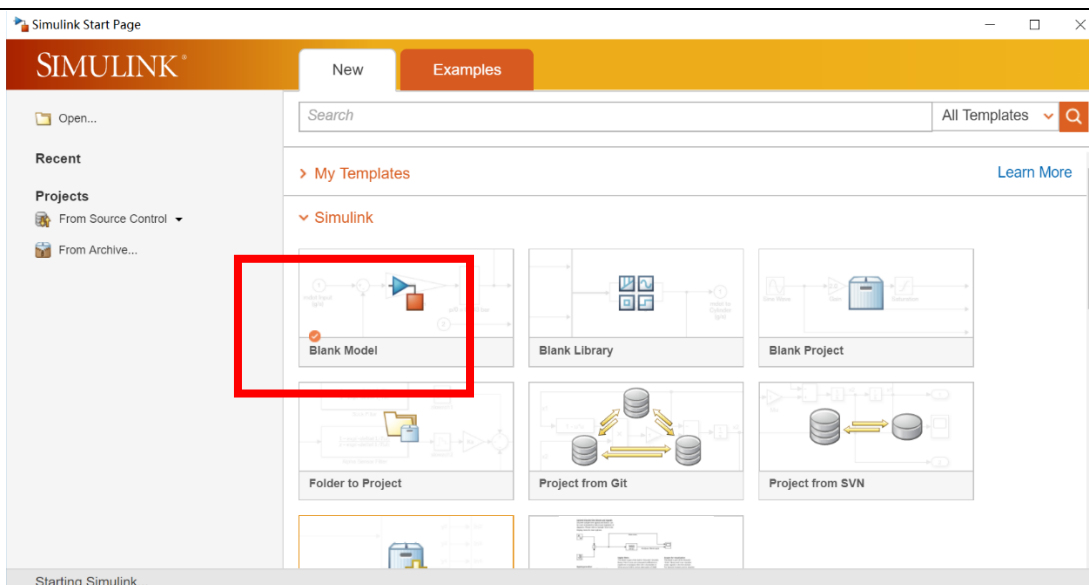


图 3.14 建立模型

在新模型的空白界面中，点击“view”→“library browser”，打开 simulink 组件库：

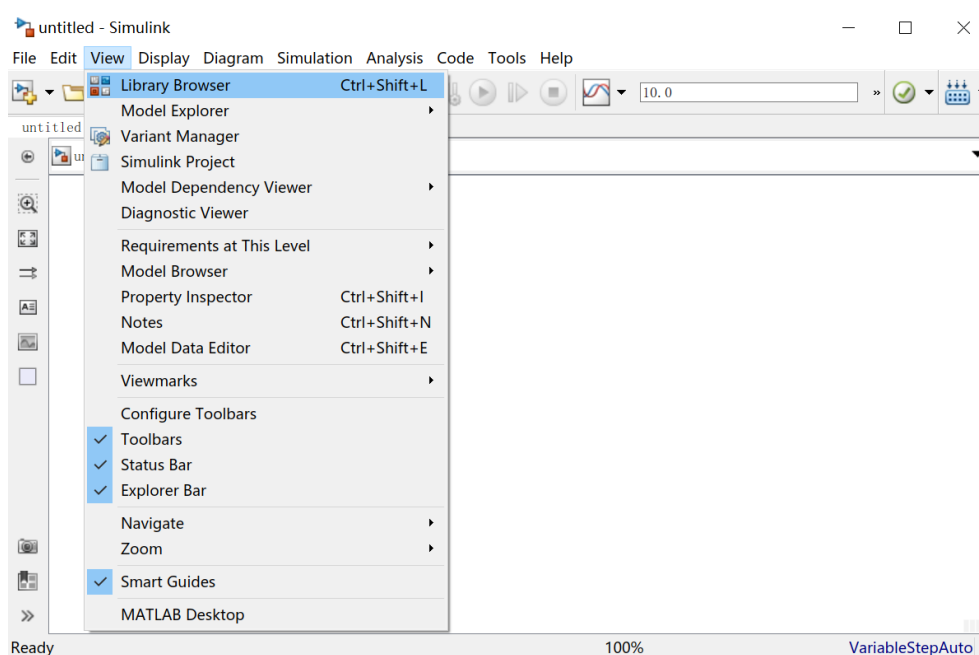


图 3.15 组件库

打开组件库界面后，即可在库中寻找建立模型需要的相关元件，搭建模型：

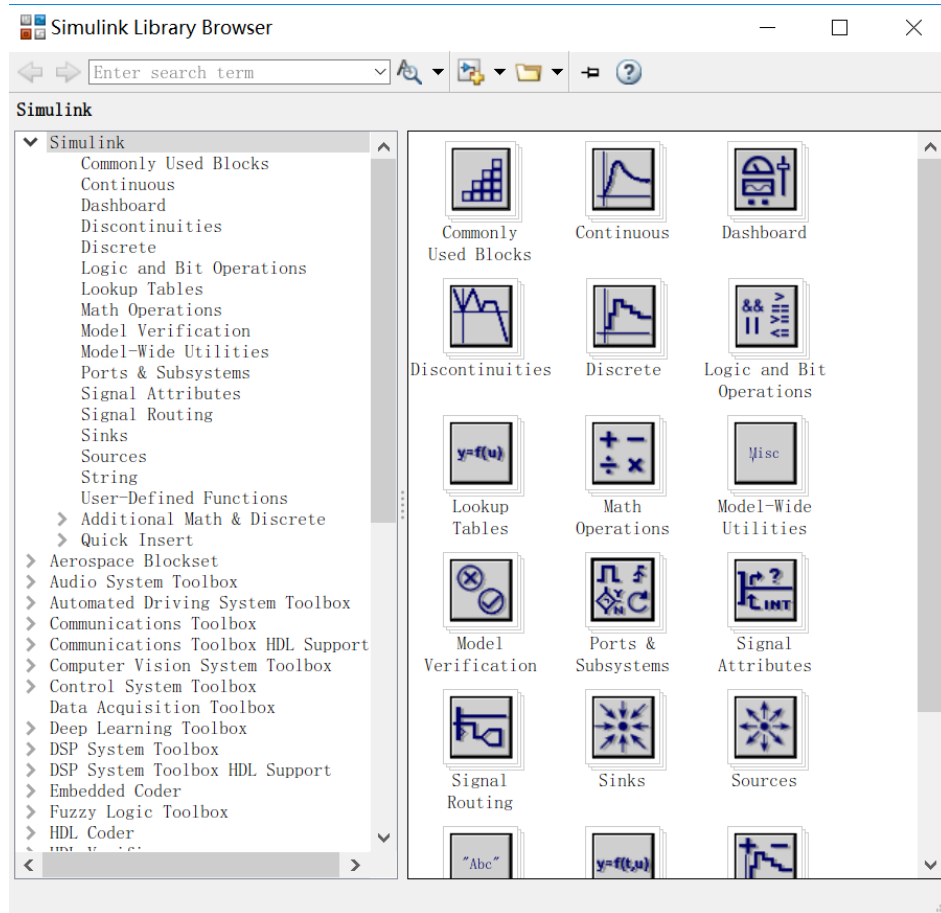


图 3.16 搭建模型

模型建立好之后，设定仿真时间并运行模型：

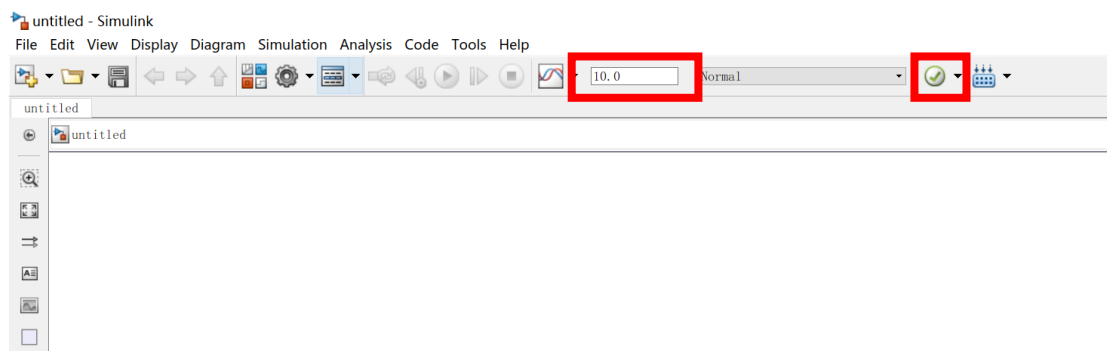


图 3.17 运行模型

第二部分 两轮直立智能车实验系统实验指导

实验一 MINI 编码器测试及上位机通讯实验

一、实验目的

1. 熟悉 K60 系列单片机开发软件的使用
2. 掌握单片机 I/O 口及 UART 模块的使用
3. 掌握编码器原理，测试 MINI 编码器是否正常工作
4. 学习上位机通讯程序的编写和使用

二、实验内容

1. 验证性实验

具体要求：

按照实验指导书正确安装编译软件以及相关驱动，了解 UART 模块各寄存器功能及配置原理。连接智能车 WiFi 串口通讯接口，再与电脑连接，简单测试串口以及上位机通讯功能。

学会使用 IAR 编译软件新建工程以及工程编译烧写等基本操作，按照例程配置 K60 单片机 UART0 模块寄存器。打开上位机软件实现由单片机向上位机发送字符。设置 UART0 为串口通讯接口，连通硬件，完成基本程序烧写。

测试 MINI 编码器工作情况，使用实验平台上的 OLED 液晶屏和电脑端上位机接收数据。

本次实验所需硬件连接：

将 WiFi 模块与智能车上的 J11 端口连接（如下图）：

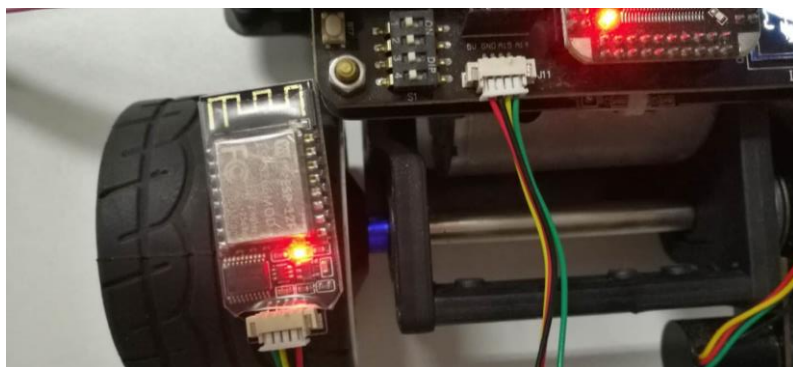


图 2.1 上位机接口

WiFi 模块与电脑的连接方法以及上位机软件收录在实验指导所用软件中：

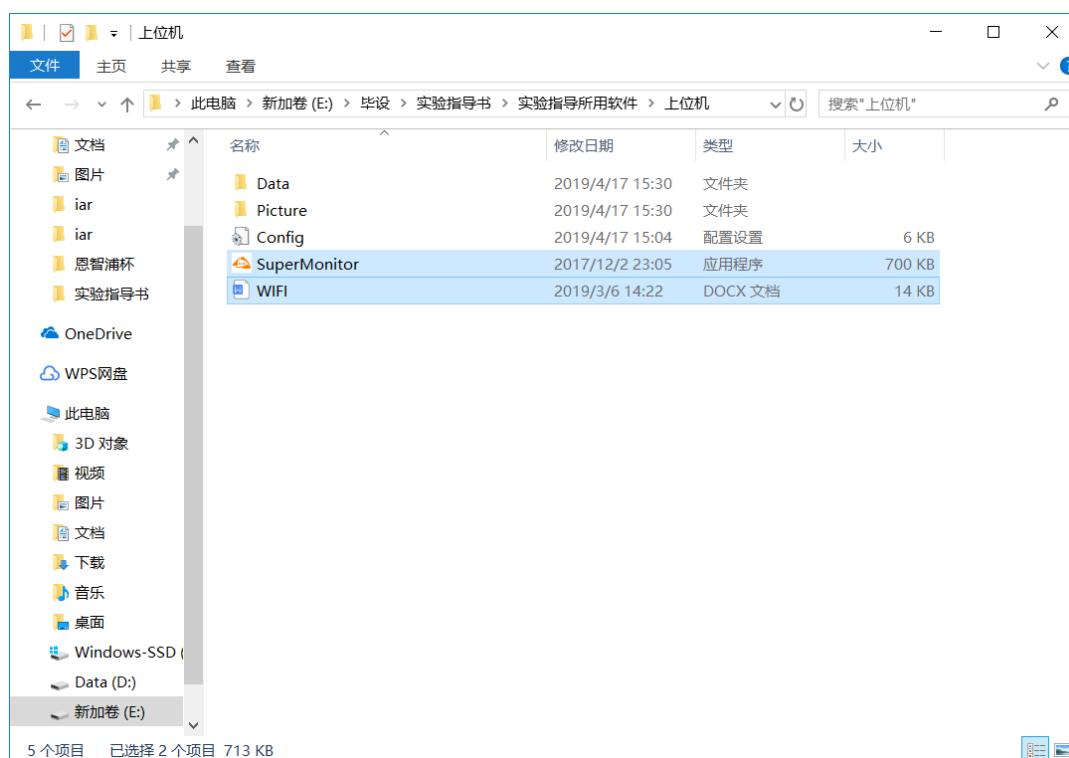


图 2.2 软件位置

2. 设计性实验

设计算法，使得编码器可以测出智能车的实时速度，并把速度数据上传至上位机和 OLED 屏幕。

具体要求：

继续了解和学习 K60 串口通讯功能，实现单片机与上位机之间接收和发送数据。测量车轮转过一圈时智能车所前进的距离以及编码器的脉冲数，编写程序采集编码器信息用以反馈速度信息；显示速度必须实时，单位自己确定。

硬件连接：

与验证性实验相同。

三、实验设备

1. 计算机
2. 智能创新平台（智能车）
3. WiFi 模块

四、预习要求

- 1.学习 K60 单片机的 GPIO 口输入输出设置
- 2.学习 K60 单片机 UART 模块参数设置
- 3.学习串口通讯的工作原理
- 4.了解 mini 编码器的工作原理

五、实验原理

1. UART 原理介绍

实验所使用的 K60 单片机 UART 模块共有 6 个，分别是 UART0~5。在后续的实验中一直选用 UART0 作为串口通讯接口。UART 使用的引脚功能也和 GPIO 一样，需要在 PORT_PCR 寄存器中设置。UART 模块的时钟源来自 MCG 模块，其中 UART0、UART1 使用系统时钟，即核心时钟，而其余的 UART 使用总线时钟，即由 MCG 时钟分频而来的 Bus Clock。

通过设置 UARTx_BDH 和 UARTx_BDL 寄存器设置 UART 的波特率，实验中设置为 1500000。通过设置控制寄存器将数据格式设置为 8 位数据，停止位 1 位，不设置校验位。

2. 各外设在实验箱的位置分布

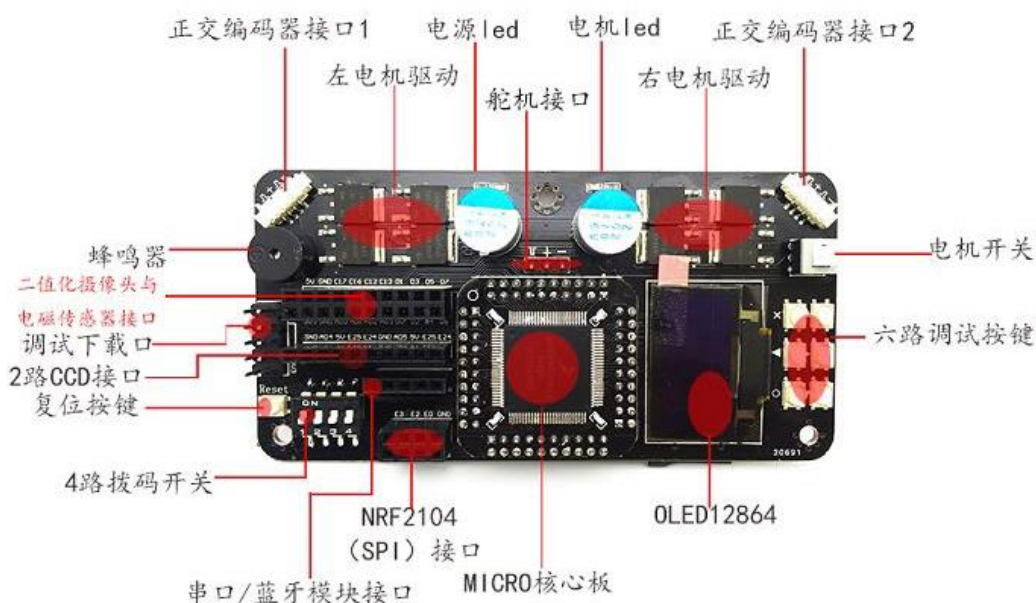


图 5.1 智能车硬件分布图

六、实验步骤

1. 按要求连接硬件
2. 学习验证实验的参考程序（例程在附件中）
3. 将例程烧录至智能车，进行验证实验
4. 发散思维，进行设计性实验

七、注意事项

1. 实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。
2. 使用下载器烧录程序时应当注意连接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。
3. 注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。
4. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证（C 语言或汇编语言都可），按照所给要求进行硬件连接，最后观察程序运行结果。对于设计性实验，可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展，最终按照要求独立完成设计性实验。
5. 实验成绩=考勤（10%）+实验过程及结果（60%）+实验报告（30%）。
6. 报告雷同者，报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容：

1. 本实验所涉及工程问题描述（根据实验内容注明具体要求）
2. 实验工作原理与理论分析（根据实验内容注明具体要求）
3. 实验过程描述和实验结果分析（根据实验内容注明具体要求）
4. 实验结论（根据实验内容注明具体要求）
5. 个人体会和建议（根据实验内容注明具体要求）

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

1. 串口通讯如何实现发送接收状态查询。
2. 如何使用 MINI 编码器作为速度反馈。

十、参考资料

1. 闫琪, 王江, 熊小龙, 朱德亚, 邓飞贺, 朱锐, 金立编著. 智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通. 北京航空航天大学出版社.
2. 蔡述庭主编. “飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于S12XS和Kinetis K10. 北京航空航天大学出版社2016年6月.
3. 潘峰, 冯占英, 沈允中, 耿光瑞主编. 全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M]. 中国铁道出版社.
4. 董刚. 智能小车运动控制系统研制[D]. 西安科技大学硕士论文. 2009年4月.
5. 黄开胜、金华民、蒋狄南著. 韩国智能模型车技术方案分析. 卓晴、黄开胜、邵贝贝等编. 学做智能车—挑战“飞思卡尔”杯. 北京: 北京航空航天大学出版社 2007.

实验二 智能车电机控制实验

一、实验目的

1. 学习电机工作原理及 PWM 控制的编程方法。
2. 学习编码器的基本使用方法及其编程方法。

二、实验内容

1.验证性实验

结合编码器进行闭环电机控制实验。

具体要求：

使用附件中的电机驱动测试程序测试电机能否正常工作。结合编码器编写控制程序，稳定调整电机转速达设定值，将电机转速数据传输至 OLED 屏幕与上位机。

2.设计性实验

使用 simulink 进行电机仿真实验，构建电机闭环控制模型并进行仿真和实际调试。

具体要求：

利用上位机测得的各种数据以及电机的硬件资料求得电机控制模型的传递函数（一阶系统或二阶系统即可），使用 PID 控制等控制方法进行仿真以及实际程序的编写。要求仿真结果与实际调试中使用的参数差距不能过大，仿真较为贴合实际而且能指导实际参数的调节工作。

仿真方法示例：

以构建电机的一阶系统为例来介绍根据电机实际测试数据构建仿真模型的方法：

由课程自动控制原理可知，一阶系统的闭环传递函数为：

$$\Phi(s) = \frac{1}{Ts + 1}$$

需要测得的只有一个时间常数 T ，而时间常数 T 可以通过电机的阶跃响应时间测得。因在运行过程中电机一直在运转，所以阶跃响应时间不应包含电机的起动时间。现以车速从 1m/s 变化到 2m/s 的时间作为电机阶跃响应时间来测量为例进行测试。算法流程图如下：

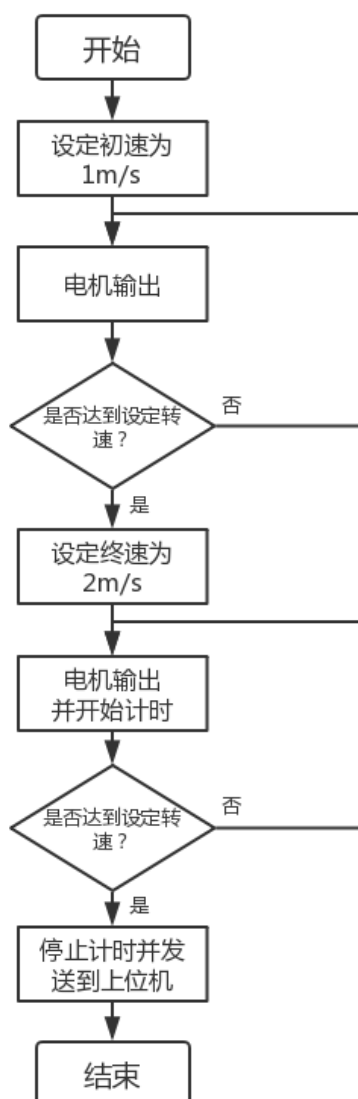


图 2.1 电机动态响应时间测试流程图

由此算法，阶跃响应时间可以直接显示在上位机或者 OLED 屏幕上，便可以计算出参数 T ，进行下一步的 simulink 仿真工作。

电机的详细资料在附件中可以查看。

三、实验设备

1. 计算机
2. 智能创新平台（智能车）
3. 万用表
4. 示波器

四、预习要求

1. MK60DN512 微控制器脉宽调制模块控制寄存器定义及功能。
2. BDC 直流有刷电机基本知识。

五、实验原理

1. 电机驱动模块工作原理介绍

电机驱动模块采用 H 桥电路，通过 PWM 波占空比控制电机转速，与 L298N 控制原理类似。

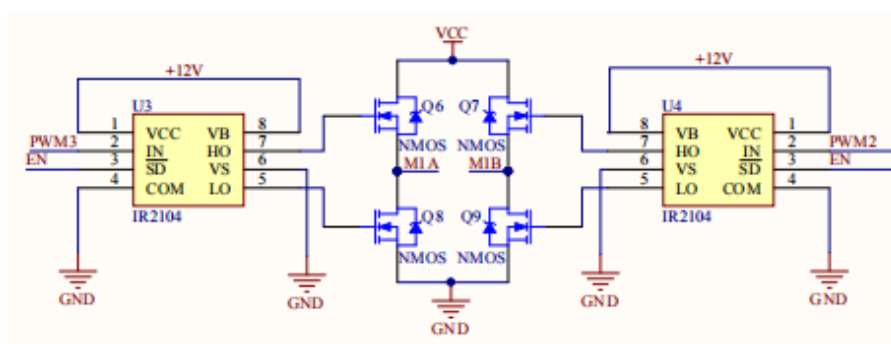


图 5.1 电机驱动电路图

2. PID 控制原理介绍

PID 控制是工程实际中应用最为广泛的调节器控制方法。问世至今 70 多年来，它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一。

单位反馈的 PID 控制原理框图如图：

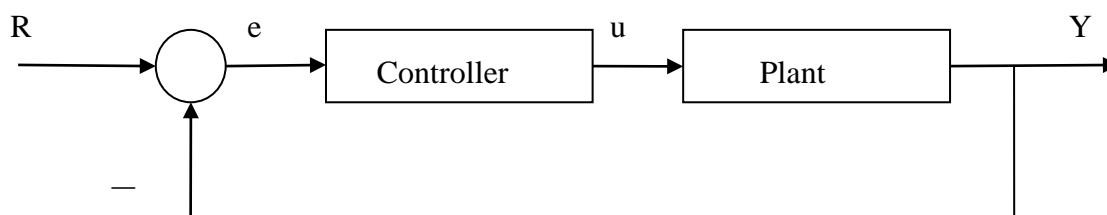


图 5.2 PID 控制原理

单位反馈 e 代表理想输入与实际输出的误差，这个误差信号被送到控制器，控制器算出误差信号的积分值和微分值，并将它们与原误差信号进行线性组合，得到输出量 u 。

$$u = k_p e + k_i \int e dt + k_d \frac{de}{dt}$$

其中， K_p 、 K_i 、 K_d 分别称为比例系数、积分系数、微分系数。 u 接着被送到了执行机构，这样就获得了新的输出信号 u ，这个新的输出信号被再次送到感应器以发现新的误差信号，这个过程就这样周而复始地进行。

数字控制系统中，PID控制器是通过计算机PID控制算法程序实现的。计算机直接数字控制系统大多数是采样-数据控制系统。进入计算机的连续-时间信号，必须经过采样和整量化后，变成数字量，方能进入计算机的存储器 and 寄存器，而在数字计算机中的计算和处理，不论是积分还是微分，只能用数值计算去逼近。

用矩形数值积分代替上式中的积分项，对导数项用后向差分逼近，得到数字PID控制器的基本算式（位置算式）：

$$u_n = k_p(e_n + \frac{1}{T} \sum_{k=1}^n e_k T + T_d \frac{e_n - e_{n-1}}{T})$$

其中 T 是采样时间， k_p 、 T_i 、 T_d 为三个待调参数。

六、实验步骤

- 1.学习验证实验的参考程序（例程在附件中）
- 2.将例程烧录至智能车，进行验证实验
- 3.发散思维，进行设计性实验

七、注意事项

- 1.程序中必须对电机运动范围进行限制（限制形式例程中已经给出），以免烧坏设备。
- 2.实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。
- 3.使用下载器烧录程序时应当注意接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。
- 4.注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。
5. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证（C 语言或汇编语言都可），按照所给要求进行硬件连接，最后观察程序运行结果。对于设计性实验，可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展，最终按照要求独立完成设计性实验。
6. 实验成绩=考勤（10%）+实验过程及结果（60%）+实验报告（30%）。

7. 报告雷同者，报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容：

1. 本实验所涉及工程问题描述（根据实验内容注明具体要求）
2. 实验工作原理与理论分析（根据实验内容注明具体要求）
3. 实验过程描述和实验结果分析（根据实验内容注明具体要求）
4. 实验结论（根据实验内容注明具体要求）
5. 个人体会和建议（根据实验内容注明具体要求）

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

1. 电机 PWM 控制原理是什么。
2. 编码器作为速度反馈应不应该也建立控制模型。

十、参考资料

1. 闫琪，王江，熊小龙，朱德亚，邓飞贺，朱锐，金立编著.智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通.北京航空航天大学出版社.
2. 蔡述庭主编.“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于 S12XS 和 Kinetis K10.北京航空航天大学出版社 2016 年 6 月.
3. 潘峰，冯占英，沈允中，耿光瑞主编.全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M].中国铁道出版社.
4. 董刚.智能小车运动控制系统研制[D].西安科技大学硕士学位论文.2009 年 4 月.
5. 黄开胜、金华民、蒋狄南著．韩国智能模型车技术方案分析．卓晴、黄开胜、邵贝贝等编．学做智能车—挑战“飞思卡尔”杯．北京：北京航空航天大学出版社 2007.

实验三 智能车直立控制实验

一、实验目的

- 1.学习两轮直立智能车直立工作原理及 PWM 控制的编程方法。
- 2.学习 simulink 的基本使用方法及其仿真方法。
- 3.建立可用的直立控制模型，辅助实际调试工作。

二、实验内容

1.验证性实验

直立控制实验：智能车通过 MPU3050 陀螺仪和 MMA8451 加速度计来采集加速度信息。通过二者采集到的信息计算出小车角度以及角度测量值与预测值的偏差，进行 PID 控制，将控制量利用电机进行输出。

2.设计性实验

使用 simulink 进行直立控制仿真实验，构建直立控制模型并进行仿真和实际调试。

具体要求：

利用上位机测得的各种数据作为输入构建控制模型，使用 PID 控制等控制方法进行仿真以及实际程序的编写。要求仿真结果与实际调试中使用的参数差距不能过大，仿真较为贴合实际而且能指导实际参数的调节工作。

三、实验设备

1. 计算机
2. 智能创新平台（智能车）
3. 万用表
4. 示波器

四、预习要求

1. MK60DN512 微控制器脉宽调制模块控制寄存器定义及功能。
- 2.陀螺仪及加速度计基本知识。
- 3.倒立摆工作原理。

五、实验原理

1.角度计算原理介绍：

为了得到正确的角度信号，需要利用加速度计的角度信息对陀螺仪的信息进行校正。可以通过对比积分得到的角度信号和重力加速度得到的角度信号，利用两个信号的偏差改变陀螺仪的输出信息，一种供参考的方案原理图如下：（思考：为什么采用如下方案来计算角度，而不是通过直接积分获得角度？）

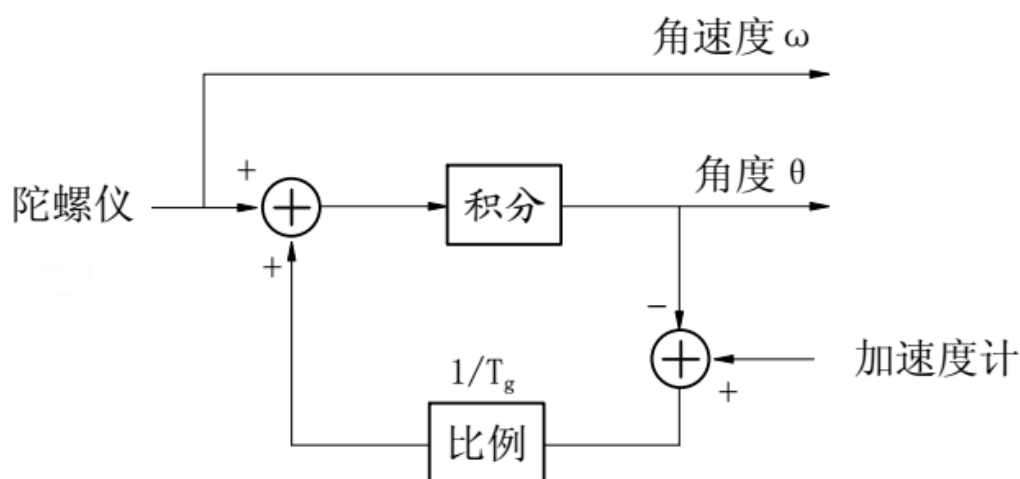


图 3.1 利用重力加速度来校正陀螺仪采集的信息

2.直立控制原理介绍：

两轮智能车的直立控制模型可简化为一个倒立摆模型，车模受力分析如下图。为使它能够稳定直立，需保证回复力与位移方向相反。

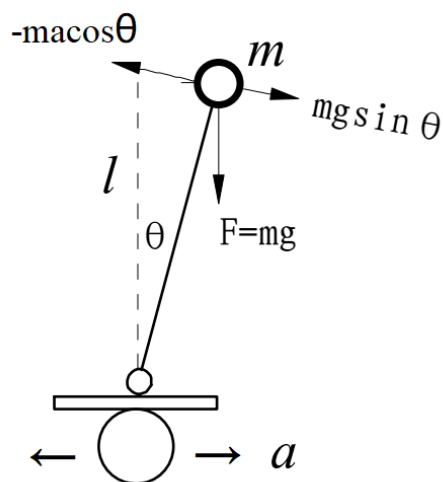


图 3.2 小车受力分析

若使小车作加速运动，此时分析倒立摆模型受到额外的惯性力，倒立摆受到的回复力大小如下：

$$F = mg\sin\theta - m\cos\theta \approx mg\theta - mk_1\theta$$

在上式中，由于 θ 较小，因此对其进行了线性化处理。在直立负反馈控制中，设车的加速度 a 与偏角 θ 成正比且比例为 k_1 ，如果 $k_1 > g$ ，则回复力的方向与位移方向相反，能够达到使车直立的控制效果。

除此以外，为了使小车能够尽快达到稳定直立，需要额外增加阻尼力。增加的阻尼力与偏角的速度成正比，方向与其相反。因此，上式可以进一步变为：

$$F = mg\theta - mk_1\theta - mk_2\theta'$$

由上式可得出控制智能车车轮加速度的控制算法：

$$a = k_1\theta + k_2\theta'$$

其中， θ 为车的倾角， θ' 为小车的角速度， k_1 、 k_2 为比例系数。在控制时使 $k_1 > g$ 且 $k_2 > 0$ 即可使得智能车保持在直立状态。在这两个比例系数中， k_1 的作用是使车模能够稳定在平衡位置， k_2 的作用是使小车能够尽快回到直立位置。

2.直立控制流程：

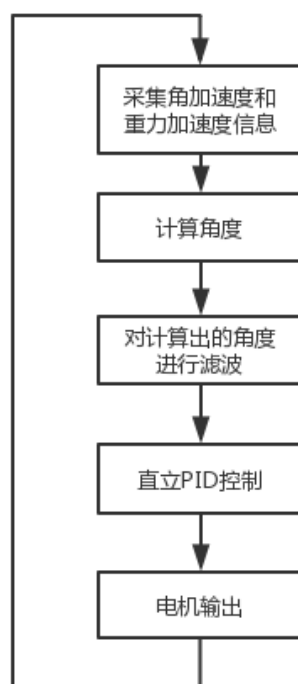


图 3.3 直立控制流程

六、实验步骤

- 1.学习验证实验的参考程序（例程在附件中）
- 2.将例程烧录至智能车，进行验证实验，利用采集到的姿态信息计算出角度及其他所需姿态信息，进行 PID 控制，使小车能够直立运行
- 3.发散思维，进行设计性实验

七、注意事项

- 1.程序中必须对电机转速范围进行限制（限制形式例程中已经给出），以免烧坏设备。
- 2.实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。
- 3.使用下载器烧录程序时应当注意连接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。
- 4.注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。
5. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证（C 语言或汇编语言都可），按照所给要求进行硬件连接，最后观察程序运行结果。对于设计性实验，可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展，最终按照要求独立完成设计性实验。
6. 实验成绩=考勤（10%）+实验过程及结果（60%）+实验报告（30%）。
7. 报告雷同者，报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容：

1. 本实验所涉及工程问题描述（根据实验内容注明具体要求）
2. 实验工作原理与理论分析（根据实验内容注明具体要求）
3. 实验过程描述和实验结果分析（根据实验内容注明具体要求）
4. 实验结论（根据实验内容注明具体要求）
5. 个人体会和建议（根据实验内容注明具体要求）

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

-
1. 如何得到误差较小的角度信息，并对下一时刻的角度信息进行预测。
 2. 考虑设置保护程序，注意对电机转速进行限制以及当小车躺倒时使其停止运行，方便调试。

十、参考资料

1. 闫琪，王江，熊小龙，朱德亚，邓飞贺，朱锐，金立编著.智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通.北京航空航天大学出版社.
2. 蔡述庭主编.“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于 S12XS 和 Kinetis K10.北京航空航天大学出版社 2016 年 6 月.
3. 潘峰，冯占英，沈允中，耿光瑞主编.全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M].中国铁道出版社.
4. 董刚.智能小车运动控制系统研制[D].西安科技大学硕士论文.2009 年 4 月.
5. 黄开胜、金华民、蒋狄南著．韩国智能模型车技术方案分析．卓晴、黄开胜、邵贝贝等编．学做智能车—挑战“飞思卡尔”杯．北京：北京航空航天大学出版社 2007.

实验四 赛道图像信息处理实验

一、实验目的

1. 学习线性 CCD 工作原理和数据采集方法
2. 学习 MK60DN512 微控制器 IO 中断模块
3. 学习线性 CCD 提取的赛道信息的处理方法

二、实验内容

1. 验证性实验

熟悉线性 CCD 原理。使用线性 CCD 例程采集赛道信息，并将信息发送到 OLED 屏幕显示。

2. 设计性实验。

实验要求：将智能车静置于赛道或者模拟赛道上，通过线性 CCD 采集赛道信息，设计信息处理算法，通过线性 CCD 采集到的赛道信息来计算智能车与赛道中心导线的偏差，将算法输出的量上传至上位机以及 OLED 屏幕。

需要考虑的情况包括但不限于：

- 1) 两边都能采到边线，计算中线
- 2) 单边有边线，计算中线
- 3) 两边均无边线，补线并计算边线

有关说明：

智能车根据线性 CCD 所采集到的图像信息来规划自身的行动，智能车实验系统所使用的跑道中央为白色，跑道边线及蓝色底板为深色。基于此原理，结合一定的算法即可解算出智能车的实时位置并决定智能车的行动。

硬件连接：硬件连接与验证性实验的第一个实验的连线相同。

三、实验设备

1. 计算机
2. 智能创新平台（智能车）
3. 万用表

4.示波器

5.电感传感器

四、预习要求

1.预习 MK60DN512 微控制器 IO 中断寄存器

2.预习线性 CCD 模块原理

五、实验原理

线性 CCD 采集赛道信息原理：

线性 CCD 在一个曝光周期内采集视野范围内一条线的信息，即 128 个像素信息。通过 AD 采样获取的数据是通过运算电路得到的像素点的电压值，是一个数值。通过采样函数将一个曝光周期内采集到的 128 个像素点的电压值寄存在位长 128 的数组中，从而用于计算与数据处理。在 128 个像素点的信息中，光线越强的点电压值越高，越弱的点电压值越低。针对赛道来说，CCD 采集到白色的赛道部分电压值较高，认为是区域白电平；赛道两边的黑线以及黑线外的深蓝色背景光线暗，电压值低，即暗电压。由此可以区分赛道与边界，通过寻找赛道两边的黑线位置，计算赛道中间位置，让小车近似循中线行进。

六、实验步骤

1.学习验证实验的参考程序（例程在附录中）

2.连接硬件，进行验证实验

3.进行设计性实验

七、注意事项

1.调整 CCD 角度和位置时注意借助工具，不要硬掰，以免损坏实验设备。

2.实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。

3.使用下载器烧录程序时应当注意接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。

4.注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。

5. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证,按照所给要求进行硬件连接,最后观察程序运行结果。对于设计性实验,可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展,最终按照要求独立完成设计性实验。

6. 实验成绩=考勤(10%)+实验过程及结果(60%)+实验报告(30%)。

7. 报告雷同者,报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容:

1. 本实验所涉及工程问题描述(根据实验内容注明具体要求)
2. 实验工作原理与理论分析(根据实验内容注明具体要求)
3. 实验过程描述和实验结果分析(根据实验内容注明具体要求)
4. 实验结论(根据实验内容注明具体要求)
5. 个人体会和建议(根据实验内容注明具体要求)

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

1. 如何调整采集图像左右边线使图像中心居中(对齐车身中线)。
2. 采集的数据应该如何作为电机的反馈来控制电机的动作。

十、参考资料

1. 闫琪,王江,熊小龙,朱德亚,邓飞贺,朱锐,金立编著.智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通.北京航空航天大学出版社.
2. 蔡述庭主编.“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于 S12XS 和 Kinetis K10.北京航空航天大学出版社 2016 年 6 月.
3. 潘峰,冯占英,沈允中,耿光瑞主编.全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M].中国铁道出版社.
4. 董刚.智能小车运动控制系统研制[D].西安科技大学硕士论文.2009 年 4 月.
5. 黄开胜、金华民、蒋狄南著. 韩国智能模型车技术方案分析. 卓晴、黄开胜、邵贝贝等编. 学做智能车—挑战“飞思卡尔”杯. 北京: 北京航空航天大学出版社 2007.

实验五 智能车方向控制实验

一、实验目的

1. 学习结合线性 CCD 信息处理控制电机达到控制智能车方向的效果。

二、实验内容

1. 方向控制实验

实验要求：

软件编写：编写软件代码，在实现赛道中心线位置提取的基础上，根据赛道中心线位置计算电机 PWM 值，使电机能够根据赛道中线位置进行转速调整，完成转弯操作。完成软件编写和烧写等工作，利用上位机或者 OLED 屏幕来调试程序，在实际赛道上运行程序，检测电机能否根据算法的输出达到改变小车方向的效果。

硬件连接：与前几次实验相同

2. 方向控制仿真

使用 simulink 搭建方向控制模型，通过仿真寻找适合的参数进行实验验证，达到仿真与实际控制结合的效果。

三、实验设备

1. 计算机
2. 智能创新平台（智能车）
3. 万用表

四、预习要求

1. 智能车方向控制原理
2. PID 算法预习

五、实验原理

1. 采集赛道中心线位置值，设计算法使智能车根据中心线位置完成转向操作

两轮车控制转向是通过两轮差速来完成的，现在通常是用 PD 算法计算和控制电机，P 是比例，D 是微分，通过调节 P 值的大小可以改变系统的响应速度，D 值可以

对转向值的调节进行适当的修正。

实验过程中注意对电机采取保护。

六、实验步骤

1. 自行编写代码，完成验证性实验和设计性实验。
2. 可使用上位机软件帮助修改参数，达到最好效果。
3. 使用 Simulink 搭建控制模型，仿真与实际调试相结合，

七、注意事项

- 1.实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。
- 2.使用下载器烧录程序时应当注意接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。
- 3.注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。
4. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证（C 语言或汇编语言都可），按照所给要求进行硬件连接，最后观察程序运行结果。对于设计性实验，可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展，最终按照要求独立完成设计性实验。
5. 实验成绩=考勤（10%）+实验过程及结果（60%）+实验报告（30%）。
6. 报告雷同者，报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容：

- 1.本实验所涉及工程问题描述（根据实验内容注明具体要求）
- 2.实验工作原理与理论分析（根据实验内容注明具体要求）
- 3.实验过程描述和实验结果分析（根据实验内容注明具体要求）
- 4.实验结论（根据实验内容注明具体要求）
- 5.个人体会和建议（根据实验内容注明具体要求）

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

- 1.智能车循迹时如何设置前瞻量？与哪些因素有关？
- 2.赛道信息提取完成后是否需要处理所有像素点？

十、参考资料

- 1.闫琪，王江，熊小龙，朱德亚，邓飞贺，朱锐，金立编著.智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通.北京航空航天大学出版社.
- 2.蔡述庭主编.“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于 S12XS 和 Kinetis K10.北京航空航天大学出版社 2016 年 6 月.
- 3.潘峰，冯占英，沈允中，耿光瑞主编.全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M].中国铁道出版社.
- 4.董刚.智能小车运动控制系统研制[D].西安科技大学硕士论文.2009 年 4 月.
- 5.黄开胜、金华民、蒋狄南著．韩国智能模型车技术方案分析．卓晴、黄开胜、邵贝贝等编．学做智能车—挑战“飞思卡尔”杯．北京：北京航空航天大学出版社 2007.

实验六 整车控制实验（1）

一、实验目的

1. 学习结合各个控制系统的控制信号输出，达到控制智能车效果。
2. 通过实验了解智能车整体控制系统。

二、实验内容

1. 整车联调实验

实验要求：

软件编写：编写软件代码，将各个控制环的输出结果进行归一化处理，最终使智能车能够在不压边线的情况下完整的跑完赛道全程（至少稳定运行一圈），且能够在出现特殊情况（例如翻倒）能够进行保护。最终成绩按照跑完一圈的速度来判定。将之前完成的各个控制环的仿真模型建立联系，进行整车的仿真工作。

2. 速度自动调整算法设计（选做，5分）

设计算法，使小车能够根据赛道信息自动调整运行速度，进入弯道时降低速度，出弯进入直道时加速。（此过程中注意对电机的保护）

三、实验设备

1. 计算机
2. 智能创新平台（智能车）
3. 万用表

四、预习要求

1. 智能车各个模块驱动程序
2. MK60 微处理器的 AD、SCI、IO、PWM 模块
3. PID 算法预习

五、实验原理

1. 采集赛道中心线位置，设计算法提取中心线位置
2. 采集车速，使用 PID 计算 PWM 控制电机驱动力输出

六、实验步骤

4. 自行编写代码，完成验证性实验和设计性实验。
5. 可使用上位机软件帮助修改参数，达到最好效果，每组有四次计时机会，取成绩最好的一次计入总成绩。

七、注意事项

- 1.实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。
- 2.使用下载器烧录程序时应当注意接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。
- 3.注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。
4. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证（C 语言或汇编语言都可），按照所给要求进行硬件连接，最后观察程序运行结果。对于设计性实验，可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展，最终按照要求独立完成设计性实验。
5. 实验成绩=考勤（10%）+实验过程及结果（60%）+实验报告（30%）。
6. 报告雷同者，报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容：

- 1.本实验所涉及工程问题描述（根据实验内容注明具体要求）
- 2.实验工作原理与理论分析（根据实验内容注明具体要求）
- 3.实验过程描述和实验结果分析（根据实验内容注明具体要求）
- 4.实验结论（根据实验内容注明具体要求）
- 5.个人体会和建议（根据实验内容注明具体要求）

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

- 1.赛道信息处理也就是边线位置信息提取使用阈值法和跳变沿法提取各有什么优缺点？

2.智能车循迹时如何设置前瞻量？与那些因素有关？

3.赛道信息提取完成后是否需要处理所有像素点？

十、参考资料

1.闫琪，王江，熊小龙，朱德亚，邓飞贺，朱锐，金立编著.智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通.北京航空航天大学出版社.

2.蔡述庭主编.“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于 S12XS 和 Kinetis K10.北京航空航天大学出版社 2016 年 6 月.

3.潘峰，冯占英，沈允中，耿光瑞主编.全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M].中国铁道出版社.

4.董刚.智能小车运动控制系统研制[D].西安科技大学硕士论文.2009 年 4 月.

5.黄开胜、金华民、蒋狄南著．韩国智能模型车技术方案分析．卓晴、黄开胜、邵贝贝等编．学做智能车—挑战“飞思卡尔”杯．北京：北京航空航天大学出版社 2007.

实验七 整车控制实验（2）

一、实验目的

1. 学习结合各个控制系统的控制信号输出，达到控制智能车效果。
2. 通过实验了解智能车整体控制系统。

二、实验内容

1. 上位机应用实验

实验要求：

软件编写：结合之前实验应用到上位机软件的部分编写代码，筛选智能车运行过程中有用的信息（如速度、实时偏移量）等发送到上位机或者 OLED 屏幕进行显示，并借此帮助调节智能车。

2. 整车联调实验

实验要求：

软件编写：编写软件代码，将各个控制环的输出结果进行归一化处理，最终使智能车能够在不压边线的情况下完整的跑完赛道全程（至少稳定运行一圈），且能够在出现特殊情况（例如翻倒）能够进行保护。最终成绩按照跑完一圈的速度来判定。将之前完成的各个控制环的仿真模型建立联系，进行整车的仿真工作。

3. 速度自动调整算法设计（选做，5 分）

设计算法，使小车能够根据赛道信息自动调整运行速度，进入弯道时降低速度，出弯进入直道时加速。（此过程中注意对电机的保护）

三、实验设备

1. 计算机
2. 智能创新平台（智能车）
3. 万用表

四、预习要求

1. 智能车各个模块驱动程序

2.MK60 微处理器的 AD、SCI、IO、PWM 模块

3.PID 算法预习

五、实验原理

1.采集赛道中心线位置 AD 值，设计算法提取中心线位置

2.采集车速，使用 PID 计算 PWM 控制电机驱动力输出

六、实验步骤

1. 自行编写代码，完成验证性实验和设计性实验。
2. 可使用上位机软件帮助修改参数，达到最好效果，每组有四次计时机会，取成绩最好的一次计入总成绩。

七、注意事项

- 1.实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。
- 2.使用下载器烧录程序时应当注意接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。
- 3.注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。
4. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证（C 语言或汇编语言都可），按照所给要求进行硬件连接，最后观察程序运行结果。对于设计性实验，可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展，最终按照要求独立完成设计性实验。
5. 实验成绩=考勤（10%）+实验过程及结果（60%）+实验报告（30%）。
6. 报告雷同者，报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容：

- 1.本实验所涉及工程问题描述（根据实验内容注明具体要求）
- 2.实验工作原理与理论分析（根据实验内容注明具体要求）
- 3.实验过程描述和实验结果分析（根据实验内容注明具体要求）
- 4.实验结论（根据实验内容注明具体要求）

5.个人体会和建议（根据实验内容注明具体要求）

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

- 1.赛道信息处理也就是边线位置信息提取使用阈值法和跳变沿法提取各有什么优缺点？
- 2.智能车循迹时如何设置前瞻量？与那些因素有关？
- 3.赛道信息提取完成后是否需要处理所有像素点？

十、参考资料

- 1.闫琪，王江，熊小龙，朱德亚，邓飞贺，朱锐，金立编著.智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通.北京航空航天大学出版社.
- 2.蔡述庭主编.“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于 S12XS 和 Kinetis K10.北京航空航天大学出版社 2016 年 6 月.
- 3.潘峰，冯占英，沈允中，耿光瑞主编.全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M].中国铁道出版社.
- 4.董刚.智能小车运动控制系统研制[D].西安科技大学硕士论文.2009 年 4 月.
- 5.黄开胜、金华民、蒋狄南著．韩国智能模型车技术方案分析．卓晴、黄开胜、邵贝贝等编．学做智能车—挑战“飞思卡尔”杯．北京：北京航空航天大学出版社 2007.

实验八 分组结课报告

一、实验目的

- 1.整合分析智能车实验学习内容
- 2.加深对智能车实验的理解

二、实验内容

分组汇报实验成果

实验要求：在完成实验的基础上深化对智能车控制的理解并进行成果汇报，制作 PPT 并进行演讲。要求如下：

- (1) 明确分工并写入 PPT 和实验报告，演讲时组内所有成员分别汇报自己完成的部分。
- (2) 原理部分可以略讲，主要讲述各模块和整体所用的控制方法。
- (3) 展示自己搭建的仿真模型（可截图展示）。
- (4) 提出对于计算机测控实验的意见和建议。

三、实验设备

1. 计算机
2. 大屏幕

四、预习要求

- 1.提前准备好讲稿和 PPT
- 2.掌握自己所负责部分的知识

五、实验原理

无

六、实验步骤

各组按顺序演讲（小组顺序即为智能车编号，从小到大依次演讲）。

七、注意事项

- 1.实验平台接口较为脆弱，进行硬件连接时注意不要弄坏接口。
- 2.使用下载器烧录程序时应当注意接口正反，烧录完毕后应点击 IAR 软件中的停止运行按钮再断开连接。
- 3.注意锂电池正负极接口不要接反，红线接红线，黑线接黑线；如果需要对锂电池进行充电，应使用专用充电器，同样要注意正负极不要接反。
4. 对于验证性实验可以根据所给的程序进行验证（C 语言或汇编语言都可），按照所给要求进行硬件连接，最后观察程序运行结果。对于设计性实验，可以结合前面两个验证性实验的程序进行扩展，最终按照要求独立完成设计性实验。
5. 实验成绩=考勤（10%）+实验过程及结果（60%）+实验报告（30%）。
6. 报告雷同者，报告成绩为零分。

八、实验报告要求

实验报告中应包括以下内容：

- 1.本实验所涉及工程问题描述（根据实验内容注明具体要求）
- 2.实验工作原理与理论分析（根据实验内容注明具体要求）
- 3.实验过程描述和实验结果分析（根据实验内容注明具体要求）
- 4.实验结论（根据实验内容注明具体要求）
- 5.个人体会和建议（根据实验内容注明具体要求）

实验报告模板可参照附件 1。

九、课后思考题

无

十、参考资料

- 1.闫琪，王江，熊小龙，朱德亚，邓飞贺，朱锐，金立编著.智能车设计“飞思卡尔杯”从入门到精通.北京航空航天大学出版社.
- 2.蔡述庭主编.“飞思卡尔”杯智能汽车竞赛设计与实践--基于 S12XS 和 Kinetis K10.北京航空航天大学出版社 2016 年 6 月.
- 3.潘峰，冯占英，沈允中，耿光瑞主编.全国大学生飞思卡尔智能车大赛应用详解[M].中国铁道出版社.

- 4.董刚.智能小车运动控制系统研制[D].西安科技大学硕士论文.2009 年 4 月.
- 5.黄开胜、金华民、蒋狄南著. 韩国智能模型车技术方案分析. 卓晴、黄开胜、邵贝贝等编. 学做智能车——挑战“飞思卡尔”杯. 北京: 北京航空航天大学出版社 2007.

附件 1 实验报告模板



成 绩

北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

实验报告

院（系）名称	自动化科学与电气工程学院
专 业 名 称	自动化
学 生 学 号	XXXX
学 生 姓 名	XXXX
指 导 教 师	XXXX

2019 年 4 月

实验一 *****

(三号，黑体；居中；单倍行距；段前、段后各 0.5 行)

实验时间_____ 实验编号_____ 同组同学_____

(“实验编号”填写实验所用计算机编号；若有同组实验同学，需在“同组同学”处填写其姓名，没有则填无)

一、实验背景 (四号黑体；左对齐；单倍行距；段前、段后 0.5 行)

1. 描述实验所涉及的工程问题。
2. 小四号，宋体，英文及字母 Times New Roman 体；首行缩进 2 字符；两端对齐；1.5 倍行距。

二、实验原理

1. 分析实验的工作原理。
2. 小四号，宋体，英文及字母 Times New Roman 体；首行缩进 2 字符；两端对齐；1.5 倍行距。

三、实验过程与结果

1. 写清实验步骤、所用实验方法与得到的实验结果。
2. 小四号，宋体，英文及字母 Times New Roman 体；首行缩进 2 字符；两端对齐；1.5 倍行距。

四、结果分析与实验结论

1. 对实验所得结果进行数据分析处理，推导、总结实验结论。
2. 小四号，宋体，英文及字母 Times New Roman 体；首行缩进 2 字符；两端对齐；1.5 倍行距。

五、收获、体会及建议

1. 总结实验收获与个人体会；欢迎同学提出改善实验课程的建议。
2. 小四号，宋体，英文及字母 Times New Roman 体；首行缩进 2 字符；两端对齐；1.5 倍行距。

注意：括号（）内为说明事项，最终实验报告中须删除！