

Maze-Breaker 第二组 Final Report

敖恺¹，江柯垚²，姜跃琳³，解炎⁴，张善⁵

(以字母读音顺序排列，排名不分先后；1. 南方科技大学树德书院，广东省深圳市，邮编:518055. 2. 南方科技大学致仁书院，广东省深圳市，邮编:518055. 3. 南方科技大学树德书院，广东省深圳市，邮编:518055. 4. 南方科技大学致新书院，广东省深圳市，邮编:518055. 5. 南方科技大学树仁书院，广东省深圳市，邮编:518055.)

摘要：兼有设计与功能，Maze-Breaker 小组为单位制造一辆单片机竞速四驱小车。车身使用 SolidWorks 建模，光固化打印上漆，利用巡线传感器、超声传感器，借助算法，使得小车对于未知 6*6 地图完成探路与优化两次巡航。

关键词：单片机；传感器；路径优化算法；工程制图。

目录：

1. 设计	2. 知识应用
a. 设计综述	ii. 传感器选择
b. 外观设计	1. 超声
i. 外形	a. 知识获取
1. 知识获取	b. 应用与选择
2. 知识应用	2. 巡线
ii. 配色	a. 知识获取
iii. 材质	b. 应用与选择
1. 知识获取	c. 迭代
2. 知识应用	iii. 各元器件模块排布
c. 内部结构设计	iv. 接线形式
i. 车轮选择、转向系统选择、驱动选择	1. 知识获取
1. 知识获取	2. 知识应用
2. 电控	

- a. 控制板迭代
 - i. 知识获取
 - ii. 知识应用
- b. 超声传感器
 - i. 知识获取
 - ii. 知识应用
- c. 巡线传感器
 - i. 知识获取
 - ii. 知识应用
- d. 电机驱动
 - i. 基本行进
 - 1. 知识获取
 - 2. 知识应用
 - 3. 误触发的问题与解决方案
 - ii. PID 内环
 - 1. 知识获取
 - 2. 知识应用
 - iii. 陀螺仪
- 1. 知识获取
- 2. 知识应用
- 3. 接口融合、串口通信上遇到的问题与解决方案
- 3. 算法
 - a. 探路阶段
 - b. 数据处理
 - c. 优化路径
- 4. 心得体会与反思
 - a. 各成员心得
 - i. 敖恺
 - ii. 江柯垚
 - iii. 姜跃琳
 - iv. 解炎
 - v. 张善
 - b. 对于最终比赛的反思
- 5. 贡献比
- 6. 致谢

正文：

- 1. 设计

a. 设计综述

三个关键词：速度快、跑车造型、原创算法。

b. 外观设计

i. 外观设计综述

外部结构设计即车身外壳设计。小车的设计以稳定快速完成破解循环迷宫为目标，为实现这个目标，我们为小车制定了三个关键词：稳定、轻便和智能。车身外壳以跑车为原型，依据内部结构进行设计迭代，在满足功能实现的基础上，尽量实现缩小体积、轻量化的目标并提升外观的美观度。

ii. 外形

1. 知识获取

为实现小车的流线型设计，在学习使用 SolidWorks 的过程中，我总结出了两种方法。其一为曲线建模再进行加厚转化为实体；其二为绘制小车的剖面图进行放样。对复杂表面，法一的工作量较大。实现抽壳效果有三种方法：实体抽壳、切除或等距实体。本小车表面不规则，使用法一易遇到曲率问题而导致抽壳失败；使用法二则会导致小车壁厚不同，加工时易发生形变；法三工作量稍大但效果最好。

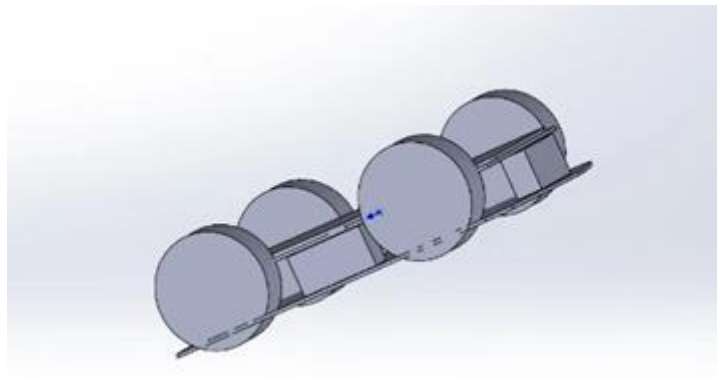
设计方面：跑车是最接近小车设计目标的车型。以跑车为参考，小车外型整体需实现低底盘、扁车身、流线型。

2. 知识应用

a. 迭代过程

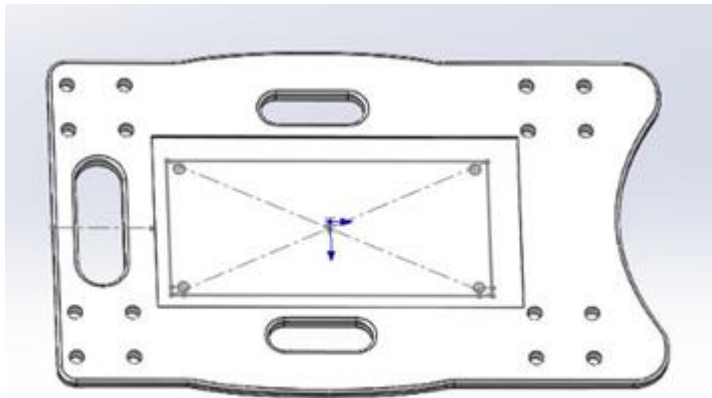
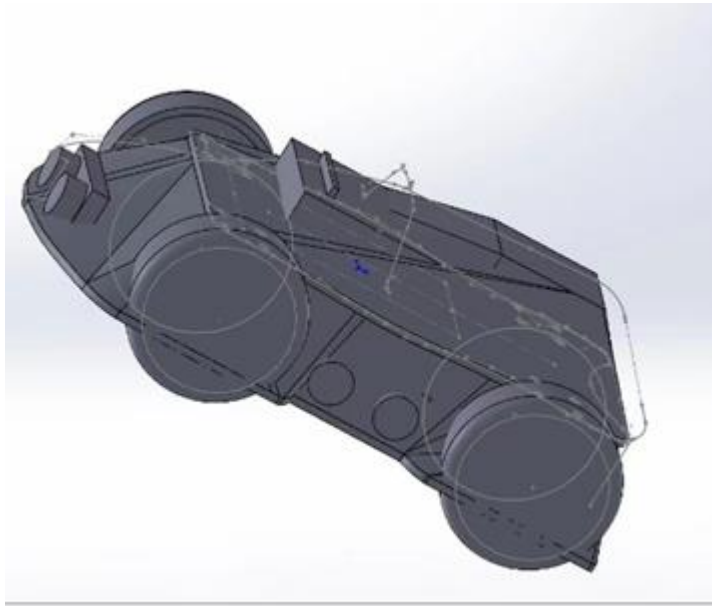
i. 第一代

第一代小车外壳根据第一代内部结构进行设计，直接使用现成的底盘。车体较高，整体较方，在绘制出草图后，内部结构更改，一代小车的设计终止。



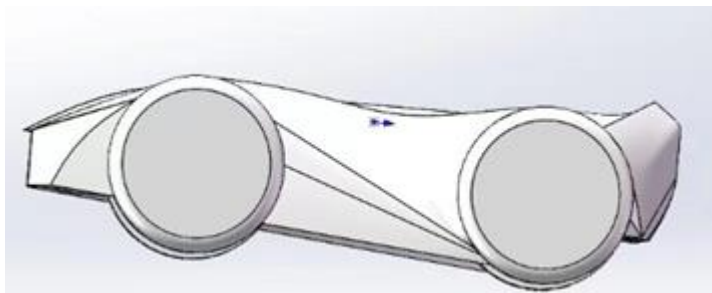
ii. 第二代

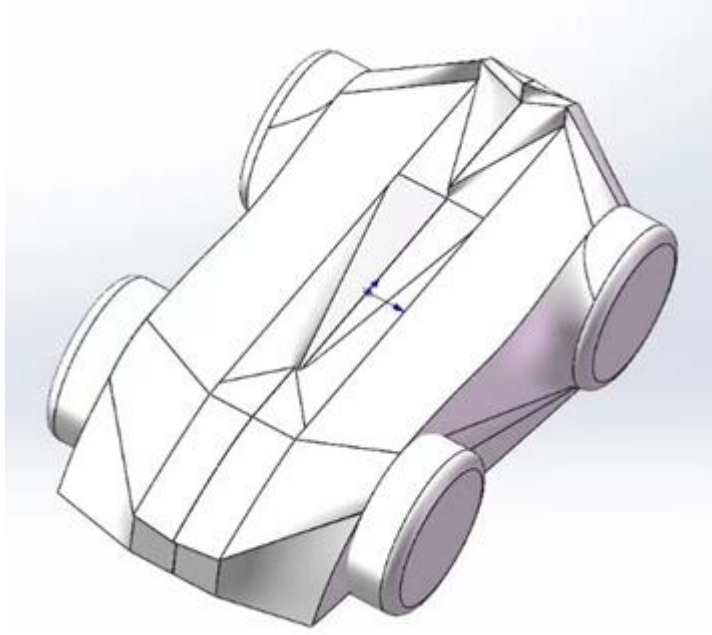
二代小车放弃使用两块电机驱动板，并决定不使用现成底盘，改为根据新的内部结构自行设计底盘。但因为外型与目标的流线型相去甚远，且内部结构再次变动，放弃了二代小车的外壳设计。



iii. 第三代

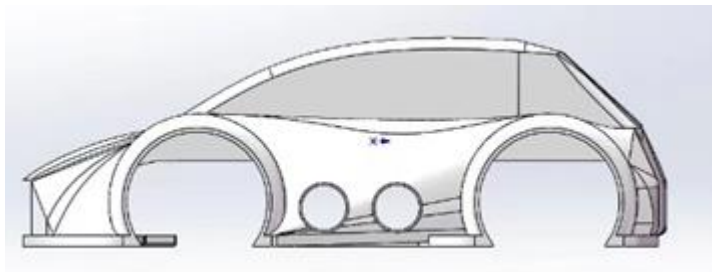
三代小车采用曲面画法，在外形上非常满足我们的要求，但由于工作量太大时间紧张且可调整空间较小，遂放弃。





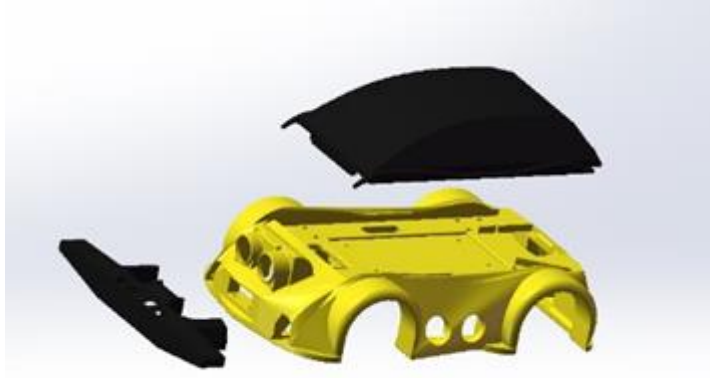
iv. 第四代

四代小车更接近真实汽车，在外型上也较为符合要求。但循线传感器与超声传感器种类与位置发生调整，四代小车仍需迭代。



v. 第五代

第五代小车即最终版小车，比起第四代在车前增加了三个循线传感器，车头的超声传感器上移并根据超声发射角度制作了超声传感器的外壳，该外壳与车身主体一体化，车身主体变化不大。



b. 最终版小车

- i. 车身外壳主要可分为两个部分:车头的“触角”以及车身主体，车身主体包括上壳与下壳。

车身主体采用流线型设计，底板贴近地面，减小风阻，并根据精密测量打造紧密贴合内部结构的外壳以实现充分利用空间、体积最小化的目标。下壳采用底盘车壳一体化设计，消除连接处应力集中问题并便于装配；底盘镂空为接线预留空间。上下壳无钉化连接，利用类榫卯结构限制上壳的前后左右移动，上壳因材料特性在加工中轻度膨胀，使上下壳的连接更加紧密。

车头的“触角”功能为保护车前方的 3 个循线传感器并拓宽循线传感器的探测范围，以防止漂移过弯时偏离路线并尽早修正轨道，提高小车行进过程的容错率。

车尾部的按钮为实现破解迷宫而设计，小车完成第一遍探路后，按下按钮记忆迷宫，开始第二遍破解迷宫。

我们还为小车增加了一些装饰加以点缀。RGB 超声传

传感器结合了功能与美观，多色灯光让小车更炫酷。屏幕使小车更智能，小车处于不同状态时，屏幕上会有不同的变化。小车转弯掉头时，屏幕上会出现相应的图标；出发前，屏幕上会滚动播放小车形象；到达终点，屏幕上则会出现任务完成等字样。小车的比赛状态可视化，比赛过程也更有趣味。小车表面贴有镭射贴纸，在不同角度观察颜色不同。车体多处镂空，既增大小车内部空间，又为小车减轻重量，使其更加轻便。

iii. 配色

最终版车型外壳形似昆虫，在配色方面给了我们一定的启发。结合小车外形，配色以具有视觉冲击感与大气感为目标。在多角度仔细观察小车并利用 Keyshot 进行预览后，我们发现全车纯色稍显单调，色彩过多又有些杂乱花哨。反复比较后，我们决定以黄蜂为原型，确定小车配色为黑金双色，金色明亮鲜艳，黑色沉稳大气，“触角”与上壳同色呼应，让车身少一些单调感。

iv. 材质

1. 知识获取

PLA、ABS 较为便宜，但打印的精度不高，表面粗糙；亚克力板加工难度较大，成本较高；采用普通光固化材料车体的质量会增加，但打印精度高，加工后成品效果更好。

2. 知识应用

对比 PLA，ABS，亚克力板，普通光固化材料等多种 3D 打印材料，并考虑到加工技术的精度问题，最终选择普通光固化材料，车壳表面进行光滑处理，整体呈现金属质感。

c. 内部结构设计

i. 车轮选择、转向系统选择、驱动选择

1. 知识获取

阿克曼转向原理是指在汽车转弯时，内侧轮胎转弯半径小于外侧轮胎，以使得车辆所有车轮垂线均能指向圆心，各车轮受外力的合力方向更加统一，车身过弯姿态就更加顺畅稳定。阿克曼转向机构利用四连杆的相等曲柄，可以使内侧轮的转向角比外侧轮大大约 $2\sim 4$ 度，使四个轮子路径的圆心大致上交会于后轴的延长线上瞬时转向中心，从而让车辆可以顺畅的转弯。

阿克曼转向更近似于我们日常生活中的汽车转向，但是需要差速器来调整车辆内外轮转速差，以减小打滑。

2. 知识应用

初期设计阿克曼转向方案，中期对其进行优劣势分析。优点是更趋近于正常汽车转向，符合我们组对汽车转向的审美要求；缺点是我们比赛是走迷宫，中间会出现三面有墙的死胡同情况，此时阿克曼转向极其困难，需要倒车的程序，此外，差速器制作困难，不使用差速器，打滑程度较大，车辆难以控制，最终我们小组放弃阿克曼转向方案，选择了原地转向的方案。原地转向方案采用正反转的形式，运用编码器使四个轮子转速一样，但方向不同，运用执行时间的不同，从而形成拐弯以及掉头。

ii. 传感器

1. 超声传感器

a. 知识获取

超声波传感器主要材料有压电晶体及镍铁铝合金两类。压电晶体组成的超声波传感器是一种可逆传感器，它可以将电能转变成机械振荡而产生超声波，同时它接收到超声波时，也能转变成电能。

超声波传感器是将超声波信号转换成其他能量信号（通常是电信号）的传感器。超声波是振动频率高于 20 千赫兹的机械波。它具有频率高、波长短、绕射现象小，特别是方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。

双头超声传感器使用一头传感器一直发送超声波，一头传感器一直接收超声波，数据更新快，频率高，盲区小，约为 3cm 左右；单头超声传感器使用一头传感器一边发送超声波，一边接收超声波，在发送与接收之间来回切换，数据更新慢，频率低，盲区大，约为 25cm 左右。

b. 应用与选择

我们小组选择了三个超声传感器，分别放置在小车的前左右三个方向，选择双头超声传感器。同时前超声传感器选择了带有彩灯的超声传感器，可以发出彩光，但是我们未合理分配总功率，使得小车彩灯只有在 reset 时才会亮起，其他时候亮起会导致小车功率过大，重新启动。

2. 巡线传感器

a. 知识获取

巡线传感器通常由一个发光二极管和一个光敏电阻组成。

发光二极管会发出一束红外线，这些红外线会照射到地面上。当红外线照射到地面时，它会被反射回来，然后被光敏电阻接收。光敏电阻会将接收到的光信号转换成电信号，然后将其发送到控制系统中进行处理。

巡线传感器的工作原理可以通过一个简单的实验来进行演示。首先，将一条黑色的线条粘贴在白色的纸上。然后，将巡线传感器放在线条上方，使其能够照射到线条上。当巡线传感器照射到黑色线条时，它会反射回来更多的红外线，这会使光敏电阻接收到更多的光信号。相反，当巡线传感器照射到白色纸张时，它会反射回来较少的红外线，这会使光敏电阻接收到较少的光信号。通过比较接收到的光信号的强度，巡线传感器可以确定机器人或其他自动化设备的位置。

b. 应用与选择

在小车前方放置巡线传感器，保证小车直走时的姿态稳定，保证小车在拐弯，掉头时能够重新回到线上。

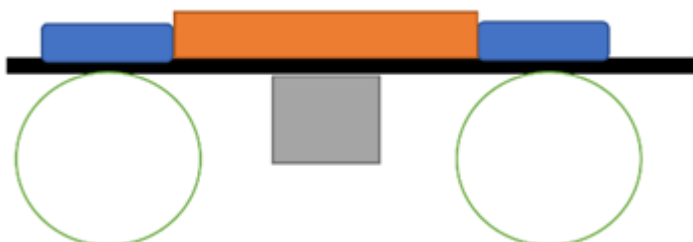
c. 迭代

前期采用四路巡线传感器，后期改采用 4+1+1 路巡线传感

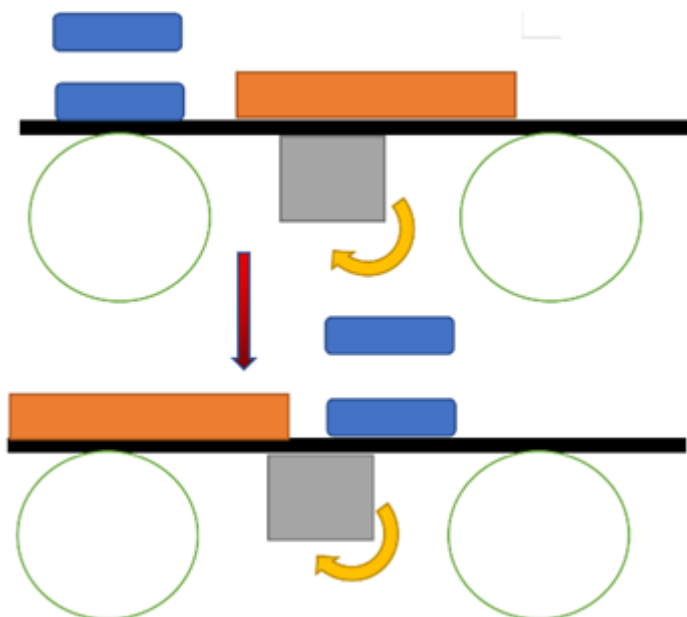
器，即一个四路巡线传感器加上两个单路巡线传感器，有着几乎等同于甚至大于八路巡线传感器的测量长度，测量范围相较于五路巡线传感器和六路巡线传感器更大，小车在拐弯，掉头时容易更快的重新找到线；传感器数量等同于六路巡线传感器，设计程序时，相较于八路巡线传感器，更加简单。

iii. 各元器件模块排布

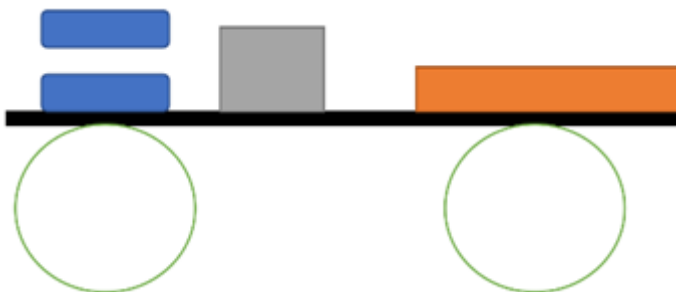
1. 优点：车型较为扁平，符合我们小组跑车的设计思路。
缺点：电路板在中间，数据传输接口在前后方向时数据传输困难，接口在左右方向时，需要额外在侧面开一个口，破坏了外壳的完整性，外形设计较为难看。



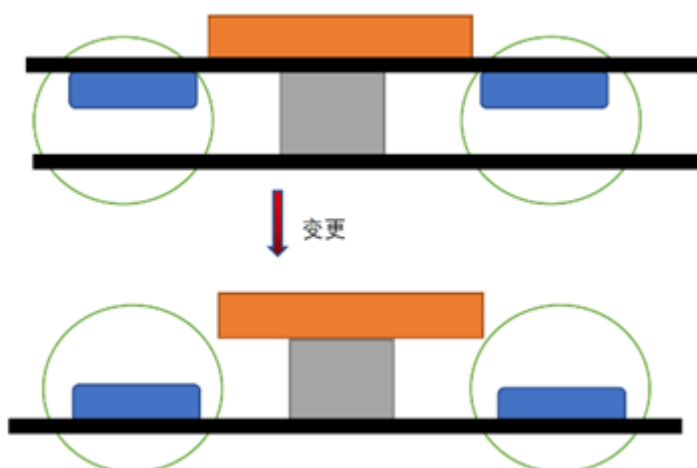
2. 优点：数据传输接口可以在小车的前后方向，使得数据传输更加简单。
缺点：车型不够扁平，违背了最初的要求，以及我们小组跑车的设计思路；同时，电池盒进行了旋转，电池接线变得困难。



3. 优点：数据传输接口可以在小车的前后方向，使得数据传输更加简单；电池盒与电路板相近，电池接线简单。
缺点：车型较高不扁平，车体较长，违背了最初的要求，以及我们小组跑车的设计思路。



4. 优点：单独使用电路板在上方，数据传输较为简单，车型扁平，符合我们小组的设计要求。
缺点：我们小组所购买的轮子直径较小，会使下板直接接触地面，需要重新设计或购买轮子，同时导致外形设计其他尺寸需要计算，工程量较大。



iv. 接线形式

1. 知识获取

杜邦线是一种用于电子电路实验和制作的连接线。它通常由铜线和绝缘套管组成。绝缘套管可以保护铜线不被短路，同时也可以起到固定和插拔连接的作用。杜邦线在电路实验中使用广泛，因为它可以方便、快捷地进行电路连接和断开，与传统电线相比更加灵活、便捷、可靠。另外，杜邦线还可以通过剪切和插接来

适应不同的连接需求，让电路实验更加灵活方便。此外，杜邦线广泛应用于学校电子实验室、DIY 电子制作和机器人编程等领域。

2. 知识应用

由于杜邦线可以方便、快捷地进行电路连接和断开，所以杜邦线接线较为不稳定，容易脱落，需要焊接进行固定。我们重新制作了四路巡线传感器的接线，以及屏幕到电路板的接线，使得这两处原本不稳定的接线位置变得稳定，其他位置还是采用插拔连接，以便可以轻松的更换运行时坏了的零件。

1. 电控

a. 控制板迭代

2. 知识获取

- i. 控制板是驱动及控制电机和各传感器的器件，包括主控芯片，pwm 输出电路，滤波电路，加密芯片等部分。常见的控制板包括 Arduino、树莓派、STM32 等。

3. 知识运用

a. 如何驱动电机？

- i. arduino 套装箱中提供的是 UNO 板以及电机驱动板。
- ii. 一开始使用两块电机驱动板，每块板分别控制两个电机。但由于 UNO 板接口过少，不满足后续开发需求，使用两块驱动板接线复杂且占用空间大，于是将 UNO 板换成接口更多，处理器更强大的 mega2560。并用 mega 板扩展版替代了两块电机驱动板。mega 拓展

板可以直接和 mega 板相连，节省了大量连接线，并且一块拓展板上有四个电机驱动口，可以实现独立控制四个电机，节省空间。

- iii. 在后续开发过程中引入陀螺仪之后发现 PID 不能很好的工作，猜想是所使用陀螺仪的库中存在外部中断口与 PID 冲突。于是另行加入一块 UNO 板控制陀螺仪，并通过串口通信将数据传输至 mega 板。

4. 按钮

1. 知识获取

按钮的内部结构其实相当简单，当按键没按下时候：1, 2 号脚相连，3, 4 号脚相连，按键按下去时候，1, 2, 3, 4 号脚就全部接通。所以接线就很简单啦，1, 2 号引脚挑一个接地，3、4 号引脚挑一个接数字引脚，并且将数字引脚设为输入+高电位。如此，只要读取相关数字引脚的电位，按钮在被按下时会输出低电位，没被按下时会输出高电位。

2. 知识应用

a. 功能

- i. 程序被写入一个变量用来储存按钮被按下的次数，被称为 `bottoncount`，当按钮第一被按下后，会执行走入迷宫的指令，并将 `bottoncount+1`。之后，程序会循环执行左手定则走出迷宫的指令，并在到达终点后自动停止，将 `bottoncount+1`。之后，程序会将第一次的坐标数据进行处理，计算出第二次走迷宫时拐弯点的坐标和转弯方式，并在函数运行完成后通过屏幕显示运行完成。这时候将小车放到迷宫入口处，只需要再次按下按钮，小车就会执行走入迷宫的指令，并将 `bottoncount+1`。之后，程序会循环执行最优路径走出迷宫的程序

b. 应用难点

- i. 首先，按钮的接线方式很简陋，所以有误触发的可能。为了规避这种风险，在程序读取到按钮传入的低电位后，会延时 100ms，只有当再次读到低电位时，才会判定为按下按钮。其次，按钮被按下后会输出持续的低电位，可能会让 `bottoncount` 持续增加。为此，程序设计了一个机制，用电位变化来代替电位状态：当按钮的低电位状态被确认后，会延时 1000ms，只有下一次读取到高电位时，`bottoncount` 才会+1。

c. ssd1306 屏幕

i. 知识获取

1.I2C 协议

I2C 是一种通用的总线协议。对于硬件设计人员来说，只需要 2 个引脚（SCL（时钟数据线），SDA（双向数据线））和极少的连接线和面积，就可以实现芯片间的通讯，对于软件开发者来说，可以使用同一个 I2C 驱动库，来实现实现不同器件的驱动，大大减少了软件的开发时间。极低的工作电流，降低了系统的功耗，完善的应答机制大大增强通讯的可靠性。

2.u8g2

u8g2 是嵌入式设备的单色图形库，支持大量的 OLED 以及 LCD 的控制芯片，包括了 SSD1306、SSD1305 等等。利用 u8g2，可以通过较为简单的代码，实现简单的文字、图形的输出。

在代码中使用 U8g2 库首先需要找到驱动函数，即：U8G2_驱动芯片型号_分辨率_显示器型号_缓存方式_硬或软接口_通信协议（旋转方式、接口引脚）关于缓存方式，分成 1、2、F 三种 如果选 1，就是只保留一页缓存，使用 firstpage(), nextpage() 来循环更新屏幕，需要 128 字节的内存。F 则是保存有完整的显示的缓存（buffer），可以使用所有函数，使用 1024 字节内存。关于硬接口（HW）和软接口（SW），使用软接口实测屏幕刷新率要显著慢于硬接口。在 I2C 接口的形式下，软接口大概 500ms 刷新一次，硬接口大概 22ms 刷新一次。关于旋转方式，U8G1_R0 指的是屏幕不旋转，R1 指的是旋转 90°，R2 指的是旋转 180°，R3 指的是旋转 270°，U8G1_MIRROR 指的是镜像。关于坐标系，坐标原点是左上角。y 轴的正方向往下，x 轴的正方向往右。

打印任何的文字、图像都分成 3 步，清楚缓存、修改缓存、发送缓存。打印文字也有三步走：设置字体，设置坐标。关于字体，u8g2 内置了很多的字库，每个字库都把字体和字号大小给规定好了。且文字会显示在坐标点的右上方。

打印图像首先需要取模，其次需要把数组打印在屏幕上。很多取模软件要求 bmp 格式，最终的输出是 arduino 要求使用的 C 或者 CPP 的符号数组。U8g2 函数提供了 drawXBMP 函数，只需要输入图像的坐标、图片的大小、数组的名字，就可以读取一个灰度数组，其中，0x 是十六进制的前缀，代表了从 0 到 255 的灰度。函数首先会把这个灰度转化成 0-1 的像素，然后再打印出来。

ii. 知识应用

屏幕大小是 0.96 寸，分辨率为 128x64，供电电压是 3.3v-5.5v。屏幕同时具有美观、debug 和提示这三个功能。

在美观方面，程序被写入了直走、左转、右转的图像，以及五个队员绘制的小车图像。这些图像被以字符数组的形式记录在程序

内，字符内部是 16 进制的形式。图像可以在小车行进的过程中被快速播放在屏幕上；在 debug 方面，屏幕可以实时输出一些变量的大小，比如小车巡线传感器传回的数值，从而方便 debug；在提示方面，屏幕会在按下按钮后的合适时机提醒你松开按钮、会在目标函数跑完以后显示成功跑完的字样、会在小车第一次探索迷宫时实时输出小车的坐标、会在小车第二次走出迷宫后输出任务完成的字符和图像。

d. 超声传感器

i. 知识获取

HC-SR04 超声波距离传感器由两个并排的超声传感器组成，一个发送超声脉冲，另一个接收。工作电压 5V，电流 15mA，脉冲频率 40KHz，测距范围 3cm-4m。包含 VCC、GND、Trig、Eco 四个引脚。

先将 trigger（发射端）设置为 LOW 进行初始化，再将其设为 HIGH 10us 发射脉冲，将 echo（接收端）设为 LOW 等待接收，获取 echo 保持为 HIGH 的时长，并依据声速将其换算为距离（cm）。

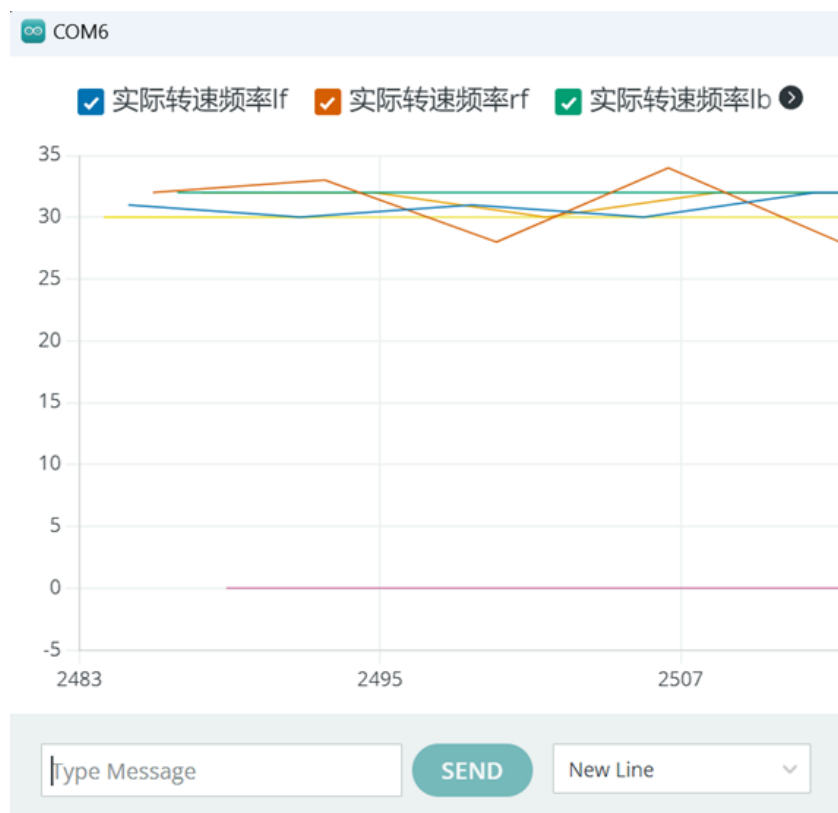
ii. 知识应用

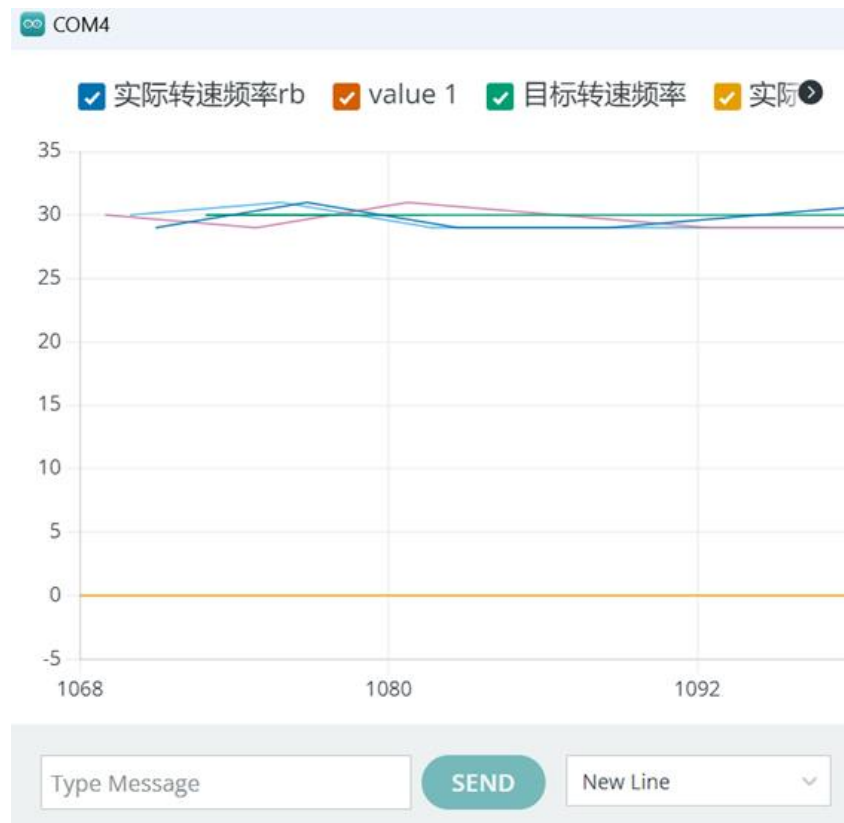
1. 使用方法

利用超声传感器可以获取小车与迷宫墙的距离，我们的小车一共使用了三个超声传感器，分别位于车的两侧和前端。前端超声传感器可以指导在路的尽头进行掉头或转向，同时两侧超声可以辅助巡线将小车保持在道路中间，并且规避掉两侧只有一格的死路。

由于小车使用左手法则，所以左侧超声优先级最高，其次是前侧和右侧。当左侧距离大于 50 时即左转。否则，判断前侧超声是否大于 40，若是则直走，若否，则再判断右侧超声。右侧超声大于 40 则右转，小于 40 则原地掉头。

如下两图：上图为这是直接通过 pwm 占空比进行控制，下图为这是使用了 pid 进行控制。





2. 问题与解决方案

由于迷宫墙的高度限制，超声传感器的位置不能超过墙的高度（部分小组遇到）

期间尝试使用更简洁的单头超声，但其误差达到 25cm，远无法满足项目需求，故放弃。

超声波容易出 bug，准确度不高。利用两侧超声规避只有一格的死路的优化方法由于稳定性太低没有实现。

对我们小车超声传感器最严重的影响是地面。由于地面不平或脉冲没有水平发射，echo 容易收到被地面反射的脉冲，对距离判断影响很大。我们将原本几乎贴地的超声传感器抬高，与地面至少保持 2.5cm 的距离，并将其固定保持有一个向上的倾角以解决此问题。

e. 巡线传感器

i. 知识获取

1. 硬件原理

巡线传感器本质上是红外传感器，有一个红外发射管和一个红外接收管，当发射管的红外信号经反射被接收管接收后，接收管的电阻会发生变化，在电路上一以电压的变化形式体现出来。其中，电阻的变化取决于接收管所接收的红外信号强度，常表现在反射面的颜色和反射面接收管的距离两二方面。在合适的距地距离和角度下，巡线传感即能区分黑色胶带和亚克力板。

2. 硬件使用

单路巡线传感器的接口一共有三个，其中，vcc 和 gnd 接口用来供电，另一个接口则可以传输 0 或 1 的数字信号。

要想在 arduino 中调用巡线传感器，首先需要定义巡线传感器连接的数字引脚，然后将巡线传感器连接的数字引脚设置为输入。最后通过 `digitalRead()` 函数读取巡线传感器的数值。

ii. 知识应用

最终小组使用了一个四路传感器和两个单路传感器。传感器主要起到了两个方面的应用，一方面，程序会通过比较巡线传感器传回来的数值，判断小车现有的姿态，并给出合适的电机控制指令来调整小车的姿态，从而实现巡线的效果。四路巡线传感器在实际运行过程中可以传回来 7 种不同的数值组合，若 0 代表识别到黑线，1 代表识别到白板，则可能的组合分别是 0000，1111，0111，1000，1001，1101，1011，在实际应用中，这 7 种组合会让小车对电机执行进行 7 种不同的控制指令；另一方面，当四路巡线传感器识别到黑线时，即认定小车走完了一格，应当停止前进，程序开始判断并执行下一个指令。

而两个单路传感器被放置在最左侧和最右侧，当传感器出现 011111 或 111110 的数值组合时，即证明小车的位置出现了非常大的误差，程序会执行紧急拉回的代码。

f. 电机驱动

i. 基本行进

1. 知识获取

a. 左手法则概念

当小车在迷宫中碰到岔路口时，若左边有路，则优先左转向左手方向行进；若左边无路前边有路，则进行直走；若左边、前边均无路，右边有路，则进行右转；若前边、左边、右边均无路，则

小车调头后退。

b. 左手法则适用场景

根据拓扑学，如果迷宫的起点和终点都在迷宫外则，则左手法则必定能引导小车走出终点。

2. 知识应用

小车被设置了直走 60cm、直走 38cm，左转 90 度，右转 90 度，倒转 180 度这五种不同的指令，其中，左转 90 度和直走 38cm 被组合在一起，右转 90 度和直走 38cm 被组合在一起。

小车会通过电机编码器得到的脉冲数据计算出小车走过的距离，从而实现对行走距离的控制。当然，由于可能存在的打滑，小车车轮转动的并举并不每一次都恰好为 60cm，因此，当小车识别到水平黑线时，也会，判定为走过了 60cm，从而实现对自身位置的校准。为了减少走出迷宫所花的时间，通过前置巡线传感器，小车能提前进行对下一步该怎么走的判定，从而在转弯时拥有类似行进间转弯的效果，在代码层面的体现即一侧轮胎转速设置为 0 或较小值，另一侧轮胎设置为较大值。由于这样的转弯方式并非原地转弯，小车在转弯后会脱离一块亚克力板的中心，因此，小车的下一次直行只需要前进 38cm，而非 60cm。

在第一次探索迷宫时，小车前行、左转、右转的优先级遵循左手法则：当小车执行完一次指令组合时，会通过超声波传感器的调用得到前方、右方、后方是否有路可走的数据，并根据左手法则判断出下一步应该执行什么指令组合。

3. 场地适应

在具体的比赛场地中，不同亚克力板之间可能由于靠得不够近而出现缝隙，因此，小车可能将这个缝隙判定为黑线，从而出现程序的紊乱。对此，程序做了一些优化。由于缝隙和黑线的本质区别是宽度，当小车识别到 0001 或 1000 或 0000 的传感器数值组合时，会延时 4 毫米，然后进行传感器组合的再次判断，若仍识别到 0001 或 1000 或 0000 的传感器数值组合，才将此时判断为黑线。

ii. PID 内环电机控制

1. 知识获取

a. 开环控制和闭环控制

开环控制和闭环控制是控制系统中的两种基本控制方式。开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程，闭环控制是将输出量直接或间接反馈到输入端形成闭环、参与控制的控制方式。开环控制和闭环控制的区别在于是否有反馈环节。电机控制中闭环的例子，给定占空比 \rightarrow 测转

速 -> 比较实际转速和目标转速 -> 重新调整占空比。

b. PID 算法

PID 算法是工业应用中最广泛算法之一，在闭环系统的控制中，可自动对控制系统进行准确且迅速的校正。位置式 PID 算法计算得到的结果即应该输入的控制值。控制值等于比例系数乘以误差加积分系数乘以误差的积分加微分系数乘以误差的微分。其中误差指的是实际值和目标值的差值。误差项的作用是让实际值迅速逼近目标值，积分项的作用是消除目标值和实际值之间可能存在的稳态误差，微分项则能让实际值从不断震荡到趋于稳定。

增量式 PID 算法即位置式 PID 算法在两边同时取微分，这样即可通过对过去两次误差值的再次利用，实现控制值增量的计算。

c. 中断

中断分成外部中断和内部中断。内部中断也就是时钟中断，能实现恒定周期。外部中断则是程序在感受到特定引口的信号的变化时去执行给定的函数。

中断的本质就是程序跳过当前执行的任务转而去处理别的紧急事件，处理完后又跳回来。如果处理速度够快的话，就相当于多线程处理器了。

d. 编码器

增量式编码器是将设备运动时的位移信息变成连续的脉冲信号，脉冲个数表示位移量的大小。其特点为只有当设备运动时才会输出信号，而且会输出通道 A 和通道 B 两组信号，并且这两组信号之间有 90° 的相位差（ $1/4$ 个周期），同时采集这两组信号就可以计算设备的运动速度和方向。

2. 知识应用

在具体的项目中，硬件方面使用了增量式霍尔编码器，并且利用了四分频：当通道 A 或通道 B 给出的信号发生变化时，程序都会进入外部中断；程序方面，利用了 Mega 板的 Timer5 设置了内部中断，利用 Mega 板的 Timer1 设置了外部中断。电机编码器每接收到一次信号变化就会触发一次外部中断，外部中断内，一个记录脉冲数的变量会通过电机转动方向的判断进行自增或自减。程序每经过 10ms 就会触发内部中断执行一次目标函数。在目标函数内，程序会去读取一次四个编码器记录到的脉冲数，分别计算出四个轮子的实际转速，并将实际转速和目标转速相减计算出误差，并通过增量式 PID 算法计算得出应该赋予电机的 PWM 占空比。

iii. 陀螺仪

1. 知识获取

a. 陀螺仪

陀螺仪，又叫角速度传感器，是一种惯性测量装置，可以用来感测与维持方向。

我们购买的陀螺仪：Mpu6050，由三轴加速度传感器、三轴陀螺仪和一个温度传感器，IIC 通讯口，数据处理器 dmp，存储单元 fifo 等组成。可以获取三轴加速度和三轴角加速度，利用 IIC 通信传给控制板，通过数学运算后获取旋转角度与行驶距离。

b. IIC 通信

I2C(IIC)属于两线式串行总线，由飞利浦公司开发用于微控制器(MCU)和外围设备(从设备)进行通信的一种总线，属于一主多从的总线结构，总线上的每个设备都有一个特定的设备地址，以区分同一 I2C 总线上的其他设备。

物理 I2C 接口有两根双向线，串行时钟线(SCL)和串行数据线(SDA)组成，可用于发送和接收数据，但是通信都是由主设备发起，从设备被动响应，实现数据的传输。

c. 串口通信

串行通讯是指仅用一根接收线(TX)和一根发送线(RX)就能将数据以位进行传输的一种通讯方式。串行通讯比按字节传输的并行通信慢，但是可以在仅仅使用两根线的情况下就能实现数据的传输。

典型的串口通信使用 3 根线完成，分别是地线、发送、接收。由于串口通信是异步的，所以端口能够在一根线上发送数据同时在另一根线上接收数据。串口通信最重要的参数是波特率、数据

位、停止位和奇偶的校验。对于两个需要进行串口通信的端口，

这些参数必须匹配，这也是能够实现串口通讯的前提。

2. 知识应用（可以附上代码）（包含实验对比分析）

获取陀螺仪 z 轴数据，通过两次积分获取关于 z 轴旋转角度

yaw（将获取角度的代码简化为 GET_READABLE_YAWPITCHROLL()

方法，只获取 yaw 变量），连接 UNO 副板对 YAW 值进行数学处理，转为 0-255 非负数便于传输，在小车需要转弯时 MEGA 主板利用串口通信从 UNO 获取角度数据，控制电机确保转向精确。

原本只用 pid 控制时，旋转角度大时小难以控制，需要靠六路巡线把车拉正。速度无法加快，否则车轮打滑，转向容易冲出轨道。

在使用陀螺仪后可以较准确转向 90 度或 180 度，稳定性与可控性提高，小车速度得以提高。

3. 接口融合、串口通信上遇到的问题与解决方案

在使用陀螺仪的过程中遇到了很多困难。

首先陀螺仪的角度显示为-179 到 179 度，一开始的思路是每次执行完旋转后重置陀螺仪，角度清零。这样只需 while 让他小于 90 时电机一直转，转到 90 停止。发现每次清零代码实现较困难，若直接 reset，会将 pid 等也重置，于是考虑数学方法解决。若陀螺仪转向后角度跨越正负 180，则将其减加 360。需增加一个目标值 target，这样就不用让初始值为零了，而是让它转到 target 时停。把原本的大于小于判断再加上一些角度限制即可实现。

后续发现陀螺仪信号可能与 pid 中断信号冲突，电机无法驱动。于是增加 UNO 副板接受陀螺仪数据，代码移植到 UNO 板，通过串口通讯传给 MEGA 板。

发现由于发出端与接收端延时差别，导致输出-1。更改延时大小，在每次读取前清楚缓存。

发现发出值须在 int 的范围内(± 256)，否则接收端数据溢出。MEGA 无法接收负数。于是将数据转换至 0-180 度后再发送。但是串口通信传输情况一直不理想，接收数据时有时无，最终在比赛时放弃了使用陀螺仪。

后来尝试在调用陀螺仪转向的时候将 PID 关掉，这样就不需要加入 UNO 板串口通信，最后测试成功，可以正常驱动电机。

2. 算法

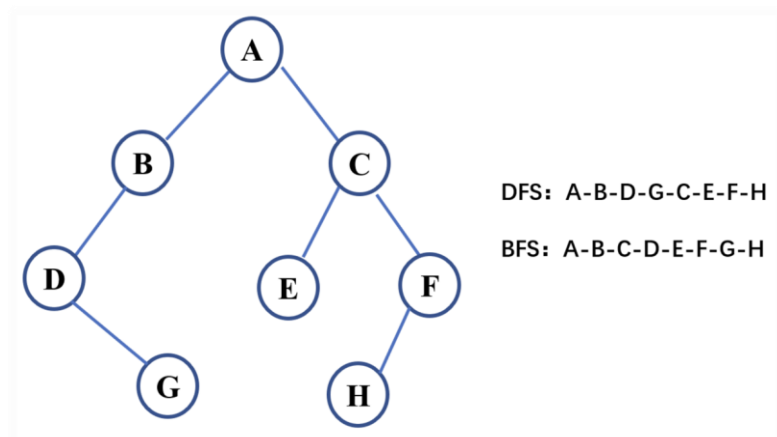
a. 知识获取

i. 名词概念

1. “深度优先搜索 (DFS)”与“广度优先搜索 (BFS)”

如图，深度优先以 A-B-D-G 或 A-C-E 或 A-C-F-H 的顺序遍历元

素，而广度优先则以 A-B-C-D-E-F-G-H 的顺序遍历元素。



2. “动态规划”与“静态规划”

从一个或多个可行解开始，通过不断迭代对现有可行解优化，最后得到最优解，这种方法称为静态规划。静态规划会在规划时枚举遍历所有情况，求出全局最优解。

采用拆分的方法，把问题分解成多个相互联系的单阶段问题，通过求解每个单阶段问题，完成问题求解，这种方法称为动态规划。动态规划的结果依赖于子问题的结果。

3. 贪心算法

指的是在对问题求解时，总是做出在当前看来是最好的选择，即不从整体最优上加以考虑，做出的仅是某种意义上的局部最优解。

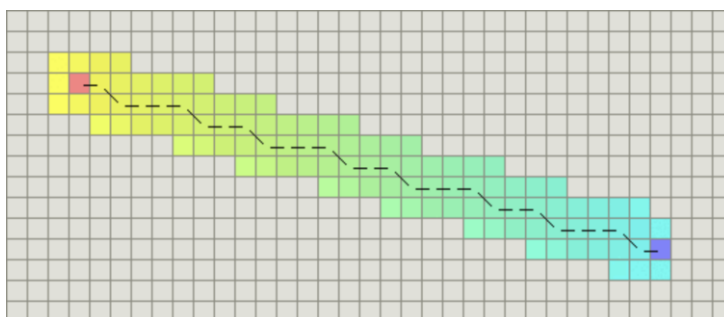
4. 启发式与增量式

启发式搜索是利用启发函数来对搜索进行指导，从而实现高效的搜索，启发式搜索是一种“智能”搜索，典型的算法例如 A* 算法、遗传算法等。增量搜索是对以前的搜索结果信息进行再利用来实现高效搜索，大大减少搜索范围和时间，典型的例如

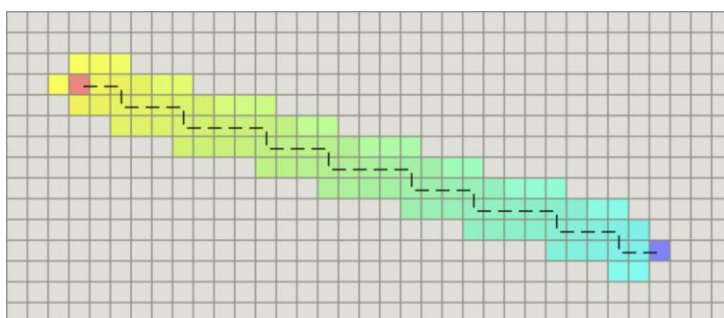
LPA*、D* Lite 算法等。启发式搜索带来的时效能的提高，避免全局盲目搜寻；增量式搜索则代表着迭代信息的二次利用，多用于提高算法效率。

5. 距离类名词

a. 对角距离



b. 曼哈顿距离



c. 欧几里得距离

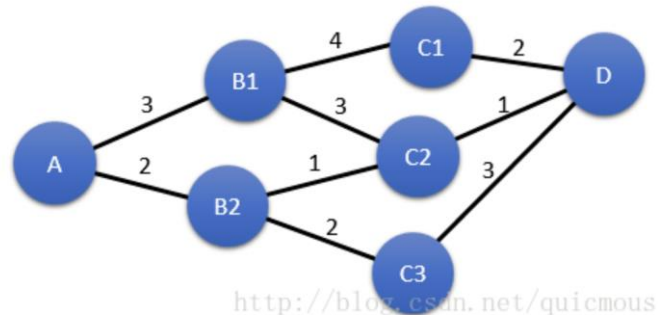
欧几里得距离是指两个节点之间的直线距离。

6. 算法综述与对比

a. Dijkstra 算法

Dijkstra 算法是一个基于贪心、广度优先搜索、动态规划求一个图中一个点到其他所有点的最短路径的算法，时间复杂度 $O(n^2)$ 。每次从未求出最短路径的点中取出距离距离起

点最小路径的点，以这个点为桥梁刷新未求出最短路径的点的距离。

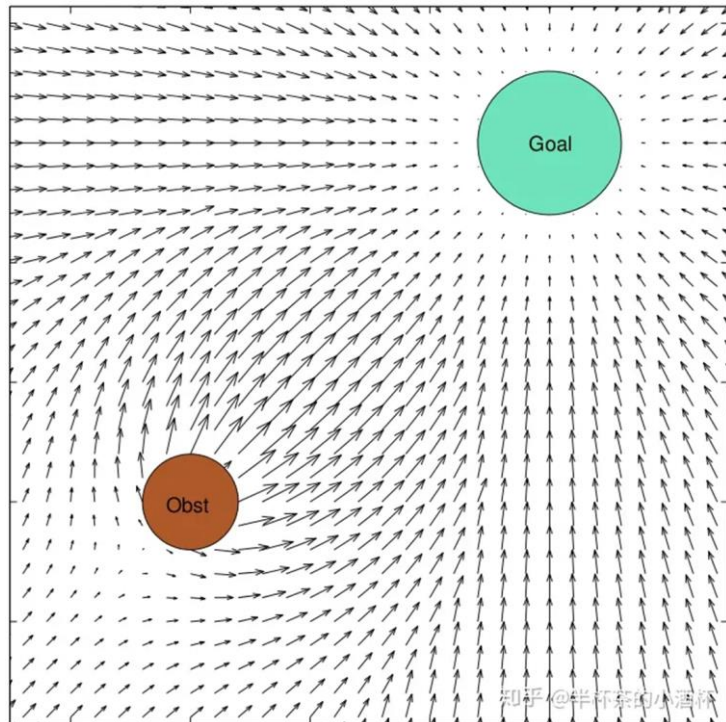


b. A*算法

A*算法是应用较为广泛的路径规划算法，其收敛速度比较快，稳定性较高。A*算法是一种启发式搜索算法，将广度优先搜索和常规路径规划算法 Dijkstra 算法相结合的算法。针对 A*算法计算量较大，运行时间较长等问题，后续学者又提出了很多改进的 A*算法。

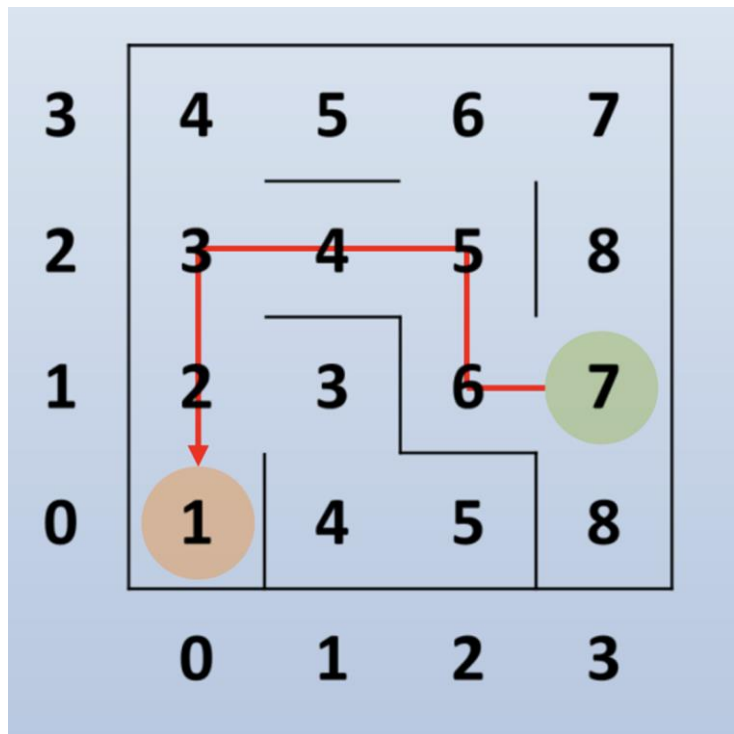
c. 人工势场法

人工势场法是一种将目标和障碍物分别看做对机器人有引力和斥力的物体，机器人沿引力与斥力的合力来进行运动的算法。



d. 洪水填充算法

洪水算法是从一个起始节点开始把附近与其连通的节点提取出或填充成不同颜色颜色，相连区域由相同颜色表示的一种算法思路。



b. 算法应用

i. 方法综述

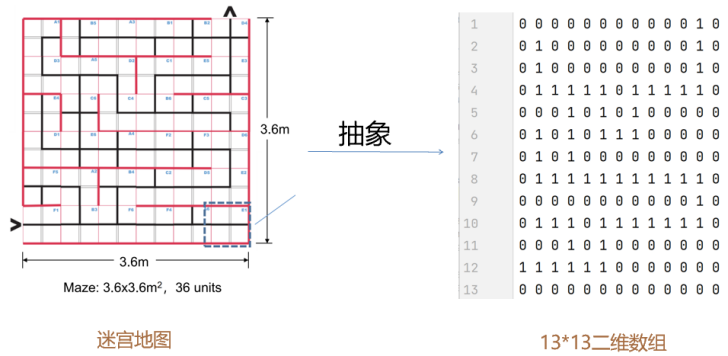
鉴于 Arduino 板算力有限、地图无“孤岛”、地图仅有唯一正确路径，本组最终选择原创矩阵算法。

ii. 方法详解

1. 探路阶段

a. 将 6*6 的地图抽象为 13*13 的“零一”二维数组（矩阵），

其中“墙”也算一格，矩阵中用“0”表示无路，“1”表示有路。



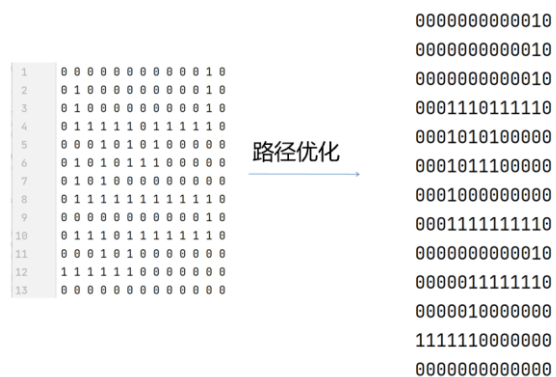
- b. 借助电控中的 forward_60()、turnright()、turnleft()、turnback()函数实现对小车当前坐标的记录。
- c. 建立方向数组 int dir[4] = {1, 2, 3, 4} 实现对绝对方向的记录，其中“1”、“2”、“3”、“4”分别代表“左”、“下”、“右”、“上”。

2. 数据处理

a. 去除死胡同

i. 方法实现

遍历二维数组，若出现如图 T 字形元素，则将该中心元素改“1”为“0”，重复操作直至无该 T 字形元素。



5	/*			
6	判断需要删除的点（自身为 1，四面三 0 一 1）			
7	000	010	000	000
8	011	010	110	010
9	000	000	000	010

ii. 运行测试与时间测量

<ul style="list-style-type: none"> • Create 4 "maps" for testing. • Use the number of useless points to evaluate the "game" level. 					
		Test 1	Test 2(sample)	Test 3	Test 4
	Useless points' level	5	1.2	1	1.7
Remapping time/ (milliseconds)	1	29	23	27	22
	2	27	20	25	25
	3	29	24	24	25
	AVG	28.33333333	22.33333333	25.33333333	24

结论：无效点越多，运行时间越长。

3. 优化路径的输出

a. 方法实现

i. 获取拐点坐标

遍历已去除路径二维数组，若出现如图 L 字形元素，则记录该中心元素坐标。

ii. 获取拐点处小车相对方向

遍历已去除路径二维数组，若出现如图 L 字形元素，则记录该中心元素坐标。

1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0

iii. 将坐标与相对方向输出给小车

按顺序调用坐标，当小车行进至对应坐标处，获取该坐标

出相对方向，调用对应 `turnright()` 或 `turnleft()` 方法。

b. 时间测量

• Use the number of useless points to evaluate the “game” level.					
		Test 1(sample)	Test 2(sample)	Test 3	Test 4
Num Of useless points		1	11	13	77
Getting corner points' time/(nanoseconds)	1	15300	27600	35500	29200
	2	17100	33600	28800	24700
	3	17200	23100	32700	25200
	AVG	16533.33333	28100	32333.33333	26366.66667

结论：拐点越多，运行时间越长。

3. 心得体会与反思（项目收获）

a. 各成员心得（可以从学习、小组合作等角度探讨）

i. 敖恺

1. 学习能力与自信心

这是我第一次参加到一个项目之中，我发现这种项目制学习的效果远超我的想象。不是告诉你去一步步这样完成，而是给定了一个目标和期限，你自行探索完成的路径，自己给自己规划学习什么。当我发现我学的东西可以真正的做出成果，真的对我的自信心产生了极大的鼓舞。同时我发现这样目标性十分强的学习也很大的提升了我的自学能力。

2. 沟通与讨论

我发现进行小组讨论中真的会非常有收获，如果一直一个人蒙着头干则很容易陷进去，走错方向，或者持续的低效。在第三周时我第一极大的体会到大家聚起来讨论的益处：学习小车破解迷

宫算法的同学提出的方案在讨论后发现不可行，但她的思路使我后发出另一种方案，这个方案提出时也有很多漏洞，但是在讨论中竟然很快的全部解决了，我们也很快的敲定了最终可行的方案。这次方案的提出给我留下了很深的感触，在发现一个方法时或许不应立即陷入其中，应该合理的评估，努力寻求最优解。团队的合力与团队中良好的交流氛围很重要，如果不拿出来讨论，或许无法发现原方案的问题，并产生新方法，如果没有良好的交流氛围，在方案提出后或许它无法被大家认可，没有办法 debug，很快的落实。

i. 江柯垚

1. 个人

a. 责任心

这几周过去我对责任心也有了更新一层的看法。一开始我的责任心其实一半起于内心需要：我想要学习并使用更多的原件，取得更好的效果，另一半则出于职务所迫：我尽可能高效地不断学习着新的知识，推进着项目的进行，这一过程中也自然而然揽下很多新的任务，这些任务迫使我去做好某些事情。在前几周，我对职务所迫的责任其实有一点点抵触，以 pid 的调参为例，做起来有一种海底捞针的迷茫感，但又非做不可。做出来了也只是因为做完而送了一口气，并不会觉得

有强烈的兴奋和满足。到了五六周，责任心的来源其实变成了对知识的渴望和对小组成功实现预期功能的强烈追求。这是一种很奇妙的转变，从职务所迫到内心需要，从些许抵触到在所不辞。究其原因，也许是对队友和团队的进一步信任以及对责任意识的进一步理解：多做一点又何妨。这算是我大学迄今为止经历的最长一次的合作，也许也是因为长时间的合作，才让我感受到了这种奇妙变化。

b. 自主学习

这六周的夏令营对我自学能力的提升起到了很大的助力。从心态上，它帮我走出了第一步，让我克服了心里的恐惧。过往的学习大多都是跟着老师的知识框架走，然后我在知识框架内部不断地补充。但项目的推进却要求我们自己搜索信息。在第一周我去找关于迷宫鼠的资料的时候，我还是灰头土脸的，觉得这个也讲的不清楚，那个看上去也不好办。后来，在助教和工程师的演示和帮助下，我成功的学习了编码器以及 pid 算法相关的知识，从这之后，我心态上就没那么恐惧和迷茫了，我开始有意识的去从信息中总结出自己的学习路线，提取出有用的知识模块。无论搜索到的结果有用与否，我都尽可能强迫自己对信息进行进一步的总结提炼，

唯有总结提炼，我才能将信息纳入自己的考量体系内。

这之后，按钮、屏幕、rgb 发光超声波之类的学习我都几乎时有计划的全自主完成的；从途径上，我现在也能更熟练的使用 new bing 之类的大语言模型、csdn、github 之类的网站进行资源搜索了。

c. 展示自我

这一部分也是我学到的相当重要的一环。自己的提升主要有几个方面吧。从个人经验来讲，三次 pre 的锻炼，让我从第一次上去展示时的结结巴巴逐渐向后来的不怯场进行转变。从演讲技巧来看，我开始有意识的给自己加上一些肢体动作、有意识的让自己的语言变得幽默和有激情、有意识的在演讲前准备文字版的演讲框架。从 ppt 制作来看，从老师的点评到队友的制作中，我越来越注意到和谐的重要性：色调的选择要和展示的内容相和谐、中文或英文要统一、大写或小写要统一等等。

除了演讲，在这一阶段间，我也第一次尝试了在 b 站上上传视频。这是我第一次向更大的群体进行自我及团体的展示。其间，有一个朋友私信我向我询问一些技术上的细节，通过交流，我收获了一些额外的经验，我觉得这一过程还是挺有趣和有爱的。但如果没有这个夏令营，我可能不会迈出这一步。

2. 团体

a. 项目管理

夏令营是一个较为完整的项目，这期间我们有执行力不够的时候，也有提前完成计划的时候，在一次次地重新调整中，我也慢慢形成了一些习惯：通过双钻模型迅速敲定探索的方向，通过风险评估和两倍原则进行时间上的取舍，通过甘特图进行个人和集体的项目的严格计划。

b. 沟通与协作

一个人总会有犯错的时候。通过将流程清楚的讲一遍给队友听，一方面，能加深队友对你自己工作的了解，方便下一步的合作；另一方面，通过对思路的重新梳理，以及对队友疑问的解答，也能更容易找出漏洞所在。这确实是很棒的一个方法，可惜一开始的时候我崇尚分工尽想着自己的事自己做，后来才在帮助和被帮助中学到了这个道理。

ii. 姜跃琳

1. 思维上

本次夏令营让我在思维模式上发生了一些改变。最让我印象深刻的有两点。第一点是思考要全面，对所有可能影响到结果的因素都要考虑。思考得是否全面取决于是否有足够高的洞察力与足够广的知识面，这两点的提升依赖于今后的学习。第二点是留有余量。在外壳设计的过程中，内部结构可能发生改变、材料加工过

程中可能发生形变等原因都会对外壳设计产生影响，此时留有一定的余量，会减少很多不必要的麻烦。

2. 沟通合作上

我深刻认识到了好的沟通合作带来的效益。通过沟通合作，我们各司其职，效率提高；在沟通中，思维拓展，产生了更多的新想法，思考也更为全面。

iii. 解炎

1. 个人

a. 学习

我发现尺寸的测量不能马虎。在买六角螺母柱时，由于我想当然的以为 M 2 是 2 mm 内径，导致了买到了错误的尺寸。

我发现了硬件问题的重要。在调试巡线传感器时，由于没有合适的线，我们只好用零散的杜邦线将就，导致了巡线传感器的接触不良，总是出现问题，例如，x 3 线会输出 x 3、x 4 的值，x 4 线没有用；巡线传感器需要一直调节上方旋钮；巡线时，会出现同时灭灯情况等等。我们不知道是硬件还是软件上的问题，导致我们一直调试不出合理的参数，在改良用线后，我们的问题一下子就解决了。

在 SDIM 的学习中，自学是十分重要的一个部分，不像高数，大物等，老师会教所有知识点，考试也只是知识点的应用；SDIM 的课程中，像是编写屏幕的代码，使用 SW，应用陀螺仪等，老

师都不会在课上教，需要我们自己课下自主学习，主动问老师，才可以学好。

b.思维

在前两周的学习后，我一直对于设计与工程的平衡，保持疑惑。在经历了这两周的学习后，我得到了一些新的启发。在我看来，设计一种产品，首先应该是设计在前，头脑风暴，想到什么都可以，要有一个大致的方向，例如“跑车”，“七星瓢虫”，“皮卡丘”等等。不需要有细节的考虑。随后我认为是工程在前，例如在为保证超声传感器的性能时，我们就只好修改外形设计中所预留的孔洞，调整传感器的位置，虽然我们的车仍是跑车型，但与之前的设计相比，丑多了。

比赛前几十分钟，我们小组对于求稳和提速，产生了重大分歧。在我看来，求稳是比提速重要的，因为稳定，我们第一轮跑完了，晋级下一轮；因为稳定，我们第二轮跑出迷宫概率是 100%，跑赢了实际速度比我们快，但在与我们小组比赛时不稳定而未跑完的小组。

2. 团队

a.沟通

我明白了团队中沟通的重要性。尤其是在设计内部结构过程中，需要设计、电路、编程的多方面结合。但我们小组的沟通也出现过一些小问题，例如有一位同学因为错过时间最近的统一采购，所

以自己自费买了联轴器，但由于沟通问题，组长也在下次采购清单上写了，还好最后我问清楚了，差点重复购买。

b.合作

组内合作是十分重要的一个部分。我在本次的夏令营中，学会了如何与队友更好的合作、交流、讨论。同时，与老师和学长的合作也是十分的重要。有问题时可以主动找老师，这与我在以前高数、大物课时，有问题自己埋头苦干完全不同。这次的夏令营活动也极大的改变了我的性格，使我变得外向了许多。

iv. 张善

1. 学习上

a. 关于自学

第一次上没有学习内容边界的课，除了绘图与硬件电控入门，教授们的课程仅作为关键词引领学生进入该领域，其余知识是需要什么便去学习什么，真正领会到什么是自主学习。在六周的项目式学习中，悟出了“自主学习的动力源是‘应用’而非虚空的‘主观能动性’”。

b. 关于惯性思维

印象最深的就是教授反复讲授的“工业设计”的概念。此前，将“设计”与“艺术”挂钩的刻板印象牢牢地固化了思想，直到深入学习才知“工业设计”更多的是服务于“工业”的设计，而非“美学”导向的设计。这一例子让我

明白直觉与刻板印象的可怕之处。此后，接触任何新概念，必求之于专业书籍之定义，问之于专业学者之理解。

c. 关于应用

硬件的正确实现是存在概率的，并非如同软件代码之运行，只有 0 或 1，true or false。电机可能早上还能转，下午就有驱动问题了。这个时候，如何一步步排查问题，是非常关键的素养。sdim 的学习告诉我千万不能忽视理论与应用的鸿沟。

2. 小组合作上

a. 关于团队

此前，从未对“合作”有如此深刻之体会，六周的通力合作，真正让我体会到“1+1>2”的效果。此外，想法共享、集思广益与分工实现的合作模式也让我受益良多。

b. 关于管理

作为组长，更加深刻地体会到组员个体对团队成果的影响。六周期间，第一次接触了管理学的知识，第一次应用甘特图。如何带动组员积极性，如何最大化发挥每一位组员的特长，如何相对公平地分工、实践……都是需要组长考虑的问题。与其说是对于责任心的培养，不如说是一种综合能力的锻炼，从沟通能力到统筹能力，实践后都有质的飞跃。

b. 对于最终比赛的反思

- i. 外在因素对小车影响较大：对比比赛时两个场地，新板搭建的赛道因为摩擦力较小，很多其他组的小车都出现打滑现象。本组橡胶轮摩擦力较大，虽未出现打滑现象，新赛道上第一遍探路也比旧赛道第一遍探路要慢 6 秒。
- ii. 硬件须多备：本组电机多次驱动出现问题，多备份器材以备不时之需。
- iii. 对于路径规划算法的反思：最终比赛时还是出现了一些问题，是编写时没考虑的实际问题。我们路径规划这套代码对于小车当前坐标获取的依赖性非常高，若第一次探路坐标因为板间缝隙多记录了，那么第二遍的优化也是错的；若第二次获取当前坐标错了，那么又无法与正确的已知拐点坐标信息比对，获取拐弯方向。综上，还是有局限性的。

4. 贡献比

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	小项目名称	大类分	分工	权重	敖恺		江柯垚		姜跃
					贡献	单项分	贡献	单项分	贡献
1									
2									
3	设计	25.00	外观	10%	2%	0.0500000000	2%	0.0500000000	90%
4		25.00	内部布局	10%	2%	0.0500000000	2%	0.0500000000	2%
5		25.00	绘图建模	70%		0.0000000000		0.0000000000	63%
6		25.00	装饰	10%	10%	0.2500000000	10%	0.2500000000	80%
7	电控	25.00	电机基本驱动	20%	10%	0.5000000000	45%	2.2500000000	
8		25.00	传感器	40%	10%	1.0000000000	40%	4.0000000000	
9		25.00	PID内环	20%		0.0000000000	100%	5.0000000000	
10		25.00	陀螺仪	20%	100%	5.0000000000		0.0000000000	
11	算法	25.00	左手定则	20%	20%	1.0000000000	40%	2.0000000000	
12		25.00	地图抽象	5%		0.0000000000		0.0000000000	
13		25.00	地图优化	25%	10%	0.6250000000		0.0000000000	
14		25.00	节点获取	25%		0.0000000000	10%	0.6250000000	
15		25.00	有效信息输出	25%		0.0000000000	100%	6.2500000000	
16	pre	20.00	PPT	70%	19%	2.6257000000	19%	2.6250000000	19%
17		20.00	海报	15%		0.0000000000		0.0000000000	
18		20.00	视频制作	15%	30%	0.9000000000	10%	0.3000000000	10%
19	赛前准备	5.00	赛前准备	100%	10%	0.5000000000	30%	1.5000000000	30%
20	最终贡献比					12.500700		24.900000	19.662

5. 致谢

特别感谢：周利民副院长，叶林院士，王珂教授，马兆远教授，Fred HAN 副教授，白紫千老师，李洪飞老师，龙继国工程师，王振坤老师，洪小平老师，周鼎老师，陈园老师，张嘉欣老师，胡颀老师，郑晓晨老师，尉进工程师，吴海龙工程师，陈树乔工程师，吴徐平工程师，黄俊学长，李宗泽学长，郭天烁学长，陈瑾学姐，第一小组，第二小组，第三小组，第五小组，第六小组。