

面向智慧海洋牧场的复杂场景下 鱼类养殖智能投喂系统

摘要: 智慧海洋牧场作为一种海洋经济新业态，技术含量高，极具发展潜力，是我国实现海洋生态文明、“海洋碳中和”、和海洋强国战略的重要途径。针对目前海洋牧场智能化牧养技术的投-养-捕关键装备技术问题，本文设计了一种面向智慧海洋牧场的复杂场景下鱼类养殖智能投喂装置系统。该装置整体由控制系统、存储系统、发射系统、行进系统等组成，并结合物联网技术、饵料喷射动力学、多仓存储等特点，实现了分布式饵料投喂和分时定点定量饵料智能精准投喂技术。同时，运用物理学中抛射体运动的动力学理论分析和数值模拟计算，得到了饵料喷管的最佳喷洒角度，能极大地提高其喷洒效率。本装置在浙江省智慧海洋经济强省和“蓝色粮仓”建设中的科技创新方面提供了一种潜在的应用案例和技术参考，具有较广泛的应用前景。

关键字: 智慧海洋牧场；智能化牧养；智能投喂；物联网；抛射体运动

1 研究背景、目的及意义

1.1 研究背景

我国海域辽阔，岛屿众多，岸线绵延曲折，拥有良好的天然海洋生态环境和丰富的海洋生物资源。然而，随着经济社会快速发展，受过度捕捞、海洋工程建设以及环境污染等因素影响，我国近海渔业资源出现严重衰退、海域生态环境日益恶化，严重影响了我国海洋生态环境和海洋渔业的可持续发展。海洋渔业是我国海洋经济不可或缺的一环，为了养护海洋渔业资源，促进海洋渔业转型升级，我国提出了发展海洋牧场的新思路^[1-3]。

海洋牧场^[4]，是指在特定海域内，通过人工渔礁建设和藻类培养营造一个适宜海洋生物栖息的场所，并利用人工投饵、环境监测、水下监视、资源管理等技术进行渔场的运营管理，以增加和恢复渔业资源的生态养殖渔场。从 1977 年日本建成世界上第一个海洋牧场至今，海洋牧场迅速在世界各国得到广泛应用^[5-6]。

近年来，我国高度重视海洋牧场建设和发展。2013 年国务院便明确海洋渔业发展要坚持“生态优先”，发展海洋牧场；2017 年，原农业部发布了《国家级海洋牧场示范区建设规划（2017~2025）》，为我国海洋牧场的建设和发展提供了规范指导。“十四五”规划纲要提出，优化近海绿色养殖布局，建设海洋牧场，发展可持续海洋渔业。2023 年中央一号文件提出，建设现代化海洋牧场。2023 年 4 月，习近平总书记在广东考察时强调，要树立大食物观，

既向陆地要食物，也要向海洋要食物，耕海牧渔，建设海上牧场、“蓝色粮仓”。在相关国家政策的带动下，各地建设海洋牧场积极性空前高涨，已建成国家级海洋牧场示范区 169 个，其中浙江省 11 个，我国海洋牧场建设初具规模^[7]。

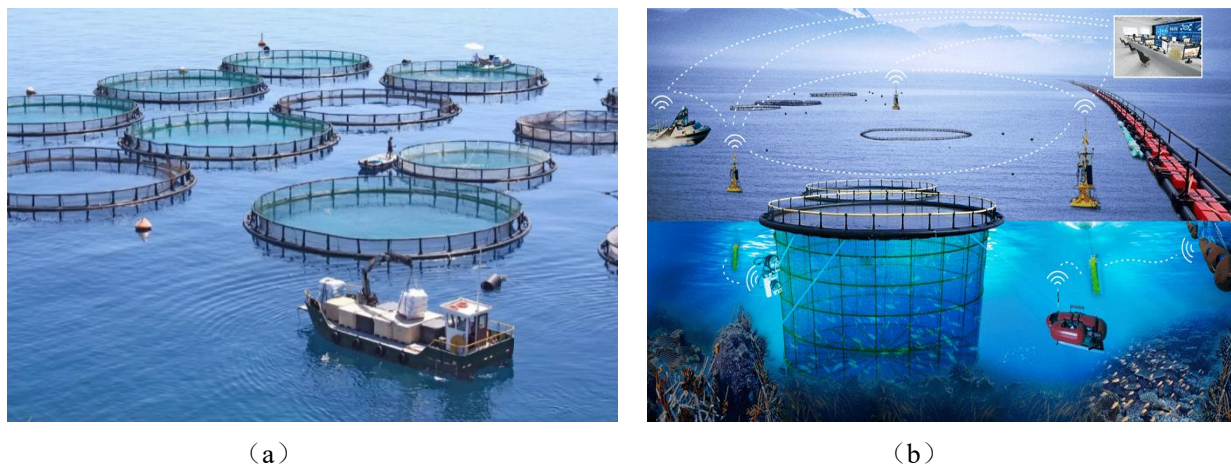


图 1 (a) 传统海洋牧场； (b) 智慧海洋牧场

然而，随着物联网、人工智能、云计算等现代技术的快速发展，互联网+、数字化、智慧化等概念的相继提出，“智慧化”逐渐融入到了我们生活中的各处，当然也包括了海洋渔业养殖方面，新时代提出了智慧海洋牧场的概念^[8-9]。所谓智慧海洋牧场，其发展目标是对牧场范围内的海洋和渔业信息进行有效的感知、采集、传输、交互、存储和分析应用，进而为水下任务的完成和牧场的管控经营提供信息保障。将原先以人工鱼礁、网箱养殖、增殖放流为主要手段的传统海洋牧场进行升级，实现海洋牧场的可视化、网络化、数字化和智能化，提高海洋牧场的生产效率和可持续性发展，是我国未来海洋经济发展的重要方向之一。

基于这样的时代背景下，我们针对智慧海洋牧场中如何面向复杂场景下鱼类养殖智能投喂系统进行了研究和产品设计。

1.2 研究目的

1.2.1 需求分析

1) 在传统的渔业养殖饵料投喂过程中，需要靠人力将饵料扬出（如图 2），以及进入不同的池塘，耗费人力，效率低，故希望减少人力的消耗，提高效率使整个投喂的过程更加的自动化、智慧化；

2) 鱼饵料的品种较多，如颗粒饵料、饼类饵料等，且各品种的鱼以及大小的鱼所需要的饵料类型也不同（如图 3 所示），此外有时需要添加一些维生素类的药物等，故需一台机器能储存多种类型的饵料在投喂时以满足不同要求；

3) 投喂饵料过量会导致水体的污染, 过于集中会导致大量的鱼无法吃到饲料, 在传统人工喂食的方式下无法满足精准定量需求;

4) 一般经验是, 当水温为 15 度~32 度时, 每天投喂三四次, 至少每天投喂两次; 当水温 8 度~15 度时, 每天投喂一次。故小车内部的储能系统需要满足定时定量要求;

5) 查询中国专利网可知, 当下对于自动鱼饵料投喂机器的设计少之又少, 此外国家目前有实施智慧海洋牧场的战略, 故此处的市场和科技还未被开发, 有很好的应用前景和市场。



图 2 传统渔民饵料投喂



图 3 不同规格的鱼饵料

1.2.2 解决方式

1) 可以借用飞机上天产生巨大推力的原理, 选用一个强动力涵道, 以提供强大风力, 将鱼饵料推出, 以代替人为手动抛洒。

2) 机器上同时储备几个对应的饵料箱, 通过在各个养殖网箱设置不同二维码标牌, 在机器上设置二维码识别系统, 当识别到对应的池塘二维码时, 所对应舱室内的饵料调入工作仓, 之后打出。

3) 通过定时定量喷射, 以及喷洒空气筒角度的改变再加上机器移动, 在不同位置处喷洒不同距离的饲料, 使得饲料更加均匀, 播撒范围更大。

4) 此处使用蓄电池进行动力提供, 设置电力不足时的指示灯闪亮进行充电。且我国太阳能光伏蓄电池技术研究较为先进, 可以满足深海养殖环境。

5) 饵料小车的运动采用循迹的原理, 车子下装有循迹模块巡线传感器, 通过传感器接收底下光的反射从而进行运动。

1.3 研究意义

相比于传统的海洋牧场, 智慧型海洋牧场是信息化时代对海洋牧场的升级和改造, 是将现代新兴信息技术, 如物联网、人工智能、云计算、大数据等应用到海洋牧场的建设, 实现智能反应, 科学决策, 智慧化管控的现代化海洋牧场。浙江是海洋资源大省, 但在现代化海洋牧场建设中比较滞后, 仍然以传统的人工鱼礁和增殖放流为海洋牧场重点。本项目聚焦于海洋牧场的智能化牧养技术, 为海洋牧场智能化提供装备技术应用案例, 将在浙江海洋强省战略建设工作中有较大的现实意义。

2 设计方案与工作原理

2.1 整体设计思路

整个系统主要包括: 控制系统、识别系统、存储系统、行进系统和发射系统。

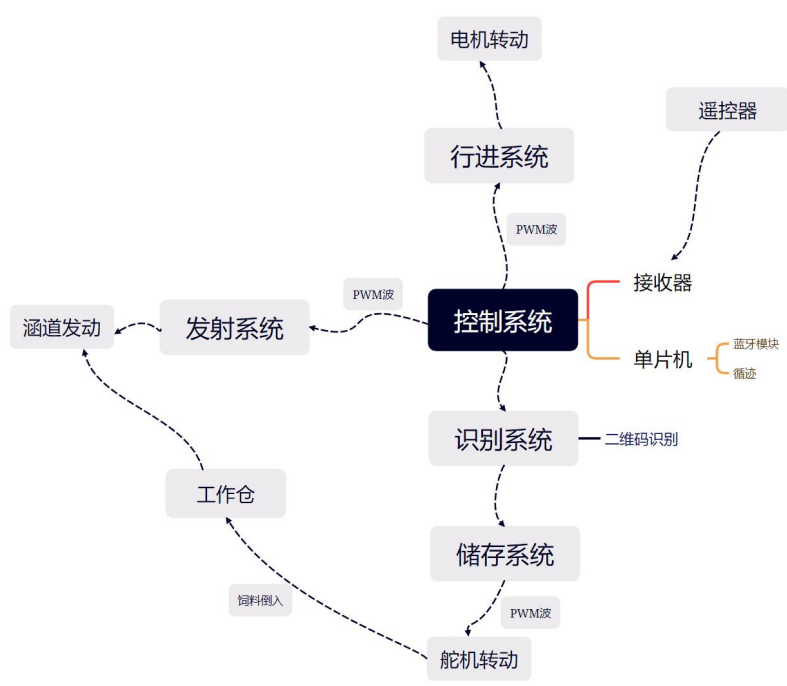


图4 整体设计框架图

2.2 控制系统

2.2.1 航模遥控系统

使用者通过操控遥控器的方式进行作业，小车的运动（前进和转弯）通过右手摇杆进行操控，而空气筒通过左摇杆进行实现，通过向上推和向下拉实现空气筒的俯仰动作以及左右遥感摆动实现空气筒的左右调控。仓库内的小斗通过轴进行控制，轴与舵机相连接，通过调控拨杆来改变小斗的反转角度，实现不进料，进料和快速进料三种工作状态。遥控器的调控接收器接受遥控器发出来的信号，然后通过电子调速器内部的 h 桥电路来控制电机的正转反转，通过输出 pwm 波的方式来实现不同速度的调整。遥控器发出信号被接收器接收，接收器输出高低不同电平给电调，使得电调输出正向、负向电流给电机，从而使电机实现正转以及反转，满足轮子的转动以及轴的运动。当小斗中的饲料落入空气筒之后，拨动开关，涵道开始工作，并且通过摇杆改变空气筒角度，吹出饲料。



图 5 遥控器

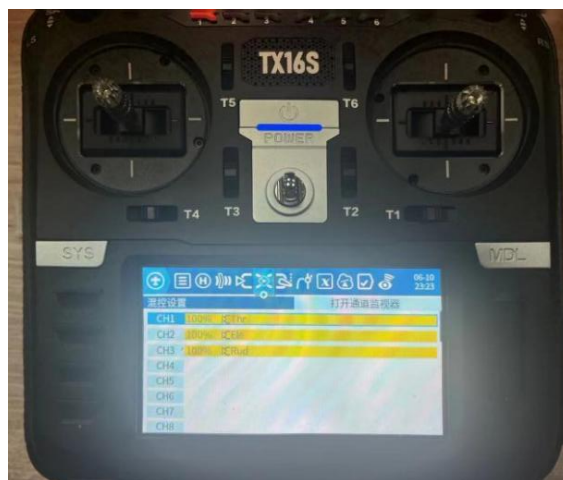


图 6 遥控设定页面

2.2.2 蓝牙控制部分

Arduino 板作为主控制器，接收来自蓝牙模块的指令，并根据指令控制相关的模块。HC-06 蓝牙模块通过无线蓝牙技术与 Arduino 板通信，将来自遥控器的指令传输给 Arduino 板。L298N 直流电机驱动模块用于控制小车的前进和后退。通过控制驱动模块的电机引脚，可以实现小车轮子的正反转，从而控制小车的运动方向。三个开关连接到 Arduino 板的数字输入引脚，用于控制三个仓门的开关。当开关被按下时，Arduino 板会检测到信号，并执行相应的操作，控制仓门的开关状态。机械臂舵机连接到 Arduino 板的 PWM 引脚，用于控制机械臂的运动。

通过调整底部舵机的角度，可以实现炮筒的上下运动。

使用者通过手机上的小程序对小车进行控制，且小车上配备摄像头，实时反馈当前环境状态，使得使用者能进行远程操控，从而达到运动要求。

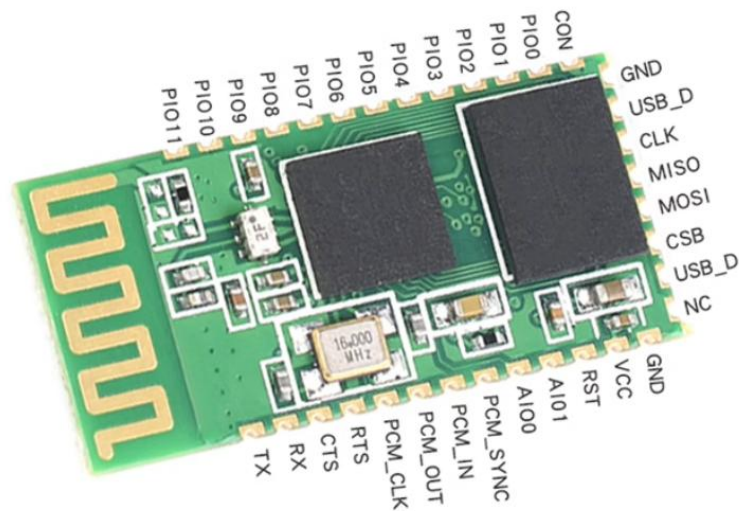


图 7 蓝牙模块

2.2.3 航模无刷电子调速器

标准的航模有它规定的遥控信号格式即发送端发出周期为 20ms 的周期信号，每个周期传送 N 个通道 每个通道用脉宽为 1ms-2ms 的正极性脉冲来控制^[10]。PWM 波的控制方式就是对逆变电路开关器件的通断进行控制，使输出端得到一系列幅值相等的脉冲，用这些脉冲来代替正弦波或所需要的波形。也就是在输出波形的半个周期中产生多个脉冲，使各脉冲的等值电压为正弦波形，所获得的输出平滑且低次谐波少。按一定的规则对各脉冲的宽度进行调制，即可改变逆变电路输出电压的大小，也可改变输出频率。以舵机为例，舵机的连接线都是三根导线加一个接头。三线的排列一般为 1-信号线；2-正电源线；3-负电源线，舵机转动角度范围 0-180 度 通过周期为 20ms 的 PWM 信号控制。PWM 信号高电平延时时间在 0.5-2.5ms 之间。高电平的持续时间决定了舵机的角度。例如高电平为 0.5ms 时,舵机将转到 度 0 度；高电平为 1.5ms 时,舵机将转到 90 度;高电平为 2.5ms 时,舵机将转到 180 度。

表 1 WFLY 接收器主要参数

频段	2.400GHz-2.483GHz
电源	4.8V-6V
通道数量	7 通道



图 8 航模接收器



图 9 舵机



图 10 电子调速器

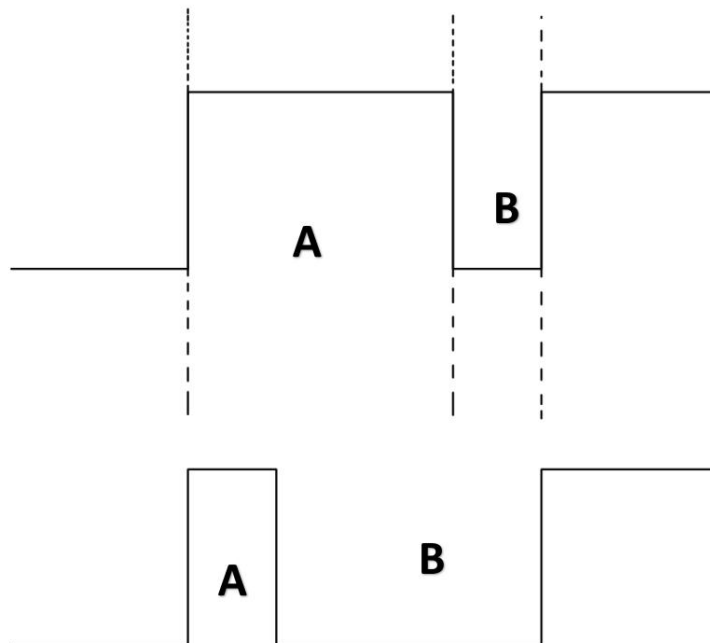


图 11 PWM 波

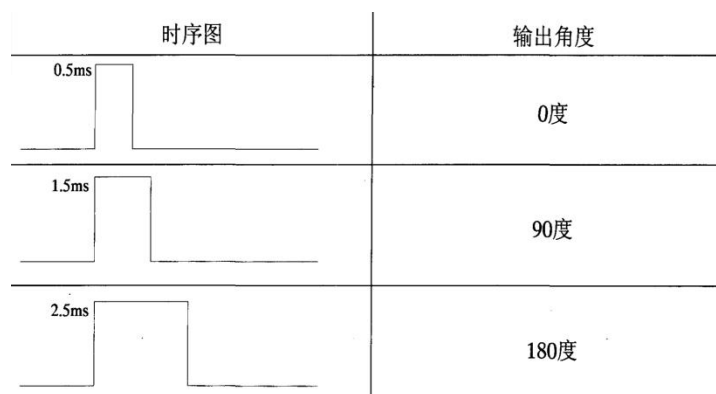


图 12 PWM 波和舵机关系

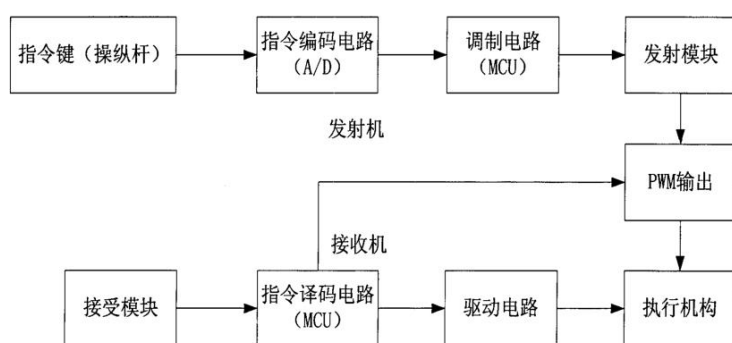


图 13 流程图

2.3 二维码识别系统

二维码识别系统其分为编码以及解码两部分，首先，将要编码的数据转换为二进制码，然后将其按照一定规则分组，每组数据成为一个字符。随后，为了提高二维码的识别率，需要为每个字符生成一组误差校正码。采用的算法是 Reed-Solomon 编码，最后将数据和误差校正码按照一定的规则排列到二维码矩阵中^[11]。编码过程完成，而解码过程则是先进行定位和对齐，确定二维码的位置和方向。在每一个二维码中包含了三个定位图案和一个对齐图案，通过这些图案可以确定二维码的位置和方向。随后，提取出二维码矩阵中的数据和误差校验码，并对数据进行纠错处理。将数据还原为原始的二进制码，并将其转换为对应的字符。

我们在此处选用 GM65 扫描设备模块其通过 MGM65 的 TX 引脚与单边机的 RX 引脚相连接，实现串口通讯的功能。Y 用二维码的生成器生成目标信息所需要的二维码，GM65 模块将扫描到的二维码信息通过串口输出，接着单边机接收并解析串口数据，通过一系列的条件判断和函数的调用，从而实现特定仓门的投料功能。

表 2 GM65 扫描设备模块主要参数

光学系统	CMOS
电压	5V
电流	扫描时 120mA / 待机时 30mA
识别角度	旋转 360 ° ； 偏转 ± 60 ° ； 倾斜 ± 65 °

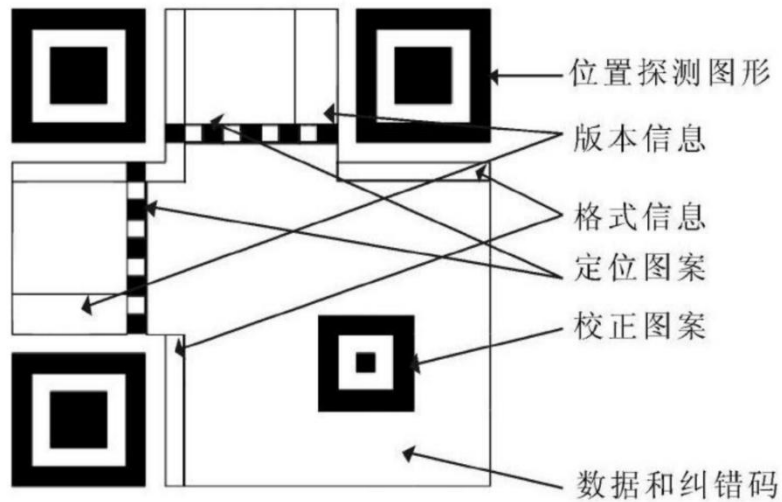


图 14 二维码构造

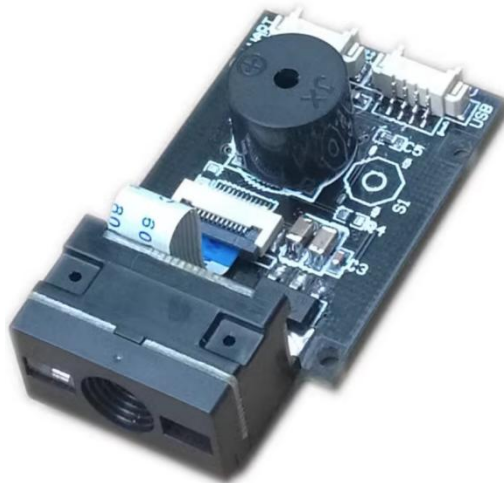


图 15 GM65 扫描设备模块

2.4 储存系统

此处以 3 个饲料舱为例子，饲料放在舱内，底部由 1 结构进行支撑。当小车上的摄像头识别到二维码时，对应舱室内的 1 结构开始在舵机的控制下进行旋转，从而使得饲料落下，进入到工作仓中。且配有舱内饲料储量识别系统，在舱内画一条黑线，当饲料充足时，饲料

遮住黑线，外置信号灯不闪烁，当饲料量低于黑线的时候，摄像头识别到黑线，外置信号灯开始闪烁，提醒加料。

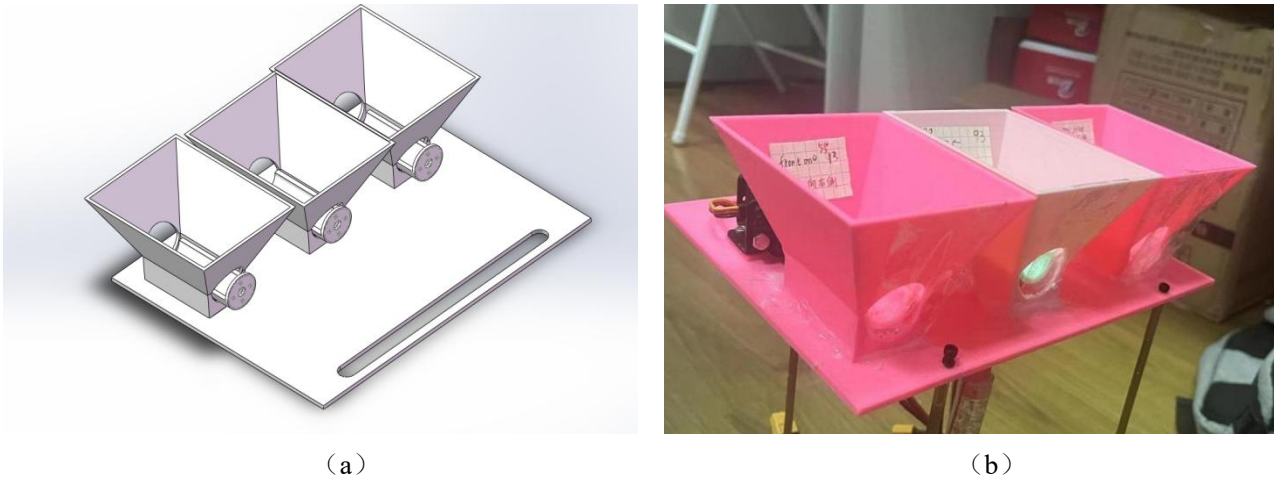


图 16 (a) 饵料仓建模；(b) 饵料仓 3D 打印实物

2.5 行进系统

对于行进系统控制，我们采用的是小车循迹方式。人通常所看到的物体颜色，实际上是物体表面吸收了照射到它上面的白光（日光）中的一部分有色成分，而反射出的另一部分有色光在人眼中的反应。白色是由各种频率的可见光混合在一起构成的，也就是说白光中包含着各种颜色的色光（如红 R、黄 Y、绿 G、青 V、蓝 B、紫 P）。根据德国物理学家赫姆霍兹的三原色理论可知，各种颜色是由不同比例的三原色（红、绿、蓝）混合而成的^[12]。由三原色感应原理可知，如果知道构成各种颜色的三原色的值，就能够知道所测试物体的颜色。而循迹系统中仅对黑颜色进行了判断。

此处我们选用 4 路循迹模块巡线传感器（图 19），数字式的循迹模块，其含有红外传感器，在行进过程中，红外探头碰到黑线，向单片机发出一个 1 的高电平信号，

碰到白线发出 0 信号，向单片机发出一个 0 低电平信号。同时单片机对循迹模块发来的信息进行处理和判断，通过发来的信息，不断调整运动状态，从而保证循迹功能的实现。

表 3 4 路循迹模块巡线传感器主要参数

工作电压	3.3V-5V
工作电流	10mA-50mA
检测距离	1mm-10cm
输出信号	TTL 电平



图 17 路循迹模块巡线传感器

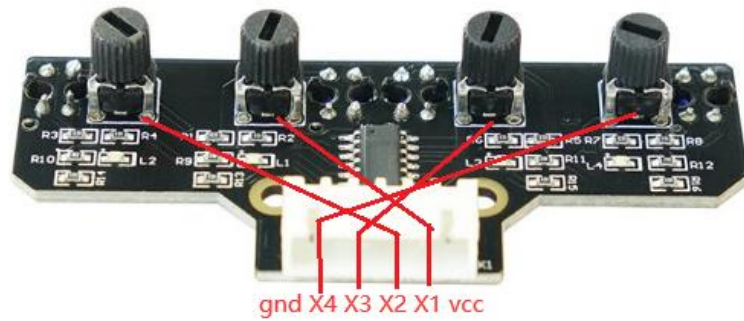


图 18 引脚示意图

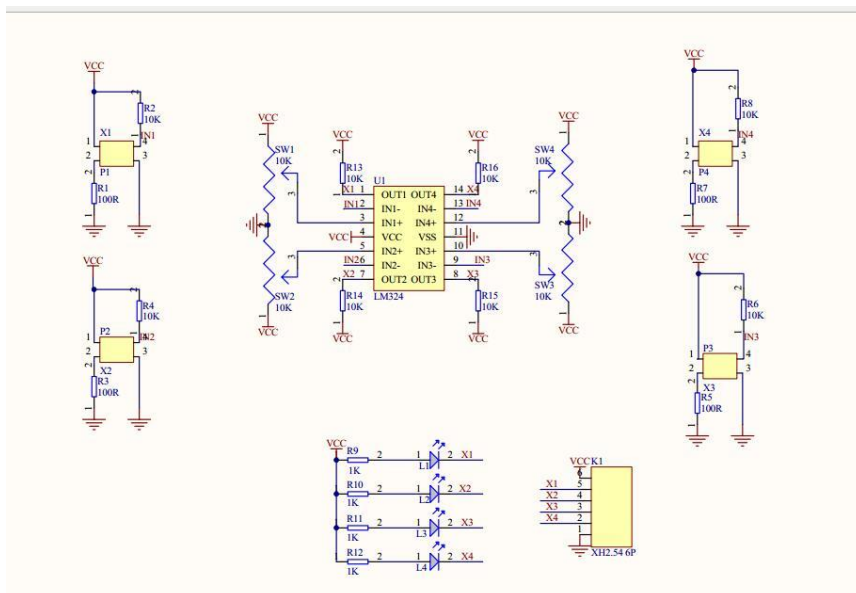


图 19 行进循迹原理图

2.6 发射系统

2.6.1 空气动力系统

我们此处选用航模中的涵道进行了一个动力装置的设计。当电机带动扇叶旋转时，扇叶会遇到空气阻力，由于扇叶角度远低于 90 度，所以空气就会沿轴向推向前方，而此时该部分推力就会将饲料直接带出。该涵道分为三根线，分别为信号线、正极以及负极，通过连接电调，接收其输出的 PWM 波进行工作。

表 4 涵道主要参数

电压	12. 6V
电流	45A
输出功率	567W
推力	950g



图 20 涵道电机实物图

我们此处选用了 50mm 的涵道电机，并用 BB 弹来代替模拟现实中的鱼饲料，一颗 BB 弹的重量约为 0. 23g，故涵道所提供的推力足以将 BB 弹从管道中推出。

2. 6. 2 喷洒空气筒系统

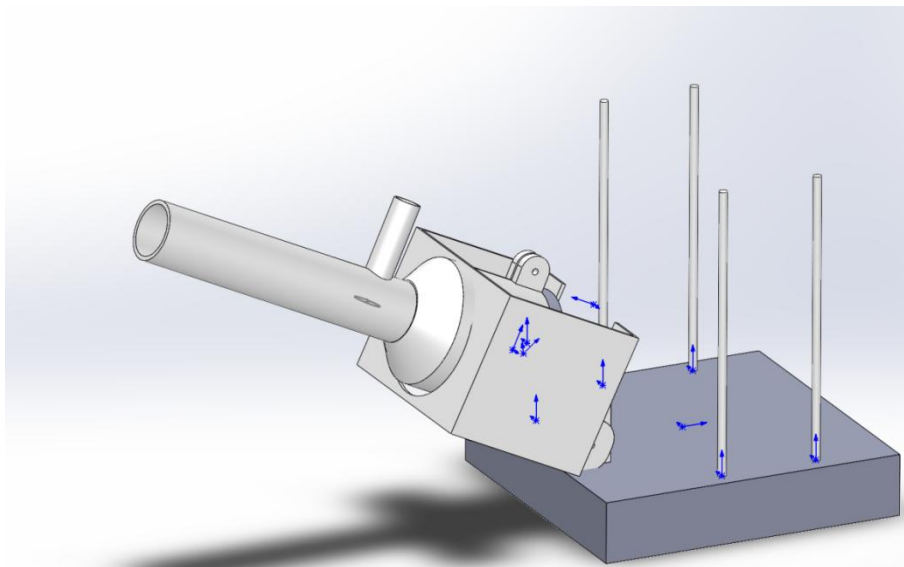


图 21 空气筒处 solid works 建模



图 22 空气筒 3D 打印实物

3 技术分析

3.1 物理模型的动力学分析

在本小节中，我们将根据抛射体运动物理原理，分析投饵机饵料喷管的喷洒效率问题，即喷管的最佳喷射角。在饵料离开炮筒之后做斜抛运动，此处探究不同喷射角度对于距离的影响。在斜抛运动中，若抛射体的初速度为 V ，投射角度为 θ ，则物体的运动方程为

$$X = vt \cos \theta ; \quad (1)$$

$$Y = vt \sin \theta - \frac{1}{2}gt^2 ; \quad (2)$$

结合式(1)，式(2)消去参数 t ，得水平射程下 $X = v^2 \sin^2 \theta / g$ 。可见当投射角为 $\theta = 45^\circ$ 的时候，物体有最远的射程。 $X_{\max} = v^2 / g$ 。但此时场景为理想场景，即出手和落点在同一水平线上，如图 23 所示。

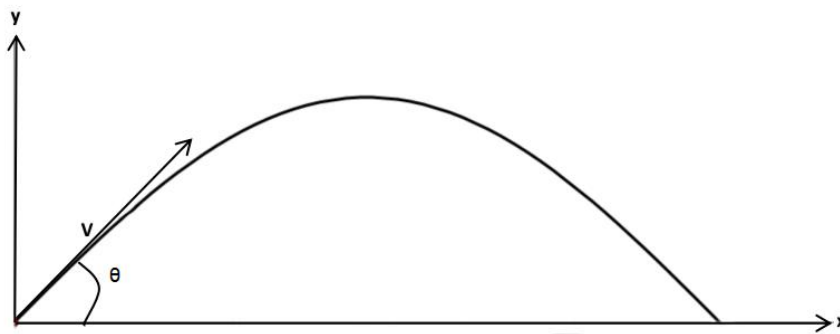


图 23 抛体运动示意图，抛射点和落地点在同一水平上

但实际情况下，鱼饲料的抛洒应该从较高地势的地方，往低地势进行一个抛洒，如图 24 所示。因此需对斜抛运动更进一步研究。设抛射点 A 落地点地面的相对高度为 h ，点 B 为弹道曲线与 A 处于同一水平线位置上，落地 C 位于直线 AB 的下方，故此时的射程应该为 OC 而非 OB，根据图 24 建立方程，

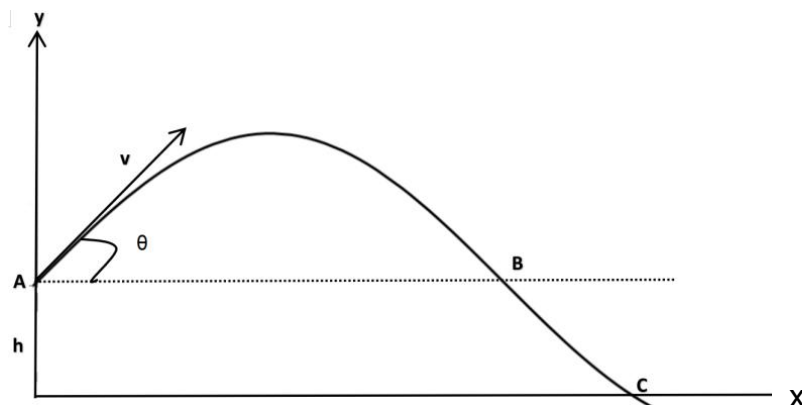


图 24 抛体运动示意图，抛射点相对于落地点有高度差 h

设 A 点坐标为 (0, h)，此时抛体的运动方程为,

$$X = v t \cos \theta; \quad (3)$$

$$Y = h + v t \sin \theta - \frac{1}{2} g t^2; \quad (4)$$

结合式 (3)，式 (4) 消去参数 t，得物体的运动方程为

$$Y = -\frac{g}{2v^2 \cos^2 \theta} x^2 + (tg\theta)x + h; \quad (5)$$

令 y=0，则 C 点坐标为 $(\frac{v^2 \sin 2\theta + 2v \cos \theta \sqrt{(v \sin \theta)^2 + 2gh}}{2g}, 0)$ ，

试求最远距离所对应 θ 值，

$$X(\theta) = \frac{v^2 \sin 2\theta + 2v \cos \theta \sqrt{(v \sin \theta)^2 + 2gh}}{2g}; \quad (6)$$

对 θ 进行求导

$$\frac{dX(\theta)}{d(\theta)} = \frac{v^2 \cos 2\theta}{g} + \frac{v \sin \theta (v^2 \cos 2\theta - 2gh)}{g \sqrt{(v \sin \theta)^2 + 2gh}}$$

令 $\frac{dX(\theta)}{d(\theta)} = 0$,

则解得

$$\sin^2 \theta = \frac{v^2}{2(v^2 + gh)}; \quad (7)$$

因为由实际经验可知适合角度为 $0-90^\circ$ ，因此由式 (7) 得 $\sin \theta = \frac{v}{\sqrt{2(v^2 + gh)}}$ ，所以当

$\theta = \arcsin \frac{v}{\sqrt{2(v^2 + gh)}}$ 时， $X(\theta)$ 有最大值，将该值带回式 (6)， $X_{\max} = \frac{v}{g} \sqrt{v^2 + 2gh}$ ，试当

$h=0$ 带入时， $\theta = 45^\circ$ ， $X_{\max} = v^2 / g$ 与前值相同。

为了得出抛射角 θ 与高度 h 和速度 v 的依赖关系，对 $\sin \theta = \frac{v}{\sqrt{2(v^2 + gh)}}$ ，进行关于 v 和 h

进行求导，

$$(\sin \theta)'_h = -\frac{gv}{(2(v^2 + gh))^{3/2}} < 0; \quad (8)$$

$$(\sin \theta)'_v = \frac{2gh}{(2(v^2 + gh))^{3/2}} = \frac{gh}{\sqrt{2(v^2 + gh)^3}}; \quad (9)$$

分析以上式子可得，当 $h>0$ 时候， $(\sin\theta)'_v$ 是 h 的减函数，即抛射体的最佳角度选择是随着 h 的相对增加而减少。此外分析速度和角度间的关系，当 $h>0$ 时候， $(\sin\theta)'_v$ 是 v 的增函数，且有 $\sin\theta = \frac{v}{\sqrt{2(v^2 + gh)}} < \frac{v}{\sqrt{2v^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ，即 $0 < \theta < 45^\circ$ ，所以最佳角度随着 v 的增大而增大，但不超过 45° 。且根据式子可知，当 v 足够大的时候， h 对式子的影响很小即^[13]

$$\lim_{v \rightarrow \infty} \sin\theta = \lim_{v \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2(1 + \frac{gh}{v^2})}} = \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad (10)$$

结合我们投饵小车装置的实际进行研究发现，在抛洒筒发射角度发生变化时，其 h 也会发生变化，故需构造新模型进行研究。图 25 是根据我们投饵装置构建的示意图。

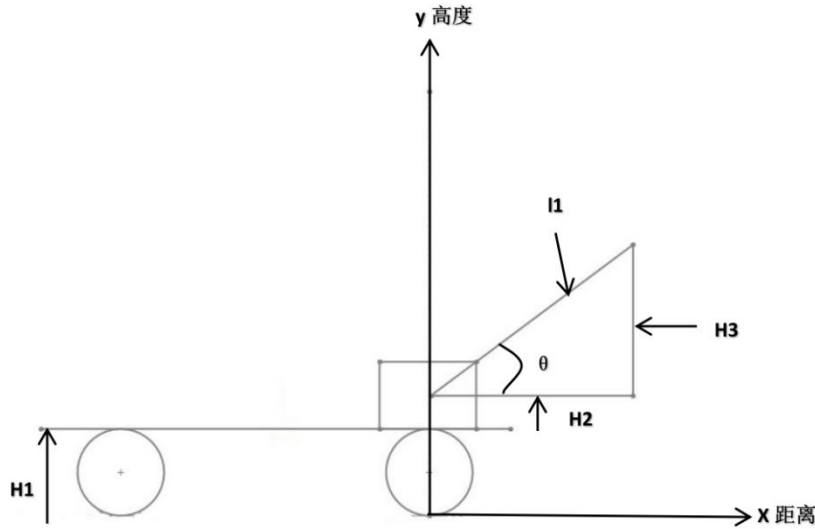


图 25 投饵小车实际抛体运动模型示意图

以水平面作为基准面， $H1$ 为地面到车身高度， $H2$ 为车身到舵机高度， $H3$ 为舵机到涵道高度，此处 $H1, H2$ 为定值， $H3$ 为变量，因此将 $H3$ 转化为 $l1 \cdot \sin\theta$ 的关于角度的关系式。

由此，这时候抛体的运动方程为：

$$X = v \cos\theta \cdot t; \quad (11)$$

$$Y = H1 + H2 + l1 \cdot \sin\theta + vt \sin\theta - \frac{1}{2}gt^2; \quad (12)$$

此处为方便计算，将 $H1+H2$ 定义为 h ， $l1$ 定义为 1 。结合式（8），式（9）消去参数 t ，的物体的运动方程为，

$$Y = -\frac{g}{2v^2 \cos^2\theta} x^2 + (tg\theta)x + h + \sin\theta; \quad (13)$$

令 $y=0$ ，则最远处的距离为

$$X_{\max} = \frac{v^2 \sin 2\theta + 2v \cos \theta \sqrt{(v \sin \theta)^2 + 2g(h + l \sin \theta)}}{2g}; \quad (14)$$

为求最佳角度，对式（14）利用 python 进行求解，

$$X(\theta) = \frac{v^2 \sin 2\theta + 2v \cos \theta \sqrt{(v \sin \theta)^2 + 2g(h + l \sin \theta)}}{2g}; \quad (15)$$

给定一个 v, h, l 可得一个所对应的 θ 。

此处以我们投饵小车实际数据为例：

表 5 投饵小车实际测试数据

v	0.50m/s
h	0.073m
l	0.102m

可得距离 X 随发射角度 θ 的变化关系如图 26 所示，

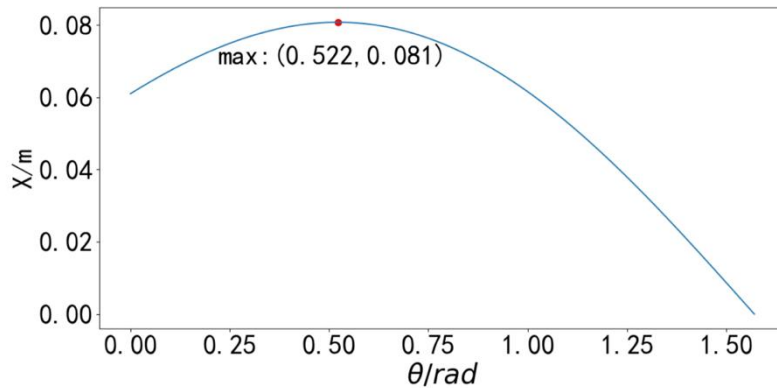


图 26 抛射距离 X 随发射角度 θ 的变化关系

图表用弧度制表示， $0.456 \times 57.29578 = 26.1269^\circ$ ，即此时为最佳抛洒角度，距离为 8.176m。

此时再对式（14）进行求导，

$$\frac{dX}{d\theta} = \frac{g^2 \sqrt{(v \sin \theta)^2 + 2gl \sin \theta + 2gh} \cos(2\theta) - gv^3 \sin^3 \theta - 2g^2 lv \sin^2 \theta + (gv^3 \cos^2 \theta - 2g^2 hv) \sin \theta + g^2 lv \cos^2 \theta}{\sqrt{v^2 \sin^2 \theta + 2gl \sin \theta + 2gh}}; \quad (16)$$

令 $\frac{dX}{d\theta} = 0$ ，则可求出极值，

则解得，

$$((v^2 - v)\sin\theta(1 - \cos(2\theta)) + gl(1 - 3\cos(2\theta)) + 2gh(2\sin\theta - \cos\theta))/(2\cos(2\theta)) = (v \cdot \sin(\theta))^2 + 2g(h + l\sin\theta))^{1/2}; \quad (17)$$

只要给定 v, l, h 就能求出最大距离的 θ ，由此得出下图

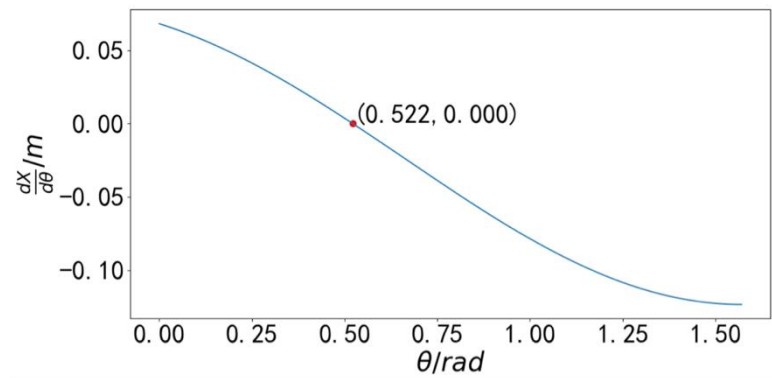


图 27 距离 X 的倒数 $dX/d\theta$ 随角度 θ 的变化关系

由图可知，（0-0.453rad）为增函数，（0.453-1.571rad）后为减函数，即（0-26°）为增函数，（26°-90°）为减函数，以此当抛洒角度为 26°时能达到最远距离。

我们试讨论 v, l, h 与 θ 的关系：

表 6 抛射 θ 随 v 的变化，其中取装置实际数据 $h=0.73\text{m}$ ， $l=0.102\text{m}$

v	0.5	1	2	5	10
θ	0.52196107	0.60714233	0.69890353	0.76579364	0.78016651

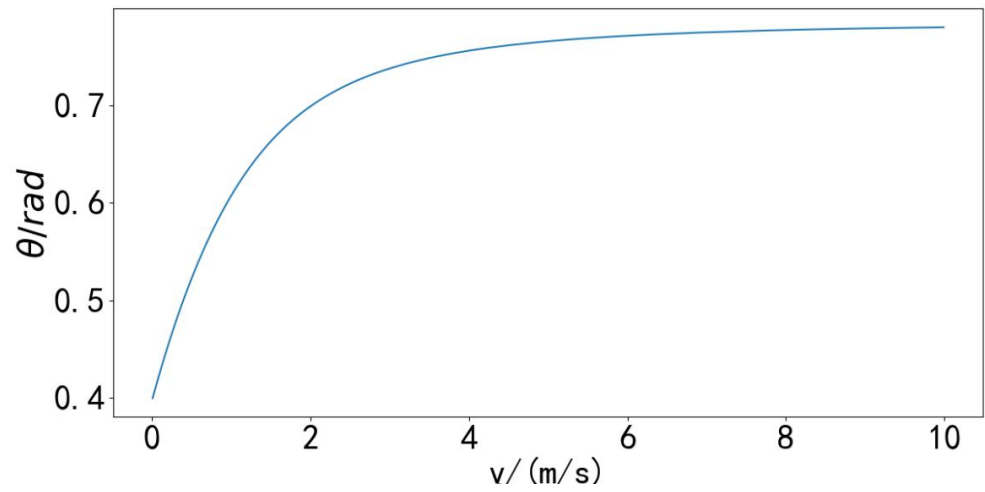


图 28 抛洒角 θ 随 v 的变化趋势

表 7 抛洒角 θ 随 h 的变化，其中取装置实际数据 $v=0.5\text{m/s}$ ， $l=0.102\text{m}$

H	0.073	0.146	0.292	0.73	1.46
θ	0.52196107	0.42740733	0.31739861	0.19083536	0.12558586

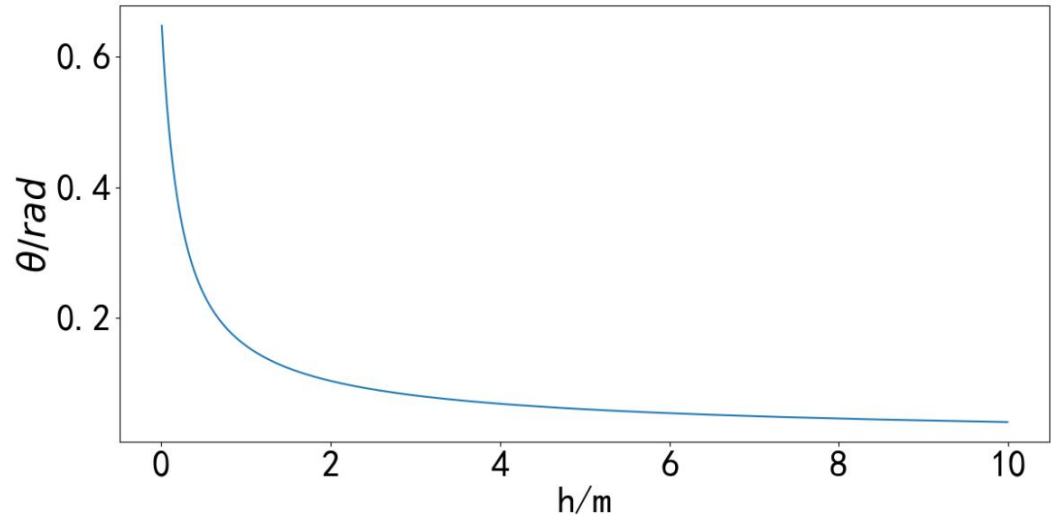


图 29 抛洒角 θ 随 h 变化趋势

表 8 抛洒角 θ 随 l 的变化，其中取装置实际数据 $v=0.5\text{m/s}$, $h=0.073\text{m}$

L	0.102	0.204	0.408	1.02	2.04
θ	0.52196107	0.56233948	0.5904918	0.61008323	0.61626173

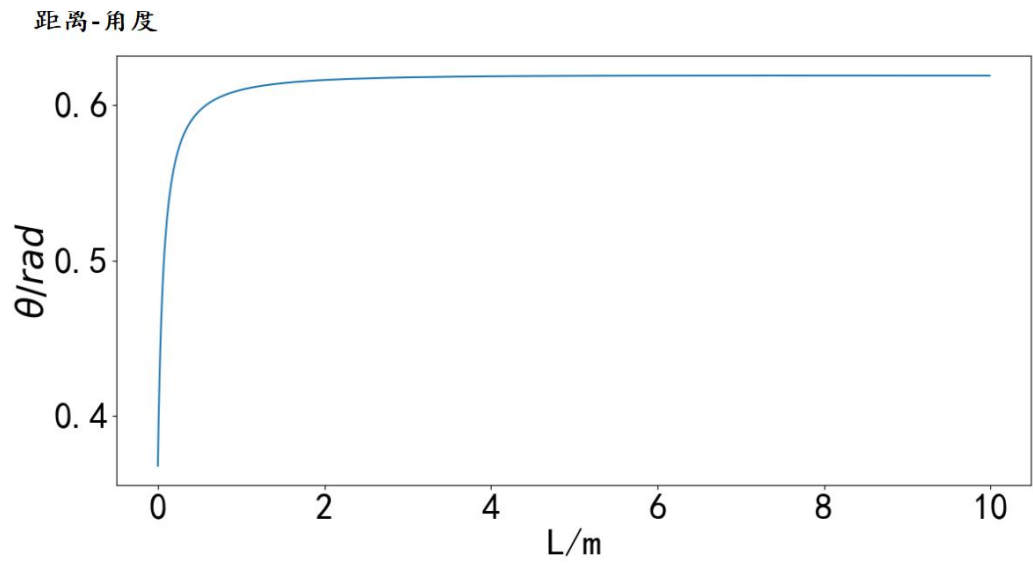


图 30 抛洒 θ 随 L 的变化趋势

分析以上图表可知， v 和 l 均和 θ 成正相关，即 v 和 l 越大，最佳角度 θ 也越大。而 h

与 θ 成负相关， h 越大，最佳角度 θ 越小。这种变化关系为我们投饵机自动控制饵料抛洒管喷洒角度提供了可靠参考依据。

3.2 航模遥控控制

开始时，机器与遥控器进行通电。使用者通过操控 TX16 型遥控器进行控制，右手控制车移动方向，左手控制空气筒的角度。遥控器上拨杆在一开时已经与所对应的舵机以及涵道进行匹配，操纵者只需移动小车，调整空气筒发射角度，拨动拨杆，即可完成工作。整套装置容易上手，工作状态稳定，便于使用。



图 31 航模遥控控制实况

3.3 智能化控制功能

将所需要运动轨迹用黑线进行画出，并将打印出来的二维码粘贴与对应位置处，随后将小车进行通电。小车会沿着黑线进行运动，并在识别到二维码时，所对应的舵机进行转动，实行下料功能，并且空气筒进行上扬动作，便于进料。空气筒上舵机转动，到达指定角度。涵道紧接着进行工作，将空气筒内饲料喷出，达到自动投饵要求。



图 32 自动循迹控制实况 1

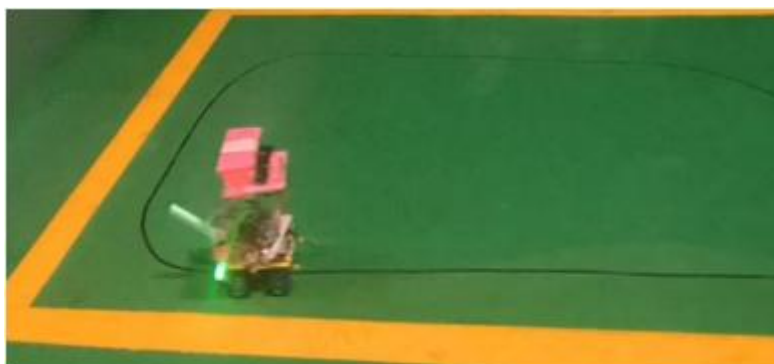


图 33 自动循迹控制实况 2



图 34 二维码自动识别扫描实况

3.4 蓝牙操控功能

用户需要下载链接蓝牙模块所对应的 app，并选用对应的遥控模块，并在经过商检后进行机器的设置，并在完成后实现控制。整体页面布局分为操控投饵小车、饵料储仓以及饵料

喷洒炮筒。用户通过所对应的按钮发出指令，小车上的蓝牙模块接受并作出相对应指令。该操控方式满足了一些没有遥控器的用户需求，使得本产品受众范围更大，更便捷。

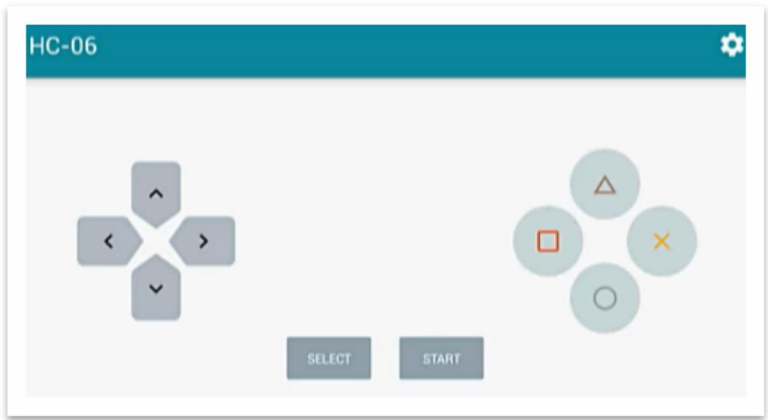


图 35 蓝牙控制界面

<	5	控制小车向左运动
^	4	控制小车向前运动
>	6	控制小车向右运动
v	7	控制小车向后运动
□	1	打开第一个仓门
△	2	打开第二个仓门
○	3	打开第三个仓门
✕	8	控制炮筒舵机

图 36 蓝牙界面按键说明

4 创新特色

- （1）本装置运用物联网、机械、自动化等技术，可 app 远程操控，集自动循迹定位、自动上料、定时定量精准投喂等功能，解决了传统海洋牧场养殖模式下人工投饵不够精细化的缺点。
- （2）设有多个饵料储仓，可以同时装入多种饵料，能按比例精准混合饵料，从而可以满足多种水产品的同时投喂，节省人力成本，满足了复杂场景下的水产品投喂要求。
- （3）充分运用了物理学中抛射体运动的动力学原理，推导分析了饵料气动喷洒管的最佳倾斜角度，得到不同距离饵料喷洒的最佳效率，从而使得喷洒更加均匀，且满足不同位置的饵料投喂，提高了饵料的转化率。

5 应用前景

首先，智慧海洋牧场是在传统海洋牧场基础上增加信息化、智能化。我们调研发现，面对海洋牧场环境下的智能投喂研究少之又少，而我们的产品增加了物联网技术，并且满足了复杂模式下饵料智能精准投喂，且可塑性较高。此外，其载体可以在后期根据用户选择更改为船、无人机等以满足不同类型需求。

其次，在传统海洋养殖模式下，投饵不够精细化的问题普遍存在。本智能投饵装置具有精准投喂饵料、按比例精准混合饵料、剩余饵料监测等功能，可以实现精细化自动投饵，可以帮助海洋牧场养殖企业大幅减少饵料成本消耗、减少人力资源消耗、减少余料环境污染等成效，从而增加可观收益。

参考文献

- [1]杨红生,章守宇,张秀梅,等.中国现代化海洋牧场建设的战略思考[J].水产学报.2019(4):1255-1262.
- [2]陈勇,田涛,刘永虎,等.我国海洋牧场发展现状、问题及对策[J].科学养鱼.2022(3):24-25.
- [3]王伟定,梁君,毕远新,等.浙江省海洋牧场建设现状与展望[J].浙江海洋学院学报.2016(03):181-185.
- [4]王凤霞,张珊.海洋牧场概论[M].北京:科学出版社,2018.
- [5]牛艺博,董利苹,王金平,曲建升.国际海洋牧场技术发展态势及其启示[J].世界科技研究与发展.2020(2):160-171.
- [6]杨红生,丁德文.海洋牧场3.0:历程、现状与展望[J].中国科学院院刊.2022(6):832-839.
- [7]毛梦盼,蔡厚才,叶永丰.浙江海洋牧场建设管理若干问题思考[J].渔业研究.2023(1):88-95.
- [8]王恩辰,韩立民.浅析智慧海洋牧场的概念、特征及体系架构[J].中国渔业经济.2015(2):11-15.
- [9]徐晓荣.智慧型海洋牧场发展研究[J].农机化综合研究.2023(3):167-169.
- [10]何昱.基于无刷电机的航模系统的研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [11]徐玲,蒋欣志,张杰.手机二维码识别系统的设计与实现[J].计算机应用.2012(05):1474-1476.
- [12]蒋瑞挺.察“颜”观“色”的利器——颜色识别系统[J].电子制作.2011(09):33-35.
- [13]张沛和.斜抛运动的最佳角度的选择[J].南平师专学报.1996(4):74-78.

附录

项目所研究出的作品照片

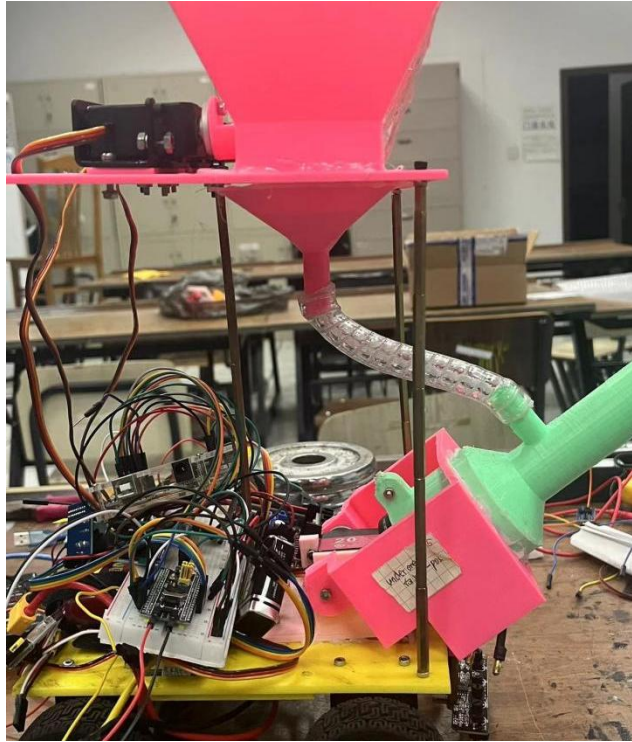


图 37 智能投喂系统装置全貌

装置投饵小车底下装有红外传感器，通过 4 路循迹模块巡线传感器所对路线进行检测，使之沿着规划路线行走。并在每个养殖网箱处设置二维码，当 GM65 扫描设备模块扫到对应的二维码时，舵机旋转，打开对应舱门，落入到工作仓随后进入管道打出。并且此时小车持续运动，使得整体呈现边抛洒饲料边走的动作样态。到下一个标牌时，原舱门关上，所对应另一舱门打开，工作方式也同上。

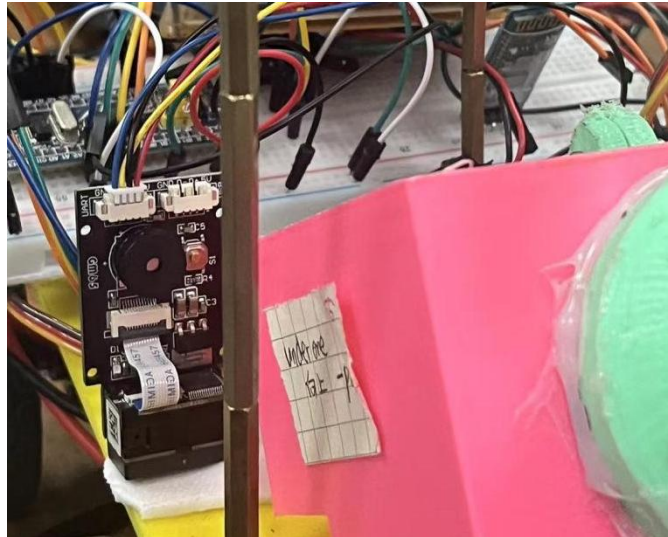


图 38 可视化摄像头

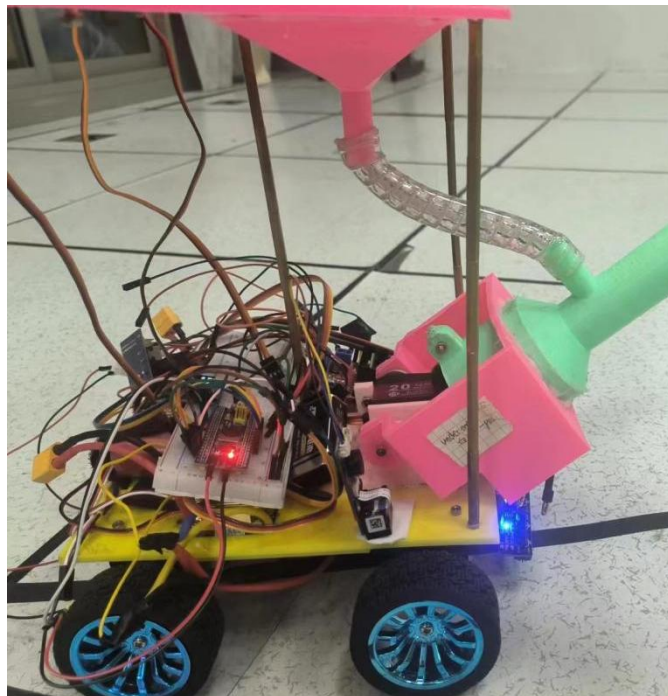


图 39 小车循迹行进系统



图 40 饵料进料仓俯视图

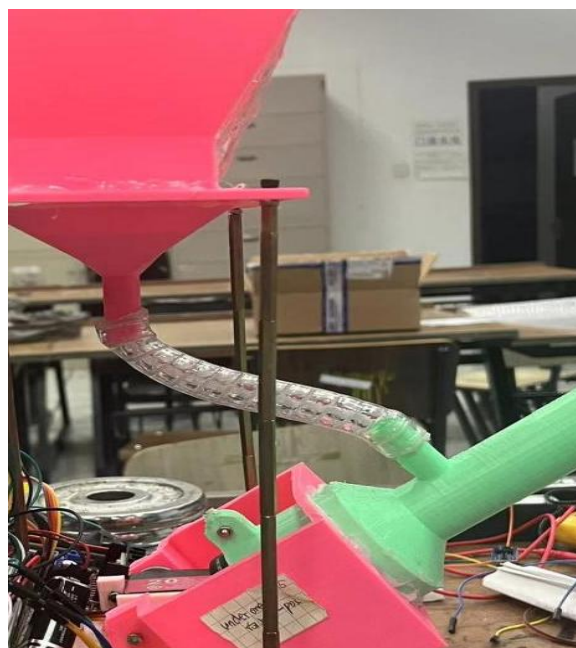


图 41 饵料进入工作仓



图 42 饵料喷洒管