

# 浙江大学



## 智能物流小车——“快递小鸽”技术资料

指导老师：徐志农、孙磊、王宇、张俊杰

队伍编号：170302

队伍成员：汤继祥、王谦、胡惠兵

队长联系方式：18867106496

2017 年 10 月 20 日

---

# 目录

一、作品名称.....	1
二、作品制作人院校、姓名.....	1
三、作品样品图（设计图）.....	1
四、作品简介.....	3
五、结构方案说明.....	3
1. 移动机构.....	3
2. 装载机构一.....	4
3. 装载机构二（可变式）.....	5
4. 抓取机构一.....	6
5. 抓取机构二.....	6
六、控制方案.....	8
1. 电路设计方案：.....	8
2. 巡线方案：.....	9
3. 定位方案.....	10
4. 避障方案.....	11
5. 机械爪控制方案：.....	12
6. 整体程序流程图：.....	14
七、工艺设计方案.....	15
1. 小车底板.....	15
2. 储物装置一.....	17
3. 储物装置二（可变式）.....	18
4. 机械爪.....	19
5. 舵机支架-机械臂.....	20
6. 超声波支架.....	21
7. 转动平台：.....	22

## 一、作品名称

快递小鸽。与“快递小哥”同音，寓意该小车能快速精准地将需要配送的物品取出，并避开路上的障碍，准确无误地放置在指定位置；晴鸽试铃，借风力而上，它不似鹰的迅疾，却独具鸽的朴实灵动，经过数月的调试制作，我们希望看到的，不仅是它穿梭于赛道上的灵活身姿，还有鸽铃响彻赛场的刹那。

## 二、作品制作人院校、姓名

城市	学校	姓名	联系方式
杭州市	浙江大学	汤继祥	18867104391
杭州市	浙江大学	王谦	18867101749
杭州市	浙江大学	胡惠兵	18867139871

## 三、作品样品图（设计图）

作品样品图有两种，其中图一为初期利用自行设计的亚克力底板、金属转盘以及常用的六轴机械臂组装而成。

样品图一：

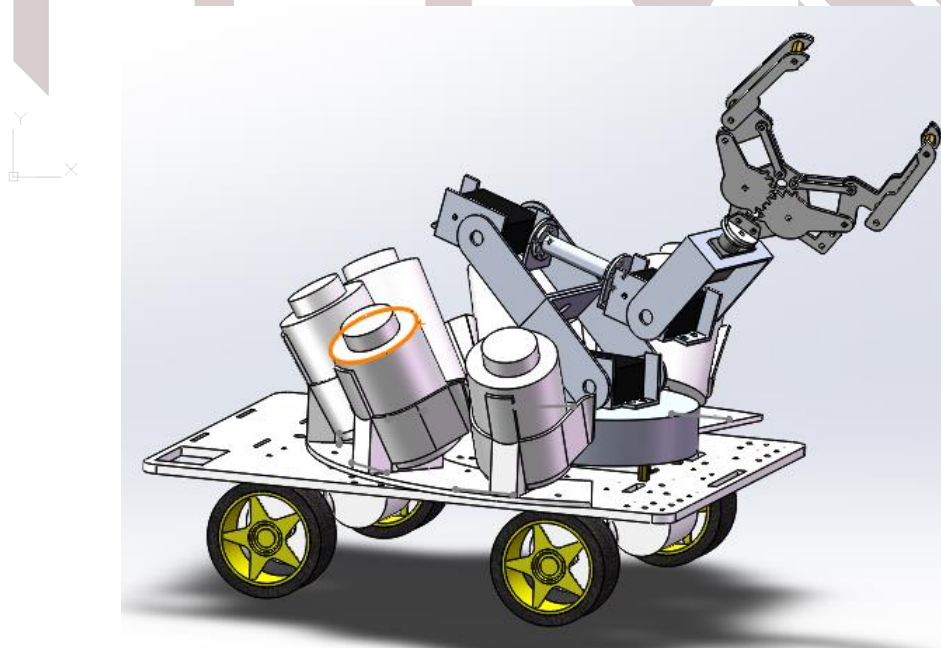


图 1 原始方案样品图

实物图一：

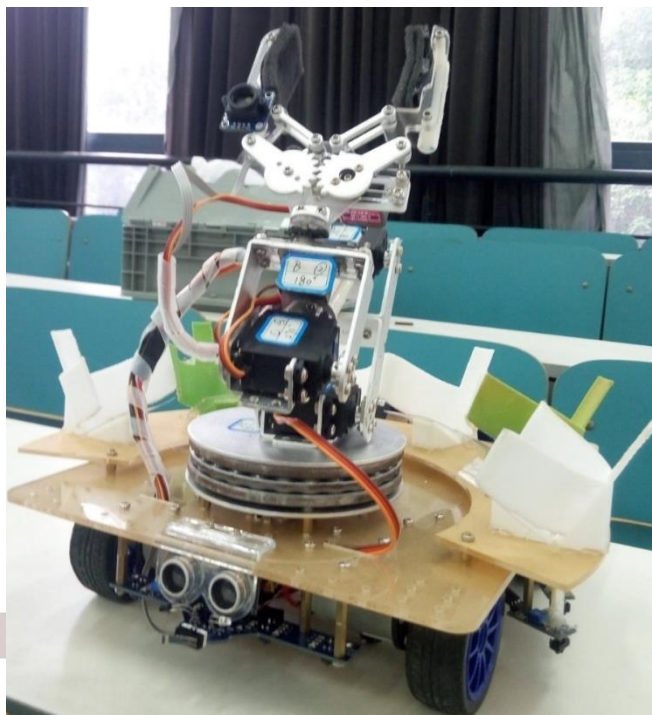


图 2 原始方案实物图

图二与图一具有相似的设计理念，不过在方案一的基础上进行了很多改进，主要使用了探索者的材料搭建，最大的亮点在于储物的设计，在保证精准的情况下实现了可调节大小以适应不同大小的物品。

样品图二（新）：

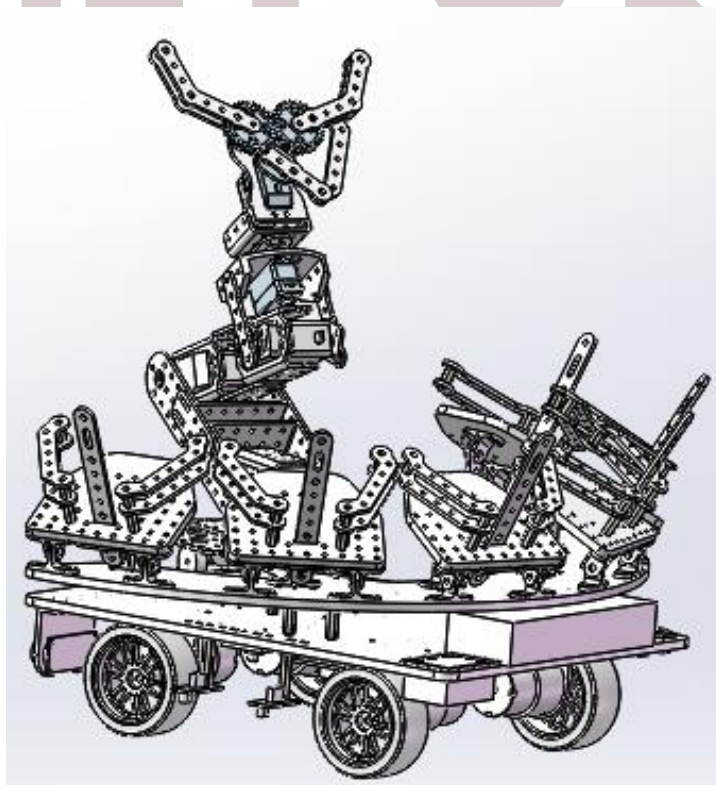


图 3 新方案样品图

## 四、作品简介

在制造业向工业 4.0、中国制造 2025 和智能制造方向发展的背景下，围绕“智能制造+创客”的主题，模拟离散制造业的智能物流小车而制作的“快递小鸽”，具有车间作业中的物料搬运、码垛、自动循迹与避障等功能。

在模拟生产车间的比赛场地上，“快递小鸽”从起点出发，沿黑线前进经过弯道后在‘T’字路口停下，原地右转，借助两侧的传感器适当微调整车位置，准备装载物料。利用其灵活的 6 自由度“手臂”将货物抓取并整齐地摆放在储物架中。装载结束后原地左转继续沿黑线前进，同时利用超声波检测前方是否有障碍物，当前方障碍小于 50cm 时右转，避开障碍物再沿黑线行走。经过一个左转弯之后进入坡道，随后到达第二个‘T’字路口，停下，右转。为保证物料准确无误地摆放，“快递小鸽”先一一试探货架颜色。获得信息后调整自身前后左右的位置，确保物料居中放置。经过多次细微的调整后，依次从储物架中将货物取出放置在对应的货架上。随后退出‘T’字路口继续前进到达终点。

在整个工作过程中，“快递小鸽”有着定位精准、动作快速且流畅、容错率高、外观精美等特点。“快递小鸽”前排装有七路红外传感器用以巡线，使其一直沿黑线中间前进；两侧各有两路红外传感器，用以在交叉路口精确定位，保证抓取的命中率；前排装有超声波传感器用以避障以及辅助定位。机械臂采用探索者套件搭建的 6 自由度机械臂，配有自行设计的弧形排列的 6 个倾斜储物架，该储物架具有易放易取的特点，大大降低了对机械臂精度的要求，提高了容错率。

## 五、结构方案说明

“快递小鸽”整体结构可分为移动机构、装载机构、抓取机构和机构间的连接件。设计时遵循有效性、可靠性、经济性等原则，既合理选择统一的标准化器件也在关键结构处合理发挥想象，设计出了具有鲜明小队特色的机械结构。

### 1. 移动机构

移动机构由电机、联轴器、轮胎及小车底板构成。它是小运动的关键机构，电机的选型，电机在底板上的装配位置，底板的设计与制造都是移动机构中需要考虑的难点和重点。

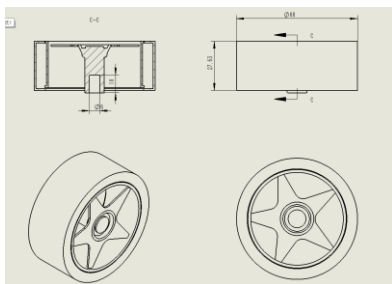


图 4 轮胎示意图

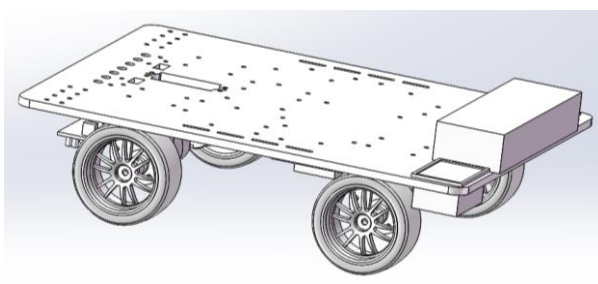


图 5 底盘装配示意图

底盘要达到“走得快，转得准、爬得稳”的目标，轮胎设计至关重要。该车设计采用四轮直排的驱动方式，首要在适当速率条件下，车辆具有足够的爬坡能力。所选轮胎为直径 68mm 的大轮胎，内填充若干海绵，不仅为车体下部安装电机驱动模块、单片机等电子元件

提供了空间，同时也不致使其太靠近地面，影响爬坡。车底板略大于轮胎覆盖范围，可为巡线传感器等提供有效支撑。

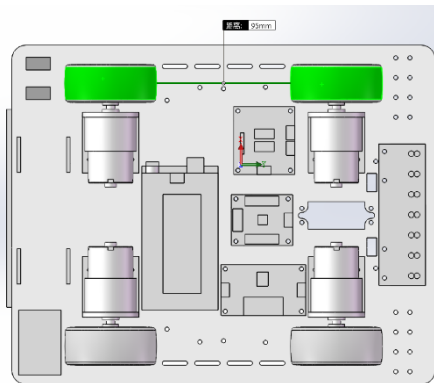


图 6 轮胎轴距示意图

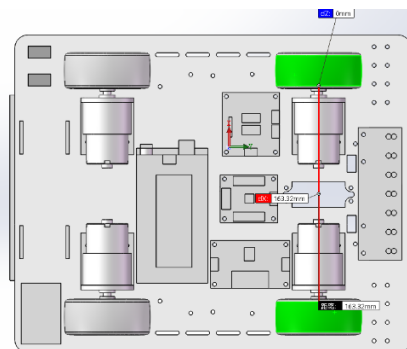


图 7 轮距示意图

电机装配设计时，将轮胎轴距定为 163mm，轮距定为 168mm，轮距略大于轴距。由于采用四轮直排驱动方式，相比全向轮牺牲了转弯的灵活性和可靠性。在此基础上尽可能减小前后轮距，增大左右轮距可以有效减小转弯时的摩擦阻力，不会发生因转弯时摩擦阻力过大而引发小车抖动。

底盘下部安装有整机电路和巡线传感器，为了尽可能利用狭小的空间，我们将电源移到上方，弱电信号部分放在轮胎之间，既保证电量的供应，又不会造成太大干扰，同时还可以通过电源平衡整个小车的重心。

## 2. 装载机构一

在原始方案中，装载机构由连接板和六个载物台构成，通过铜柱、螺丝固定在底板上。为实现有效放置与抓取、方便调试、减小误差的目的，我们最终设计出环形分布并成倾斜状的载物台。其示意图如下：

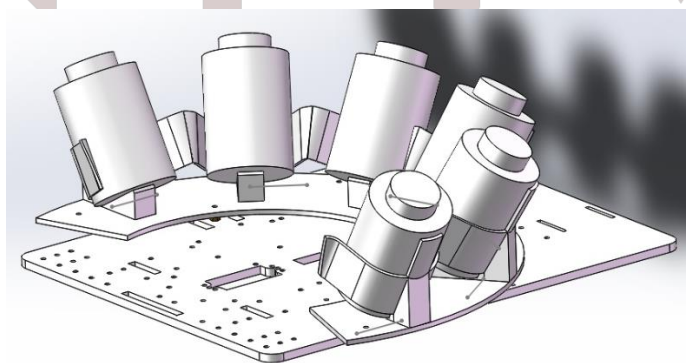


图 8 环形装载机构示意图

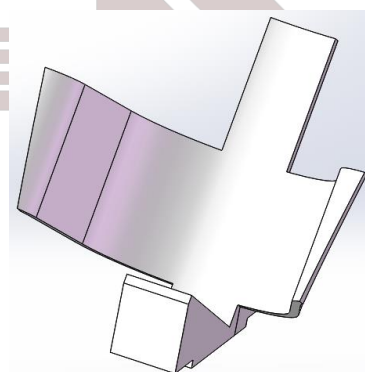


图 9 载物台示意图



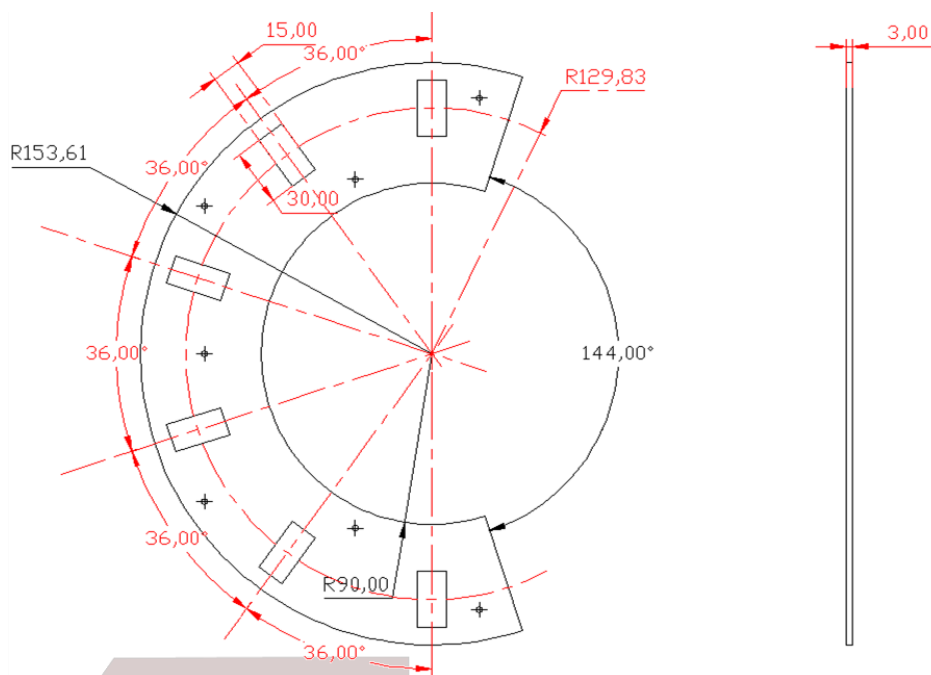


图 10 连接板尺寸

载物台粘连在连接板上的方框内，六个方形定位孔围绕中心成  $180^\circ$  分布。底部舵机可动角度为  $270^\circ$ ，加上机械臂可实现  $180^\circ$  翻转，即对于底盘机械爪理论可活动角度为  $540^\circ$ ，可以实现所有物料的抓取和放置。

且由于机械爪中心位置位于上图中的圆心，即对于将物料放置在不同位置只需单独调试转盘角度即可，其余舵机的位置均可重复利用，大大降低调试难度。

### 3. 装载机构二（可变式）

新型装载机构设计理念相似，示意图如下图所示：

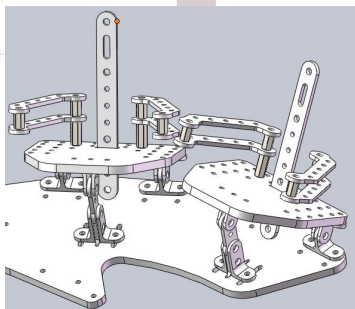


图 11 载物台（新）

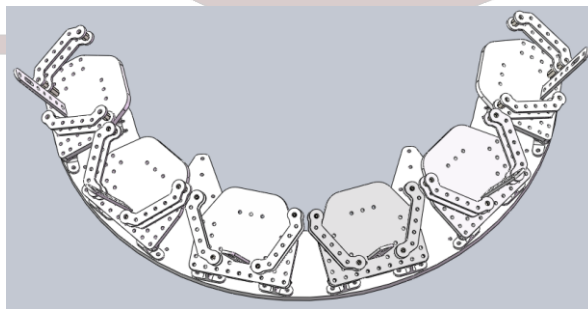


图 12 环形摆放示意图

底板倾斜让物品放置得更加稳定，避免物品倾倒；同样采用环形分布以降低调试难度，抓取不同位置的物品时只需调整转盘角度即可。

装载机构采用探索者零件+3D 打印自制件+激光切割底板的拼接方式，方便快速地改变储物装置的形状以及底板倾斜角度。使得能够更加灵活地应对不同形状的物品。

## 4. 抓取机构一

原始方案在, 抓取机构为统一购置的六自由度机械臂和小机械爪。原有机臂所有关节均使用 MG996R 舵机, 重量大, 驱动力有限、整只机械臂较重, 根部舵机接近驱动极限, 极易导致该舵机因过载而烧坏, 同时末端抓取机构在这种条件下工作极不稳定。因此在原机械臂基础上, 我们用辉盛 90s 替代了末端两个舵机, 并重新设计了部分关键零件。使整个机械臂可以完成夹取物料、放置物料、倒置物料的功能。示意图与实物图如下图所示:

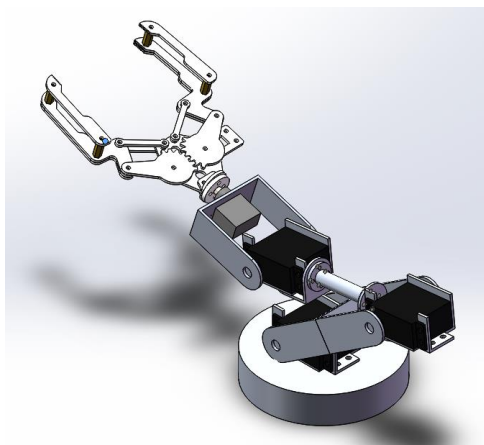


图 13 原机械臂示意图

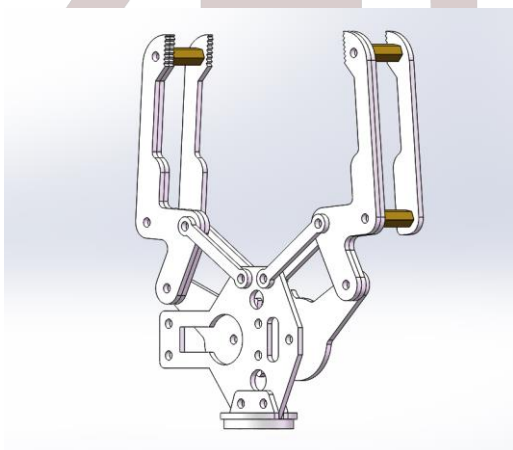


图 15 原机械爪示意图

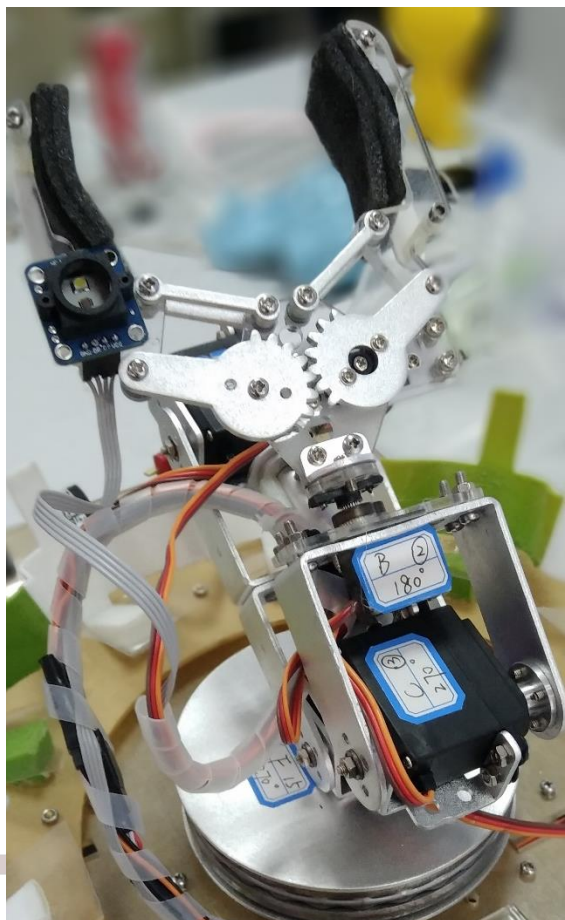


图 14 原机械臂实物图

爪子内侧垫上一层柔软但摩擦系数大的海绵, 可以有效防止物块滑落, 同时可以减轻舵机因过度夹紧而造成的堵转负担。其中颜色传感器采用热熔胶粘连的连接方式。

## 5. 抓取机构二

新型抓取机构是由探索者套件自主搭建的六自由度机械臂和小机械爪。常见的机械臂有连杆式和我们所采用的关节式。对本次比赛来说, 要实现夹取、翻转、放置物料等功能, 连杆式机械臂移动位置受限较多, 不能在较短时间内调试到满足我们比赛要求的程度, 因此我们按照原有设计思路选择了另一种关节式的机械臂。

机械臂上所有关节处舵机均使用探索者标准大舵机和标准舵机, 其中标准大舵机也存在重量大, 驱动力有限等问题, 加之拼装舵机支架的铝板较重, 因此在机械爪部位, 我们用亚克力板替代了固定末端两个舵机的铝板, 并重新设计了部分关键零件。使整个机械臂可以完



成夹取物料、放置物料、倒置物料的功能。

探索者公司提供的舵机角度为  $180^\circ$ ，这种限制使机械臂不能到达空间任意位置，因此六自由度机械臂每个关节臂长十分关键，若不合适，则无法以理想的姿态到达所要夹取或者放置物块的位置，不仅容易给程序控制带来麻烦，严重者还会损毁舵机。

于是在设计之前我们进行了一下仿真工作：

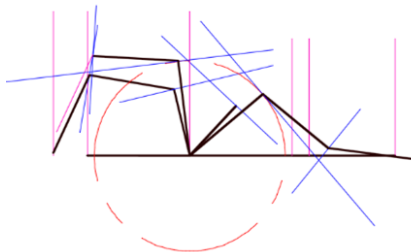


图 16 仿真示意图

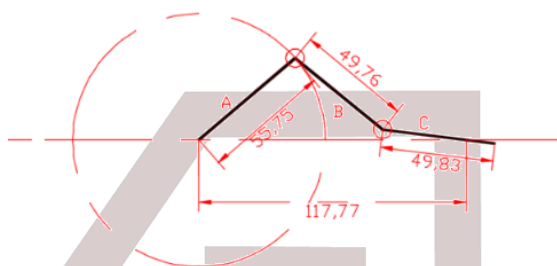


图 17 抓取载物台物品模拟

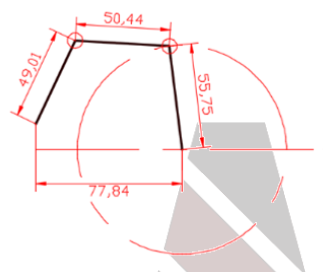


图 18 向储物放置物品模拟

通过 AutoCAD 对机械臂几个特征位置进行仿真，得到合适的臂长参数。如图，根据绘图的经验结果，根部关节 A 越短，中间关节 B 杆越长，末端越容易实现以水平姿态夹取物料；末端关节 C 越长，中间关节 B 越短，越容易以倾斜姿态放置物料。

为了使 a, b, c 三个关节处的舵机尽可能的同时达到极限，应使姿态重心靠近根部，因此关节 A 臂长尽量短，C 保证一定长度的条件下使 B 尽可能长，以实现末端的灵活运动。经过不断改良，最终我们确定机械臂 A 关节长度为 55mm 左右，B 关节长度为 50mm 左右，C 关节长度为 50mm 左右。

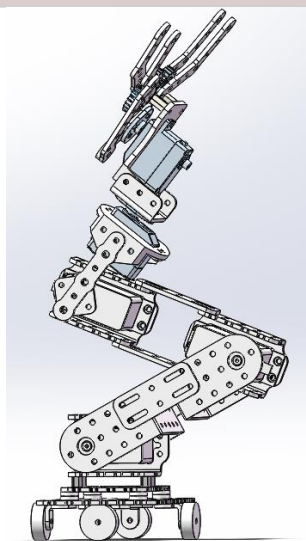


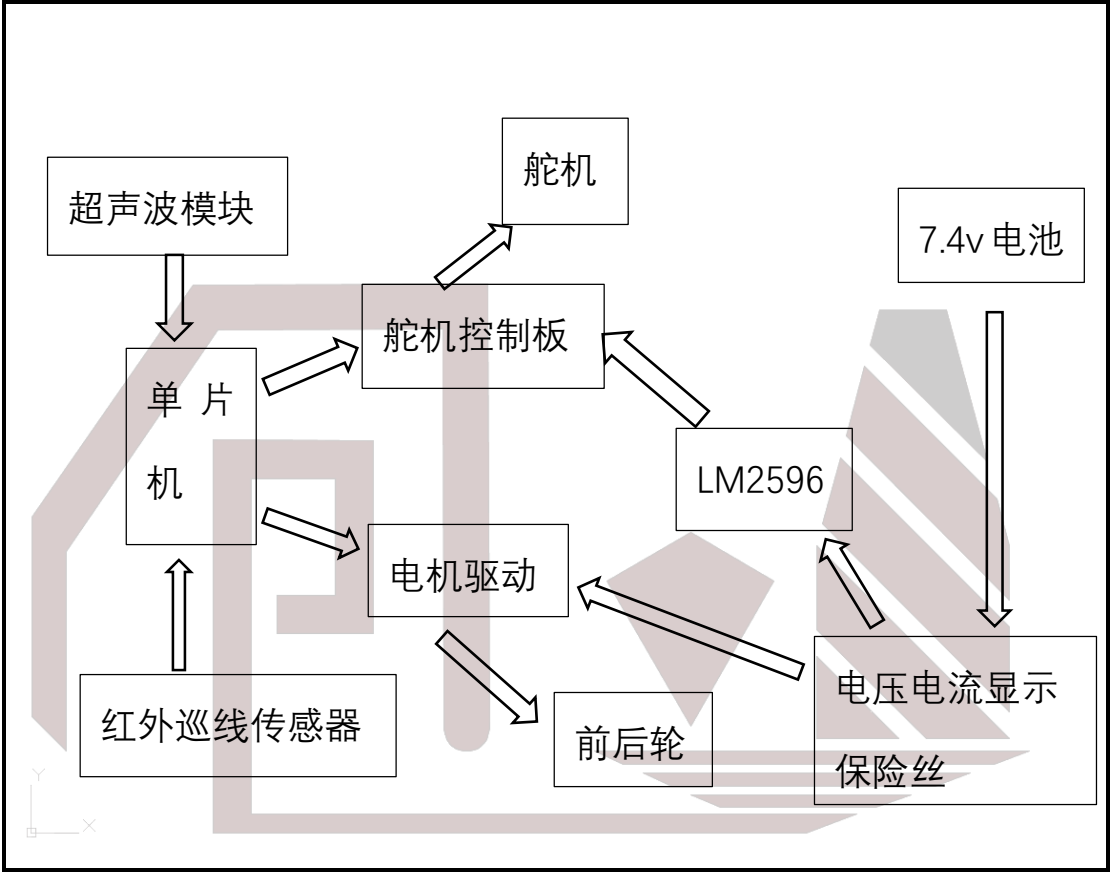
图 19 新型机械臂最终版

# 六、控制方案

控制方案主要包括电路设计与程序设计。电路设计思路以及关键性代码说明如下：

## 1. 电路设计方案：

电路设计示意图如下：



其中，LM2596 将 7.4V 电压降至 6V 舵机控制板供电，单片机和 L298N 直接由 7.4V 输出供电，传感器由单片机输出的 5V 供电。

根据上图，“快递小鸽”使用了以下元器件：

元件	数量	元件	数量	元件	数量
单片机（MEGA2560）	1	超声波模块	2	红外巡线传感器	11
舵机控制板	1	舵机	6	电机驱动（双路）	1
电机	4	轮子	4	LM2596	1
小型直流电压电流表	1	保险丝	1	电池	1

## 2. 巡线方案:

巡线关键程序代码如下:

```

1. void straight_Test(int s) {
2.     readsensor();
3.     if ((S1 == BLACK && (S4 == BLACK || S5 == BLACK)) || (S2 == BLACK && S5 ==
        BLACK)) {
4.         mot(s, s);
5.     }
6.     else if (Sen == 0B1100011) {
7.         mot(s, s);
8.     }
9.     else if (Sen == 0B1111110) {
10.        mot(s, -s);
11.    }
12.    else if (Sen == 0B0111111) {
13.        mot(-s, s);
14.    }
15.    else if (Sen == 0B1111100) {
16.        mot(s, 0);
17.    }
18.    else if (Sen == 0B0011111) {
19.        mot(0, s);
20.    }
21.    .....

```

“快递小鸽”巡线依靠前方的七路红外巡线传感器，巡线代码主体部分如上所示，各红外返回值由二进制数 Sen 记录，mot() 函数为设置左右轮转速，函数形参 s 用于设置巡线前进的速度，篇幅有限，仅粘贴了部分判断条件。

巡线原理即分别对应红外传感器与下方黑线的不同相对位置而设置不同的左右轮差速，使小车正中对黑线前进。其中各轮速度大小的设置由最中间与左右两边最极端的三种状态经过曲线拟合而得，以保证小车能最有效地调整前进方向并实现平滑转弯。

比如说只有最左端传感器在黑线上时，设置速度为 (x1, y1)；黑线正对车的中间时速度为 (x2, y2)；只有最右端传感器在黑线上是设置速度为 (x3, y3)。则以黑线的中线相对小车的中线的距离为横坐标，以 x1、x2、x3 三个数为对应位置的纵坐标进行最小二乘法曲线拟合；同样方法对 y1、y2、y3 进行拟合，从而得到以相对位置为横坐标的两条曲线，再根据传感器距离选取合适的横坐标，从而得到对应的速度设置。（具体速度设置程序中未写出）

```

1. else if (Sen == 0B1111110) {
2.     delay(t);
3.     readsensor();
4.     if (Sen == 0B1111110) {
5.         delay(t);
6.         readsensor();

```

```
7.         if (Sen == 0B1111110) {  
8.             mot(s, -s);  
9.         }  
10.     }  
11. }
```

同时为保证每次红外检测的准确性,排除场地内杂物的影响,红外需每次连续读取三次数据,每两次之间有一定时间间隔,三次情况一样则作出调整,如左边第二段程序代码所示。

### 3. 定位方案

为了保证小车在夹取物料和放置物料的“T”字路口顺利完成转向、抓取等功能,“快递小鸽”需要实现非常精准的定位。经过我们的设计,其工作过程中定位精度能达到 $\pm 2\text{mm}$ 。精准定位关键程序代码如下所示:

```
1. void adjust_up() {  
2.     int r = 0, l = 0;  
3.     int no = 0;  
4.     int v_m = 100; //调整时循环的初速度,依次递减  
5.     int flag_l, flag_r;  
6.  
7.     while (v_m > 30) {  
8.         readsensor();  
9.         if (SR == BLACK || SSR == BLACK) {  
10.             flag_r = 1; //往前  
11.         }  
12.         else if (SSR == WHITE) {  
13.             flag_r = -1; //往后  
14.         }  
15.  
16.         if (SL == BLACK || SSL == BLACK) {  
17.             flag_l = 1; //往前  
18.         }  
19.         else if (SSL == WHITE) {  
20.             flag_l = -1; //往后  
21.         }  
22.         mot(v_m * flag_l, v_m * flag_r);  
23.         delay(10);  
24.         no++;  
25.         if (no == 2) {  
26.             v_m--;  
27.             no = 0;  
28.         }  
29.     }  
30.     mot(0, 0);  
31. }
```

此定位方案的核心思想即振荡衰减，且左右两轮单独定位，以保证左右都在指定位置。利用单路红外检测黑线边缘，通过返回信号判断前进还是后退，多次循环且调整力度依次减小，实现最终以最小的误差停止在黑线边缘。

这只是定位程序的一部分，我们有 `adjust_down()` 函数用以确定另一抓取位置；有 `adjust_wave()` 函数利用超声波传感器用以辅助定位，保证“快递小鸽”在转弯后不会迷失方向；还有 `adjust_sides()` 用以调整“快递小鸽”的左右位置，其左右位置通过前排红外传感器检测得出。

这些函数调整方法各有特点，核心思想类似，它们的存在保证了“快递小鸽”的精准定位以及精准地将物料取出并放置在指定位置。

## 4. 避障方案

“快递小鸽”依靠超声波传感器在前进过程中避开障碍物，关键程序代码如下：

```

1. void avoid() {
2.     mot(255, 255);
3.     while (1) {
4.         straight_test();
5.         distance = measure();
6.         if (distance <= 50 && distance >= 20) {
7.             delay(t);
8.             distance = measure();
9.             if (distance <= 50 && distance >= 20) {
10.                delay(t);
11.                distance = measure();
12.                if (distance <= 50 && distance >= 20) {
13.                    mot(255, -255);
14.                    delay(550);
15.                    mot(160, 255);
16.                    while (1) {
17.                        readsensor();
18.                        if (Sen == 0B1111111) {
19.                            break;
20.                .....

```

程序中 `straight_test()` 即上述巡线程序的 `straight_Test(255)`，即全速巡线前进；`measure()` 函数用于测量距离并将单位转化为厘米，`distance` 用于记录距离。

同样，三次检测到距离在 (20, 50) 的区间时便右转。其中，距离设有下限是防止超声波接触不良或收到干扰而接收到 0 的数据。右转后弧线向前行驶，以保证回到黑线时的前进方向，当前排的红外传感器都检测到白色时视为避障结束，接下来直接进入巡线的循环，遇到黑线即能自动调整至沿着黑线前进。



## 5. 机械爪控制方案:

为了方便地修改动作,使得机械臂动作控制更加直观和灵活,我们放弃了舵机控制板通过上位机储存动作组的方法,选择通过单片机给舵机控制板发送指令来控制舵机。这样会在前期准备是花更多时间,但在调试时却会节约很多时间,提高效率与与精准度。关键程序代码如下:

```

1.  #ifndef MYSERVO_H
2.  #define MYSERVO_H
3.
4.  #include <Arduino.h>
5.  #include <Wire.h>
6.
7.  //发送部分的指令
8.  #define FRAME_HEADER      0xFF  //帧头
9.  #define CMD_SERVO_SPEED   0x01  //设置舵机速度
10. #define CMD_SERVO_PLACE   0x02  //设置舵机位置
11. #define CMD_ACTION_GROUP_RUN 0x09 //运行动作组
12. #define CMD_STOP_REFRESH   0x0b  //急停、恢复指令
13.
14. class MyServo{
15. public:
16.     MyServo(HardwareSerial &A);
17.
18.     void moveServo(uint8_t servoID, uint16_t Position, uint16_t Speed);
19.     void moveServos(uint8_t Num, uint16_t Speed, ...);
20.     void runActionGroup(uint8_t NumOfAction);
21.     void stopServo(void);
22.     void refreshServo(void);
23.
24. public:
25.     bool isRunning; //正在运行
26.
27.     HardwareSerial *SerialX;
28. };
29. #endif

```

上述程序为我们自行编写的 Arduino 库,即新创建了舵机的类以及其子函数。单片机通过调用这些函数给舵机控制板发送数据帧来控制舵机,这在方便地控制多个舵机的运动的同时,大大减小了主程序的复杂度。

```

1.  void servo_(int D1, int D2, int D3, int D4, int D5, int D6) {
2.      servo.moveServos(6, 8, 10, D1, 11, D2, 12, D3, 13, D4, 14, D5, 15, D6);
3.  }

```

上述函数为调用 Myservo 类中子函数的例子,用以设置任意舵机为任意角度。

除此之外,为方便调试,我们还通过以下函数实现了串口控制舵机角度,对机械臂位置

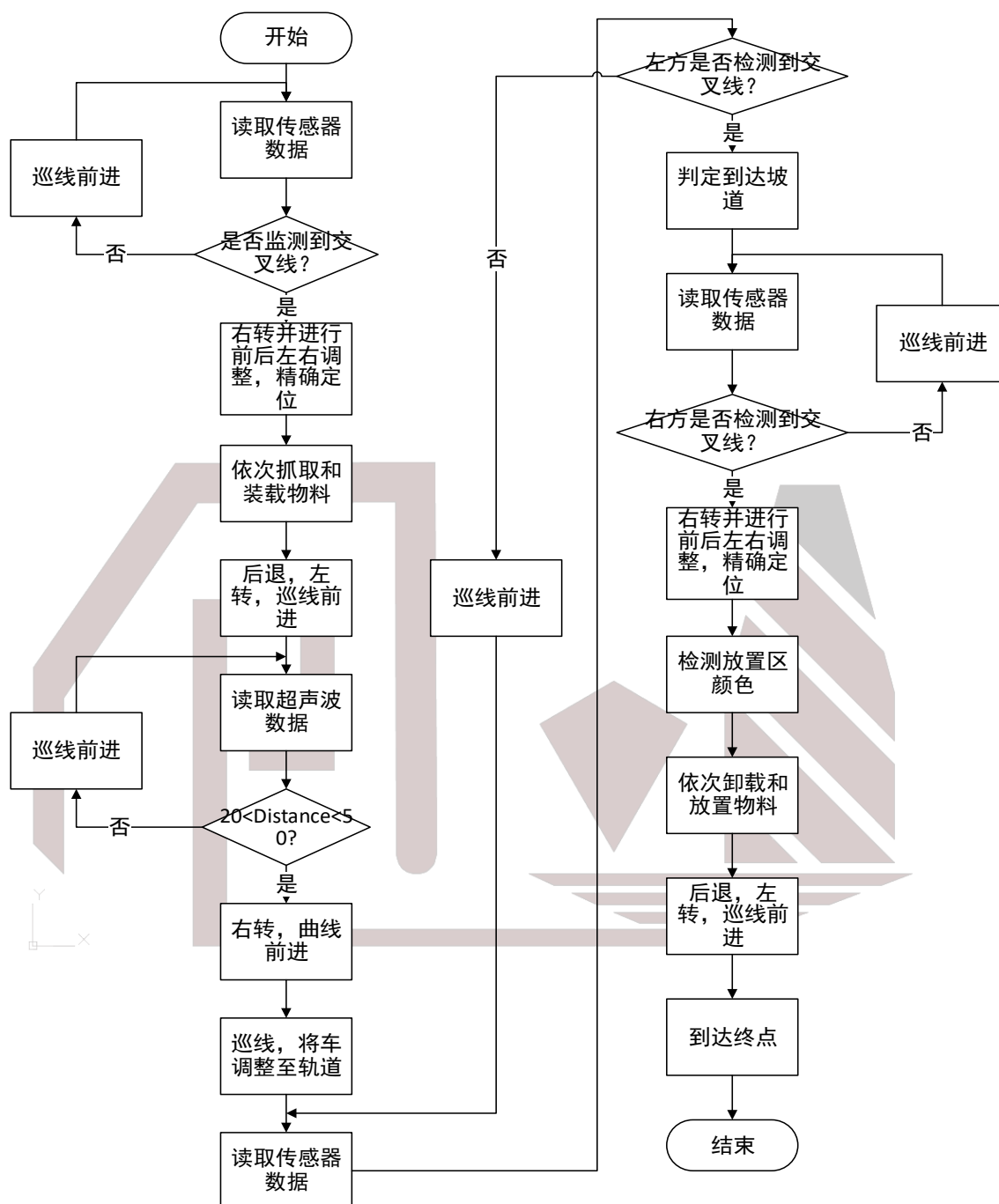
进行微调时非常精准且方便，主要程序如下：

```
1. void Servo_test(int D1, int D2, int D3, int D4, int D5, int D6) {  
2.     char getstr;  
3.     while (1) {  
4.         getstr = Serial.read();  
5.         switch (getstr) {  
6.             case 'a':  
7.                 D1--;  
8.                 if (D1 < 0) {  
9.                     D1 = 0;  
10.                    Serial.println("Servo A is too small");  
11.                }  
12.                break;  
13.             case 'A':  
14.                 D1++;  
15.                 if (D1 > 180) {  
16.                     D1 = 180;  
17.                    Serial.println("Servo A is too big");  
18.                }  
19.                break;  
20.             case 'b':  
21.                 .....
```

这让我们可以在线微调舵机角度，避免了多次的上传程序的步骤，可以通过微调到合适角度，再通过串口返回当前参数以方便记录，继而修改程序。并且，它也让我们实现了利用手机蓝牙通讯，无线连接进行调试。

在此基础上，我们将机械臂的动作分为将物料从装载区抓起来（catch）、将物料放置到小车储物区（load）、将物料从小车储物区拿出来（unload）、将物料放置到载物台（put）四个主要部分。通过四组动作的不同组合，可以很方便地实现将物料从任意放置取出放到到任意位置的目的。

## 6. 整体程序流程图：



## 七、工艺设计方案

### 1. 小车底板

#### a) 功能分析

为了给小车的储物部分留有足够的空间，保证小车上方的整洁，我们决定将电路部分都放在底板下方，因此底板的合理设计十分重要。

底板布局如下图所示：

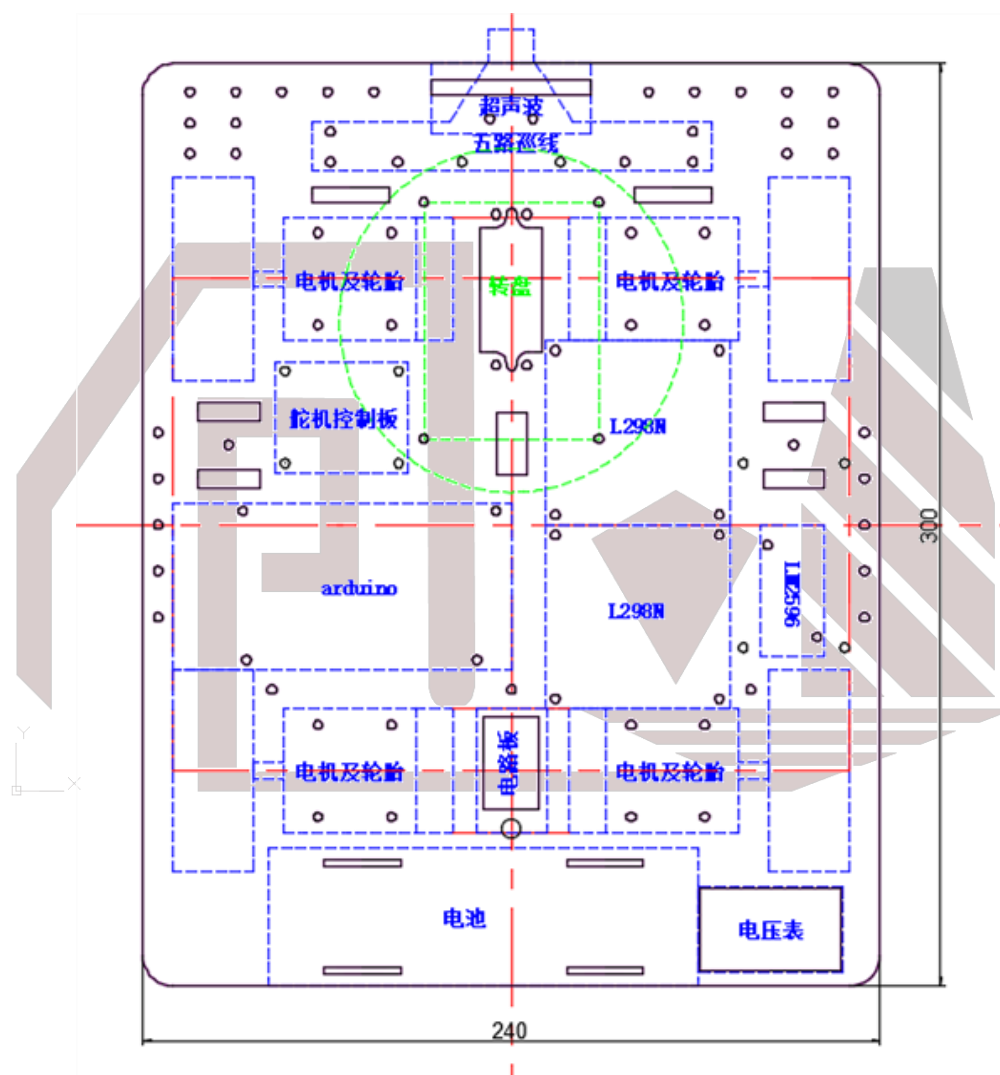


图 20 底板设计示意图

除转盘和电池在底板上方外，其余模块都被放置在底板下方，这样可以机械臂的活动留出足够的空间，同时由于各模块距离较近，使得接线不至于太凌乱。电池布置在小车后方，使小车的重心尽可能平衡。电压表可以很方便地显示电池的电压和电流。底板上除固定各个模块所必须的螺丝孔之外，还多留了很多小孔，用于走线以及备用。

#### b) 加工工艺

底板应保证足够的厚度和面积以保证足够的强度，故选用不易发生变形的亚克力材料。该材料可用数控铣床和激光切割加工，但考虑到铣床切屑较多不宜清洁，且毛坯面积大，难

以夹持，故采用激光切割工艺进行加工。激光切割具有不接触材料，速度快等特点，加工工序简单，耗时小，效率高。

### c) 设计改进

从使用过程中得到的经验，多次改进后我们最终设计出以下底板：

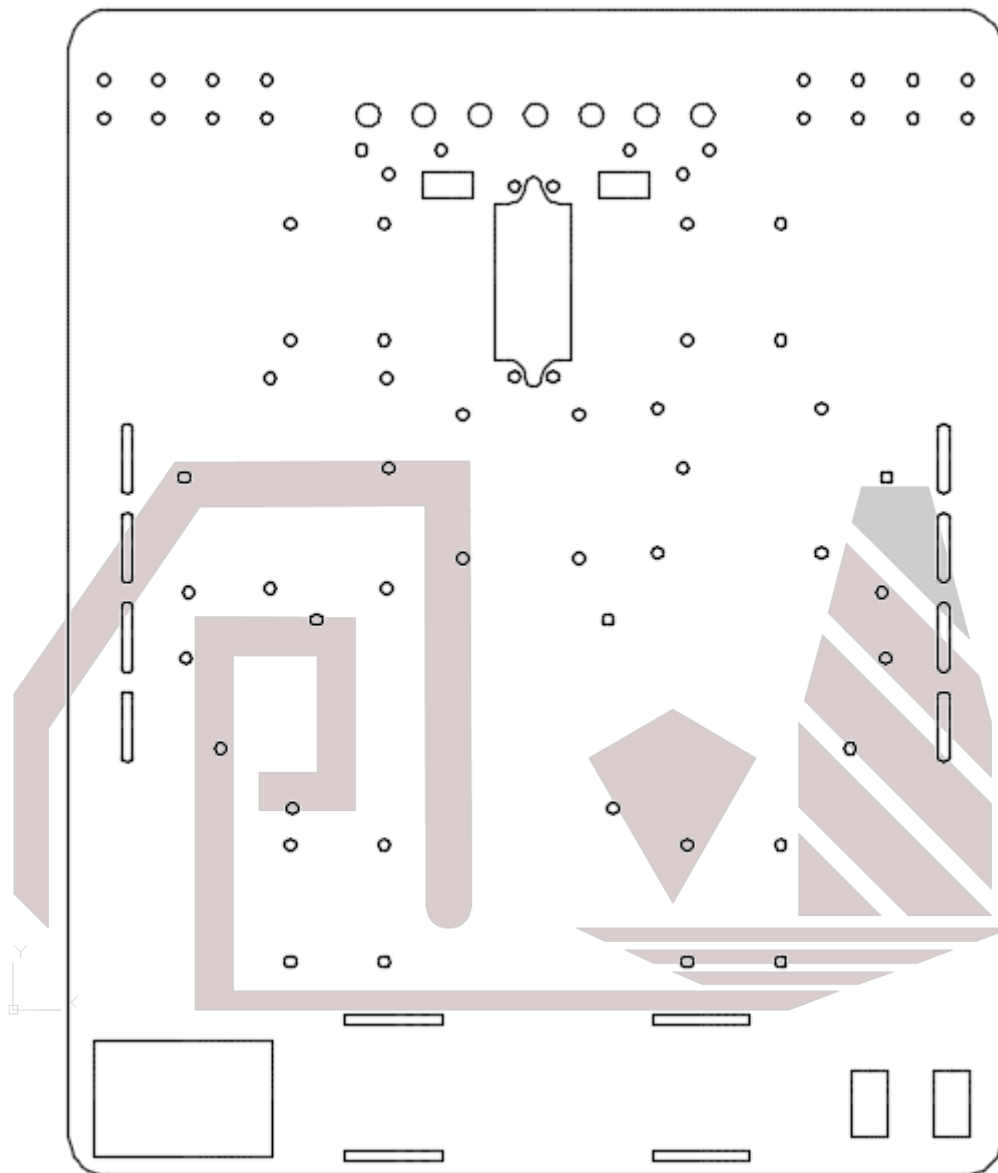


图 21 改进底板示意图

主要改动如下：

- 1) 将两侧固定红外传感器的孔改为了槽，以方便调整位置；
- 2) 右下方留有两个开关孔以实现多级供电控制，方便调试；
- 3) 前方留有一排半径较大孔方便插入螺丝刀调节精度；
- 4) 左右均留有固定超声波的孔，方便调整位置，同时将中间一个超声波改为左右两边各一个超声波以达到精确定位的功能。



## 2. 储物装置一

原始储物示意图如下：

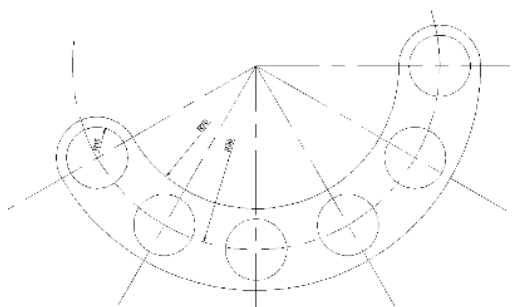


图 22 摆放位置示意图

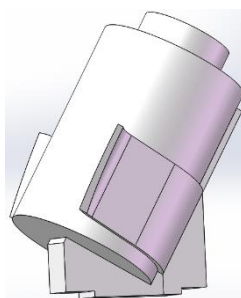


图 23 储物侧面图

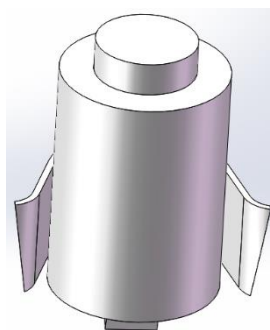


图 24 储物正面图

### a) 功能分析

为减少机械臂调试的复杂度，同时尽可能多地存放物块，我们采用了在机械臂周围环形存储 6 个物块的方案。考虑到机械臂抓取的难易程度，同时保证物料放置的稳定性，我们采取了物料倾斜放置的方案。

倾斜放置的物料更容易抓取和放置，由于侧边接触面积更大，这样放置在小车移动和上坡过程中物料不容易倾倒。较宽的开口设计使得物料更容易放进去，降低对机械臂精度的要求。上方较窄的设计既满足了支撑物料的需求，又不会妨碍物料的抓取和放置。

### b) 加工工艺

储物装置为异型件，为整体，不易拆分，但对材料强度要求不高，适合用 3D 打印制作；下方的亚克力板由于面积大，故采用激光切割。

整体效果图如下：

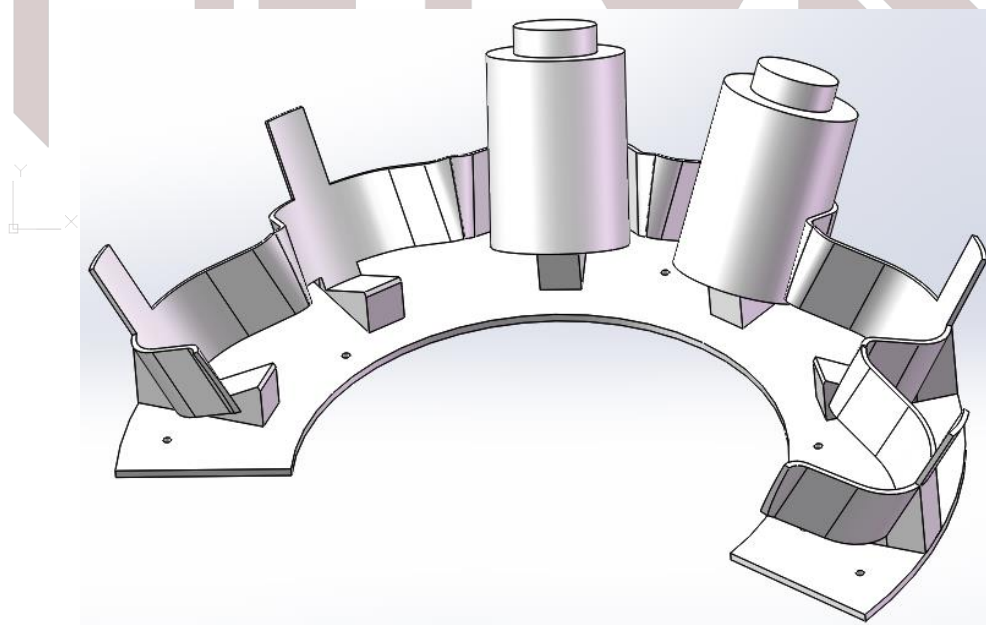


图 25 储物装配效果图

### 3. 储物装置二（可变式）

改进后的可变式储物装置如下图所示：

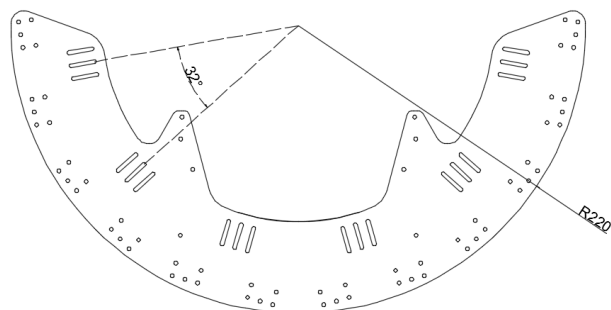


图 26 环形底板

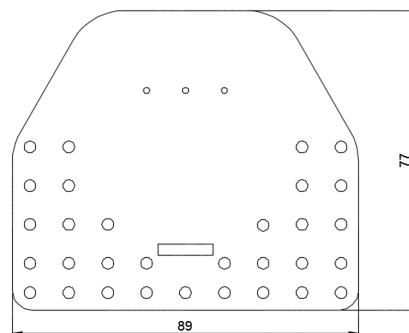


图 27 单个储物底板

储物装置由一块环形的底板、六块倾斜放置的小板等连接而成每块斜板和底板之间由若干 3D 打印的零件连接。连接件示意图如下图：

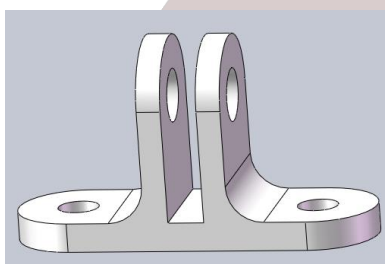


图 28 连接件一

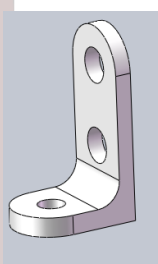


图 29 连接件二

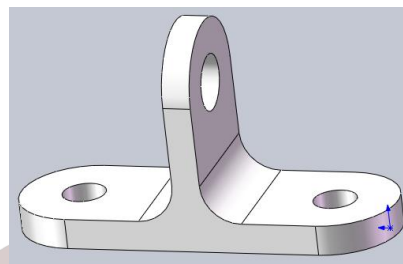


图 30 连接件三

零件之间以铰接的方式连接，其中一处连接点可以平行移动，能够很方便地调整斜板的角

度。斜板上预留了很多小孔，在其上可以很方便地组装和更改零件，用以适应不同形状和大小的物品。

具体装配示意图如下图所示：

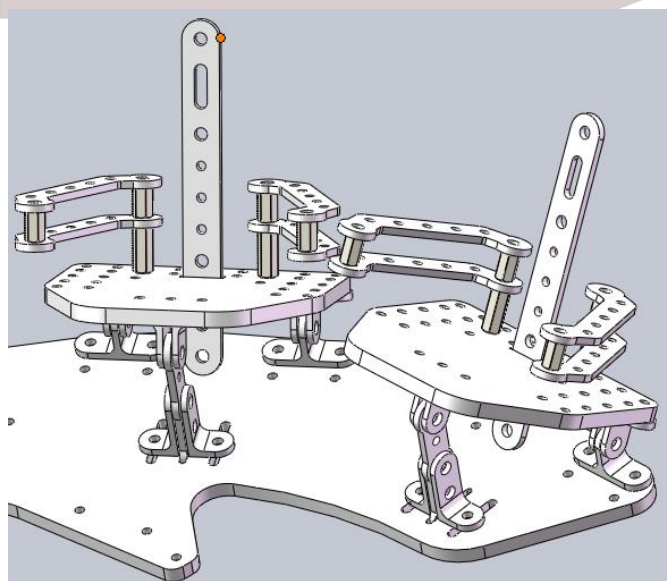


图 31 可变式储物装置装配示意图

## 4. 机械爪

由于原有机械爪所用舵机太重，并且爪子张口较小，为减轻重量并且使其适应抓物料的需求，我们对机械爪进行了改进。改进后机械爪如下图所示：

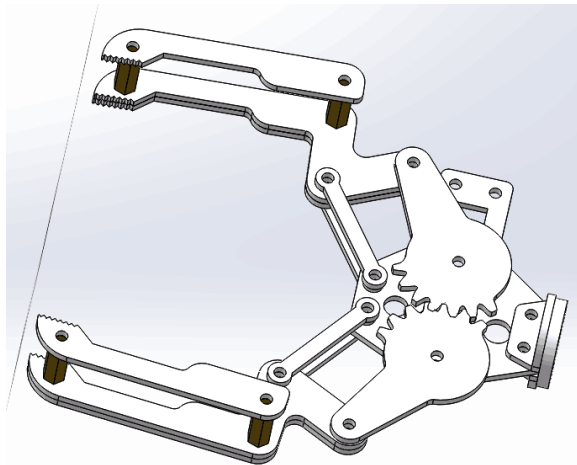


图 32 机械爪装配示意图（1）

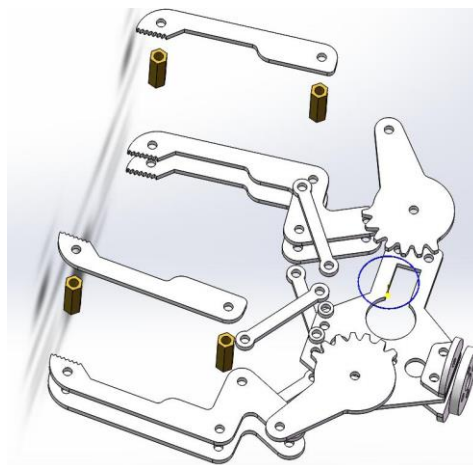


图 33 机械爪装配示意图（2）

我们将机械爪的爪片向外延伸，并适当加长，使之能够抓住物料；同时增加了爪片的层数，使其抓取物料更平稳。

最关键的在于我们将控制机械爪张合的舵机和控制机械爪旋转的舵机由原来的 MG996R 替换成了 MG90S，大大减轻了机械臂前部的重量，减轻了机械臂的负担。

该机械爪由亚克力板激光切割而成，切割示意图如下图所示：

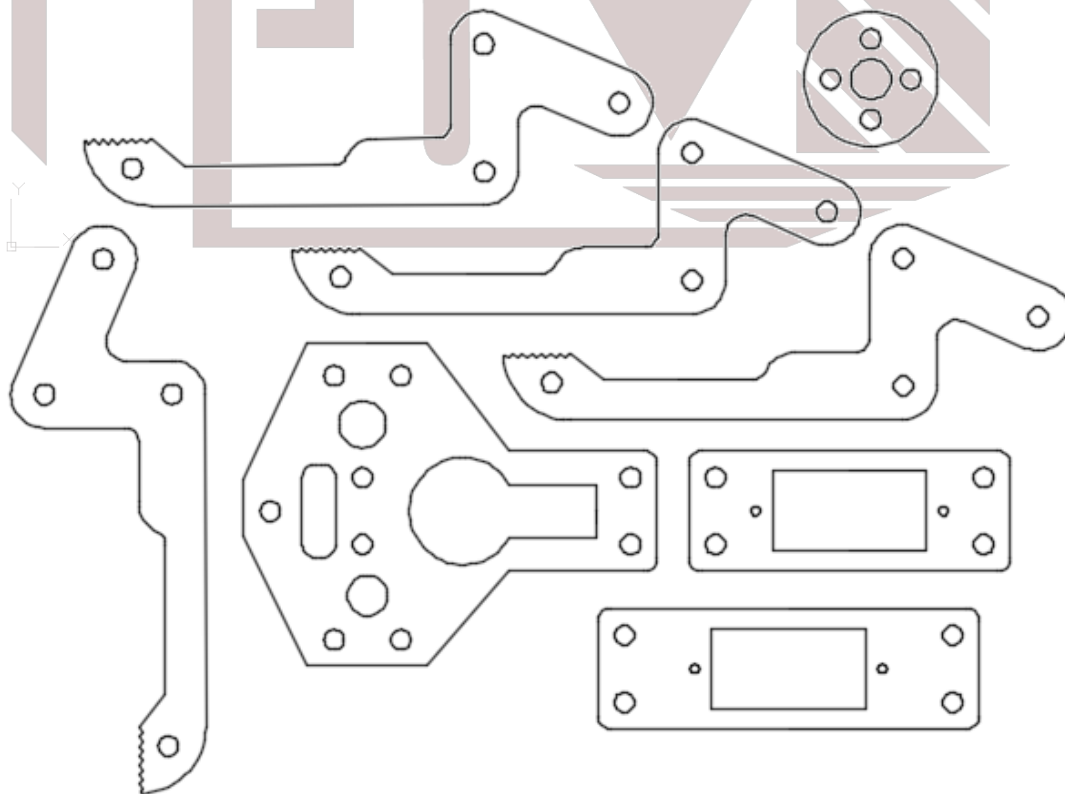


图 34 机械爪激光切割示意图

## 5. 舵机支架-机械臂

### a) 功能分析

在第二代机械臂中，由于连接件相对较多、较重，如果全部使用探索者套件将会导致机械臂非常重，在其运动，尤其是向前方伸长时会需要最下方舵机提供非常大的力矩，经过计算几乎到达它的极限。在这种工作条件下会导致舵机寿命大大下降，且精度较低。因此我们设计了以下自制件以减轻机械臂质量：

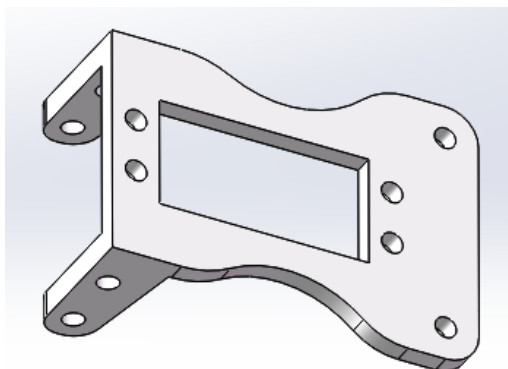


图 35 舵机支架 1 (红)

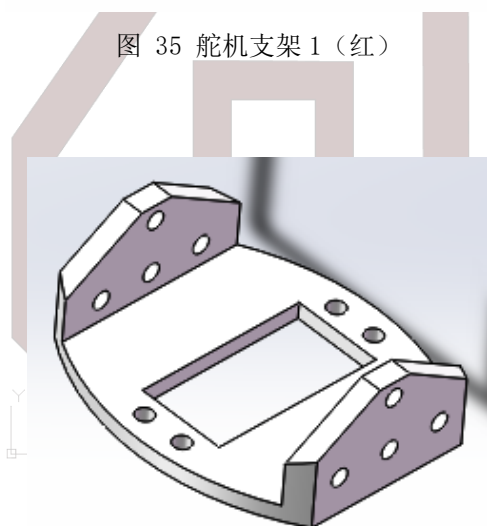


图 37 舵机支架 2 (绿)

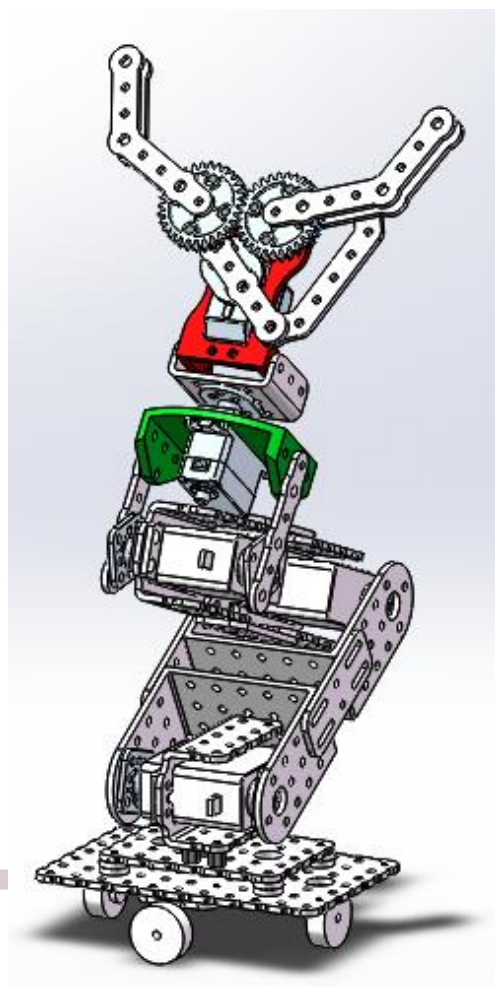


图 36 机械臂装配示意图

### b) 加工工艺

此舵机支架为异型件，两侧竖直部分为连接孔，中间为固定探索者标准舵机的孔，制作单个样品，应采用 3D 打印工艺，易于成型。批量生产可考虑采用激光切割金属板然后弯折或直接铸造。成品分别应用于由上至下第一二个舵机，强度足够且减少了连接件的使用，有效的减轻了机械臂质量。

## 6. 超声波支架

### a) 功能分析

超声波传感器通过发射声波，然后返回接收到反射回来的声波的时间间隔，它精度一般且易被干扰，尤其是在检测非平面时误差较大。由于小车中使用了两个超声波传感器应以辅助定位，为统一其位置与角度以减小误差，我们按实际尺寸自行设计超声波支架如下：

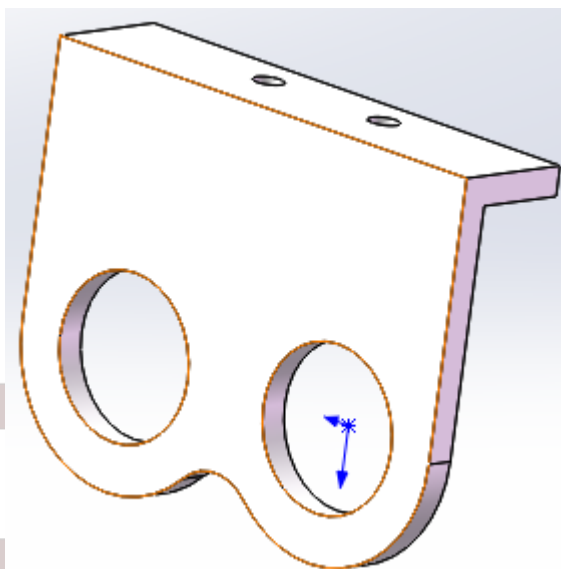


图 38 超声波支架示意图

### b) 加工工艺

该样品采用 3D 打印制造，相对于市场买的超声波支架来说尺寸更加精准，且固定高度可定制，更个性化，避免了通过添加螺母、铜柱等调整高度。



## 7. 转动平台

### a) 功能分析

为减轻整车重量，我们放弃了之前使用的金属转盘，选择了探索者现有的四个小轮组成的转盘，为给小轮提供一个平整的活动区域，且保证机械臂的稳定性，避免晃动，我们在底板上加了一较小转动平台，如下图所示：

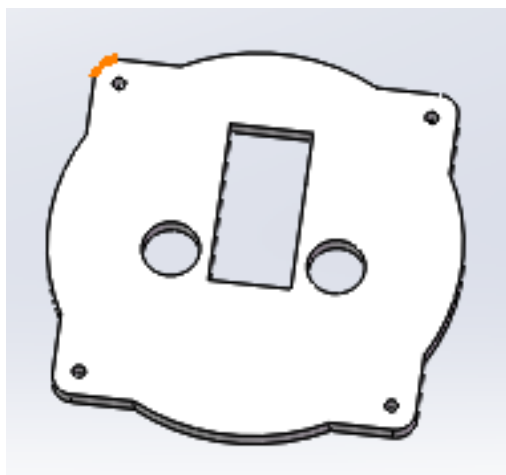


图 39 转动平台示意图

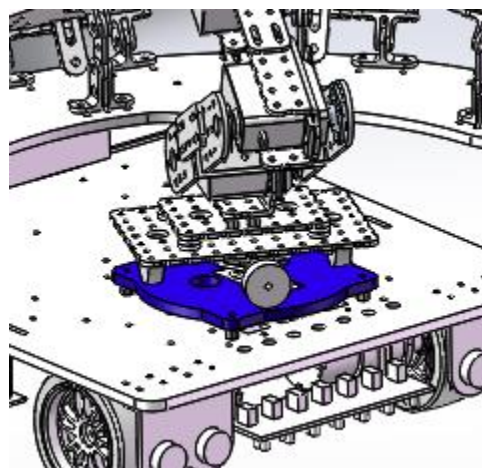


图 40 转动平台装配示意图

### b) 加工工艺

该板为关键承重装置，对定位精度要求高，材质为较厚的亚克力板，宜采用激光切割加工。其中方孔供舵机穿过，两圆孔用于通过上方各个舵机的信号线，右图为其装配位置。

