

实验二 直线竞速车

实验目的：

- 掌握 LEGO EV3 控制器的编程开发及调试方法
- 了解并应用各类传感器的功能
- 掌握电机的控制算法

1. 实验内容

1) 设计并搭建一辆竞速小车，编程并实现：红灯停、绿灯行、黄灯亮了缓一缓，最后参加 3 米直线竞速赛。

2) 了解电机和传动装置的控制原理，学习如何为机器人设计控制算法。

3) 了解传感器：熟悉几种常见传感器的工作原理和使用场景。

4) 参考实验资料，设计一个竞速车并完成演示，**包括但不限于**以下功能：

- 感知机器人状态或环境信息；（2分）
- 转动或移动；（1分）
- 通过竞速成绩。（2分）

每项功能点记1点，满分5分。

2. 实验预习及准备

1) 自行组队，两人一组，**请自带笔记本**。

2) 查找资料，设计机器人小车的主体结构。

3. 注意事项

1) 请妥善保管**锂电池**。完成实验后，请将锂电池拆下放到**指定区域**充电。

2) 实验时，请先检查各模块连线，确认无误后再按下程序块的电源键；当需要插拔程序块和电脑的数据线、连接传感器、电机等操作时，尽量先关机（程序块）再插拔，不要带电插拔。

3) 当传感器或电机状态异常，请尝试重启程序块，或重启后再重新下载源代码。

4) 实验过程中，注意保持操作空间，在遇到器材问题时，举手示意老师，禁止私下交换程序块和零配件。

5) 实验完成后，举手示意老师：验收->关机->电池充电->整理器材->登记成绩->离开教室。

注意：1 请勿反复下载程序，反复烧写会缩短程序块的使用寿命。点击编程软件的“下载”或“下载并运行时”后，程序就烧写在程序块中，这时可以拔掉程序块和电脑连接线，直接用方向键和确认键运行程序。

2 长按屏幕下方的电源键开机，如果再次长按，用方向键按照屏幕提示即可关机。



4. 实验原理

设计一辆乐高小车，参加 3 米直线赛跑，成绩计为：时间名次+刹车距离名次（说明：跑完全程的时间越短越好&&刹车距离越短越好，每个组最多跑三次）。

我们将从测距、电机控制、双电机协同控制三个问题进行分析。

3.1 测距

机器人测距的技术有哪些呢？我们知道机器人对环境的感知有两种：外部环境的感知和自身信息的感知。首先，我们利用 LEGO EV3 提供的传感器，通过终点线设置的目标物，感知外部环境的信息测量跑道和终点线。

超声波传感器：通过发射超声波并接收反射信号，通过发射和接收到信号的时间差来确定与目标之间的距离。超声波的频率在 40kHz~180kHz 之间，方向较为集中，通常可以看成是喇叭与话筒的组合：工作时，超声波传感器先发射声波信号，同时触发计数器，当接收器接收到反射信号时，将计数器同时关停，这段时间差被称为飞行时间(Time of flight ,TOF)，用 t_d 表示，因此距离 $d = \frac{C_{air} * t_d}{2}$ 。其中， C_{air} 代表声音的传播速度，空气中约 340m/s，水中约 1500m/s。需要注意：

- 1、最大距离：超过这个距离就不准确了。
- 2、盲区：紧靠传感器前的一段距离，由于信号的 TOF 过短，特别短的距离测得的数据也是不可靠的。
- 3、反射：超声波传感器的声波会被软的或不规则的表面吸收，不会返回任何数据；另

外，声波的发射束可以看成是一个圆锥体，方向相对集中，在这个圆锥体之外的目标也不会被检测到。

4、温度：环境温度会影响测量数据的准确性。

LEGO EV3 的超声波传感器理论上可检测到 50 厘米以内的物体，超过这个距离数据就不准确了，这是不论多贵的传感器都必须要考虑的问题，我们必须在成本和测量范围中进行权衡。另外，过短的距离靠近盲区，也是不准确的。

光学传感器：用目标检测的红外线发射器与接收器非常简单且廉价，在竞赛机器人中经常用来检测目标，而非测距。如一对红外线发射器和接收器用来巡线跟踪；如用一个红外线发射器（D1）和一个光电二极管（D2）组成电路，用来检测竞赛场地上的标志线、或特定的色块。

LEGO EV3 的颜色传感器工作在“反射光线强度”模式下时，可以用来检测赛道边缘，或者设置颜色传感器工作在“颜色”模式下检测不同色块的目标。那么这两种方式有什么不同呢？

3.2 电机

变压调速是直流调速系统的主要方式，通过可控电压给电动机供电，可以改变直流电枢电压来调节电动机的转速。采用电力电子技术的可控直流电源技术有两种，一种是晶闸管相控整流器，一种是直流脉宽调制（PWM）变换器。**这是一种转速开环的调速方法。**

对于 LEGO EV3 的电机来说，它们都在直流电机的基础上封装了嵌入式控制器，可以实现固定角度的旋转，实现对速度、位置的精确控制，我们可以通过编程设置“功率”和“速度”实现对电机的控制。

具体参数如下：

大电机：内置角度传感器，精度 1 度，大型电机每分钟转速为 160-170 转，旋转扭矩为 20 N·cm，失速扭矩为 40 N·cm（更低但更强劲）。

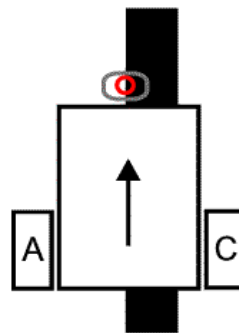
中型电机：内置角度传感器，精度 1 度，每分钟转速为 240-250 转，旋转扭矩为 8 N·cm，失速扭矩为 12 N·cm（更快但弱一些）。

3.3 电机的协同控制

由于是开环控制，电机实际转过的圈数并不能准确地反映轮子行驶过的距离。对于两轮差速的小车模型中，在行驶过一段距离后，在两个电机的控制下小车左右轮的位移差会越来越明显，小车无论如何也走不了直线。

如何让机器人走直线？减小左右轮的位移差呢？可以参考以下两种方法：

假设小车的两个轮子分别用两个电机驱动，分别与控制器的输出端 A、C 连接；前端装有垂直向下的颜色传感器，红圈的部分就是小车能“看到”的部分；带箭头的大长方形表示机器人的其余部分，箭头指示机器人的运动方向。



1 巡线，让机器人沿着线的边缘走。

当光电传感器“看到白色”，我们知道机器人在线边缘（线）的左边，当光电传感器“看到黑色”，我们知道机器人在线边缘的右边（在线上）。因为机器人跟随的是线条的左边，因此这种方式被称为“左手法则”。

2 控制偏航角度。

我们在机器人的中心位置上安装陀螺仪，检测到机器人的偏航角偏左，就左轮加速，偏航角偏右，就右轮加速，当偏航角为 0 时，机器人就是直线行驶的。

5. 实验步骤

通过组队结成学习小组，以实际问题为研究对象，学会查找、阅读科技文档、设计图纸等技术文件，通过查找文献、技术文档、分析测试等方法对复杂的控制系统工程问题进行分析，结合机器人感知-决策系统设计，自行设计一个完整的机器人控制系统，完成实验内容，培养创新精神、工匠精神和服务意识。

任务一：测试程序块、电机和传感器，熟悉编程和开发环境。

1、实验前，先检查实验箱是否完备：

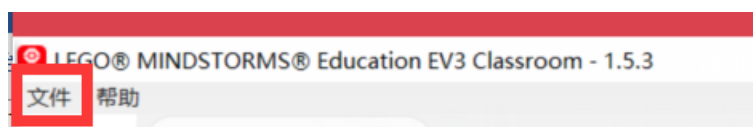
电机：2 个大电机、1 个中电机

传感器：2 个触动传感器、1 个超声波传感器、1 个颜色传感器、1 个 1 个陀螺仪
如不符，举手示意任课教师。

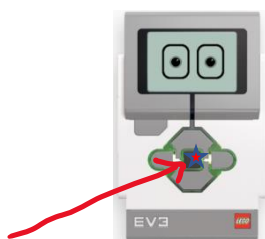
2、控制器（LEGO EV3 程序砖）、传感器、电机性能测试：

将**颜色传感器**连接在程序砖输入端口 1，将**大电机**连接在程序砖输出端口 D，**注意**，接线时，按下水晶头的尾巴插入端口，听到清脆的“喀哒声”，轻拽连接线，确认连接完好。

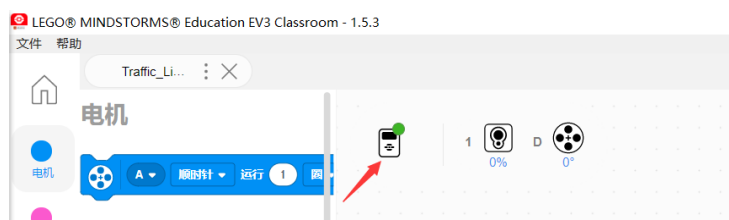
3、打开 LEGO EV3 Classroom 软件，点击“文件”->“新建项目”，新建一个编程文件，重命名为“Red_Stop”。





4、将程序块连接在开发电脑上，再按下程序块的开机键（方向键的中键）。




5、观察 LEGO EV3 Classroom 程序开发界面，你有什么发现？



6、观察到 LEGO EV3 Classroom 程序开发界面上，显示的信息有如下含义：

主机当前的状态  绿色表示开发电脑已正确连接了程序块， 红色表示开发电脑未连接程序块。

颜色传感器连在了输入端口 1，电机连接在输出端口 D。

7、点击  观察连接在程序块上传感器和电机的工作状态，需要的时候可以修改它们的工作模式。

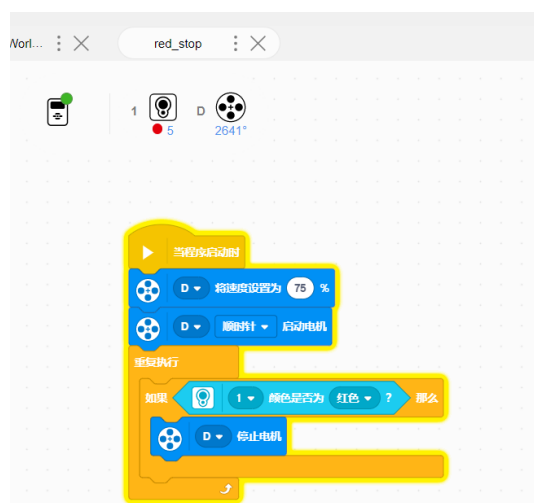
请回答：①颜色传感器有几种工作状态？分别是什么？

②电机的参数有哪些？单位是什么？

③其他传感器呢？陀螺仪传感器有几种工作状态？分别测量的是什么物理量？

请记录在实验报告册上。

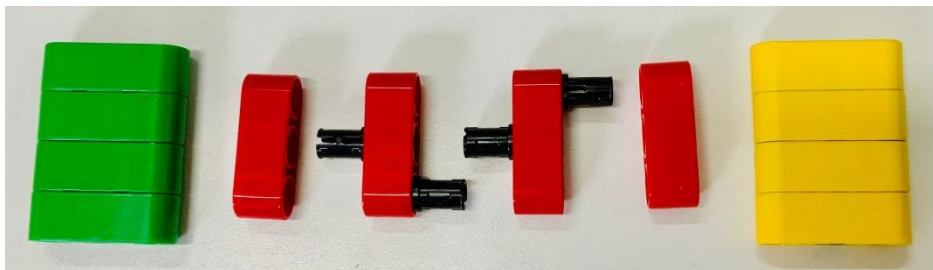
8、将颜色传感器设置在“颜色”模式，返回项目“Red_Stop”，完成以下程序设计，并请分析这段程序的功能是什么？



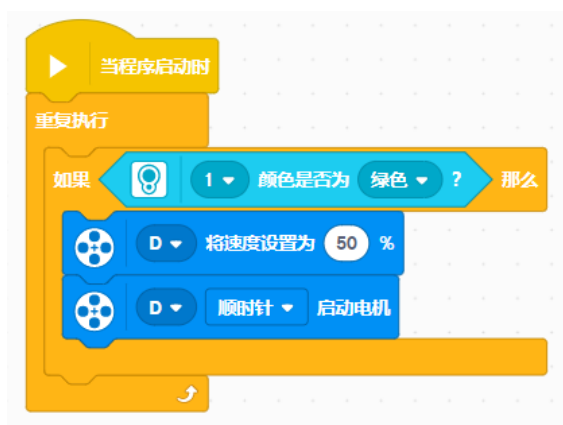
代码段 1

任务二：安装并搭建预习时设计的竞速小车原型，设计并搭建一辆竞速小车，编程并实现：红灯停、绿灯行、黄灯亮了缓一缓。

1、请参考以下方法，组装乐高标准色块**测试小块**，新建项目“Traffic_Light”，先写入“Red_Stop”代码：

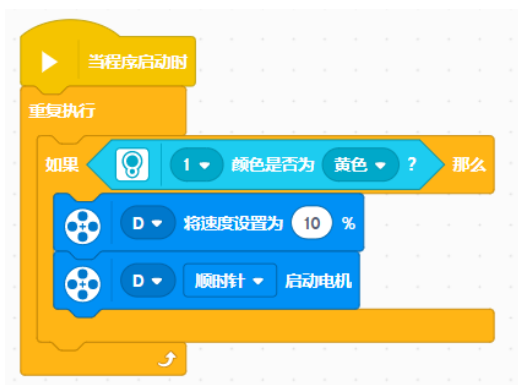


2、再“Traffic_Light”添加如下**代码段 2**，并请分析这段程序的功能是什么？



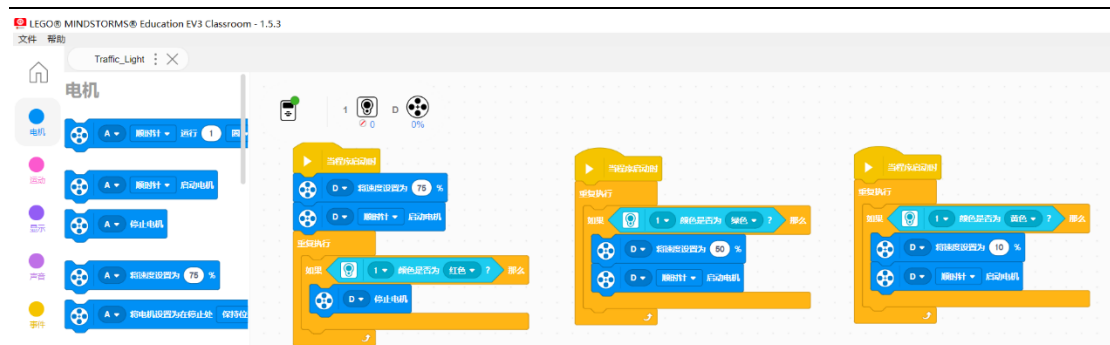
代码段 2

3、再“Traffic_Light”添加如下**代码段 3**，并请分析这段程序的功能是什么？



代码段 3

4、完整的“Traffic_Light”项目如下，下载并执行。试用**测试小块**，请说明它实现的功能④思考题。请记录在实验报告册上。



5、参考例程，安装并搭建预习时设计的竞速小车原型，设计并搭建一辆竞速小车，编程并实现：红灯停、绿灯行、黄灯亮了缓一缓。

6、完成这部分的任务，并回答问题记录在实验报告册上。

任务三：设计并搭建一辆竞速小车实现终点线检测，编程并测试。

1、参考代码段4，使用里程计，通过控制电机控制功率或运行特定时间或进行指定数量的旋转，控制小车停在终点线附近。思考题：如何在保持竞技速度的同时准确地停在终点线上？



代码段 4



代码段 5

2、参考代码段4，使用超声波传感器，通过设置标志位，控制小车停在终点线附近。

3、用 EV3 颜色传感器的“颜色”模式检测终点线。请例程代码段 5，在实验报告上记录你们的程序，并记录 3 米竞速终点线测试的效果。

4、用 EV3 颜色传感器的“反射光”模式检测终点线。

首先设置颜色传感器的工作在“反射光模式”下，

传感器测量范围已经经过了归一化处理，为 0(极暗)到 100(极亮)。

理论上，白色跑道的反射光强度是_____黑色部分的反射光强度是_____

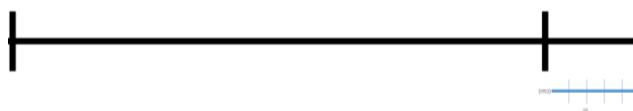
实际上，白色跑道的反射光强度是_____黑色部分的反射光强度是_____

根据实际测量的传感器阈值，参考例程**代码段 5**，在实验报告上记录你们组的程序，并记录 3 米竞速终点线测试的效果。

任务四：设计并搭建一辆竞速小车参加竞速赛，编程并实现。

1、参加 3 米直线赛跑，你们组的竞速小车能否停止在 3 米线处？如果能，请拍下小车在终点处的照片，并回答以下问题：

- ①计时：小车跑完 3 米的时间是_____精确到 0.1 秒。
- ② 小车是使用什么传感器或方法实现停车的，原理是什么？
- ③ 小车是否偏离跑道？



2、竞速小车的成绩计为：时间名次+刹车距离名次+偏离直线距离名次，每组有三次登记成绩的机会。**说明：**跑完全程的时间越短越好，刹车距离的绝对值越短越好，偏离直线赛道的距离越小越好。

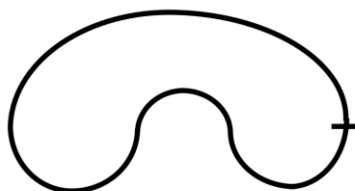
成绩登记：

测试序号	时间(秒)	名次	刹车距离(厘米)	名次	偏移跑道距离(厘米)	名次	总成绩	分数
1								
2								
3								

6. 完成思考题和实验报告。

7. 预习：

设计一辆乐高小车，沿环形赛道赛跑，成绩计为：顺时针+逆时针计时。



赛道示意图

拓展阅读：

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, 即时定位与地图构建), 自 1988 年被提出以来, 主要用于研究机器人移动的智能化。SLAM 问题可以描述为: 机器人在未知环境中从一个未知位置开始移动, 在移动过程中根据位置估计和传感器数据进行自身定位, 同时建造增量式地图。

对于完全未知的室内环境, 配备视觉传感器、激光雷达等核心部件后, SLAM 技术可以帮助机器人构建室内环境地图, 助力机器人的自主行走。根据所采用的核心部件不同, 在室内环境下, 常用的 SLAM 技术有: Wifi-SLAM、激光雷达 SLAM 和视觉 SLAM。超声波雷达由于成本低廉, 多用于倒车测距, 但由于精度较差, 测量范围非常有限, 目前已被特斯拉淘汰。

利用智能手机中的多种传感设备进行定位, 包括 Wifi、GPS、陀螺仪、加速计和磁力计, 并通过机器学习和模式识别等算法将获得的数据绘制出准确的室内地图。该技术的提供商已于 2013 年被苹果公司收购, 苹果公司是否已经把 Wifi-SLAM 的科技用到 iPhone 上, 使所有 iPhone 用户相当于携带了一个绘图小机器人, 这一切暂未可知。毋庸置疑的是, 更精准的定位不仅有利于地图, 它会让所有依赖地理位置的应用 (LBS) 更加精准。另外, 家用的扫地机器人等也普遍使用 wifi 技术进行初步见图。

激光雷达就技术本身而言, 已相当成熟, 但 Lidar 成本昂贵。Google 无人驾驶汽车正是采用该项技术, 车顶安装的激光雷达来自美国 Velodyne 公司, 售价高达 7 万美元以上。这款激光雷达可以在高速旋转时向周围发射 64 束激光, 激光碰到周围物体并返回, 便可计算出车体与周边物体的距离。计算机系统再根据这些数据描绘出精细的 3D 地形图, 然后与高分辨率地图相结合, 生成不同的数据模型供车载计算机系统使用。激光雷达占去了整车成本的一半, 这可能也是 Google 无人车迟迟无法量产的原因之一。

室内的 VSLAM 仍处于研究阶段, 远未到实际应用的程度。一方面, 计算量太大, 对机器人系统的性能要求较高; 另一方面, VSLAM 生成的地图 (多数是点云) 还不能用来做机器人的路径规划, 需要进一步探索和研究。