

激光引导小车

摘要：本系统实现了一个激光发射云台和一辆激光引导的小车。云台利用 STM32 主控制器完成舵机控制，驱动激光笔的运动，采用 Jetson Nano 作为图像处理单元，通过深度神经网络完成数字和黑块的识别功能，选用 BT-05 蓝牙模块作为通信单元。小车系统利用 STM32 主控制器和电机驱动模块完成电机控制，驱动小车运动，通过 BT-05 蓝牙模块与云台进行通信。最终，云台可以实现识别数字和障碍块、使激光指向目标点、与小车通信等功能；小车可以完成接收云台信号，移动到指定目标点并返回等任务。

关键词：神经网络；运动控制；PID 算法。

一、 系统方案

1. 比较与选择

1.1 机器视觉方案

方案一：OpenMV

方案二：Jetson Nano

方案比较与选择： 方案一使用 OpenMV 进行视觉处理。使用该模块进行图像处理十分简单便捷，且不会存在自启动、开发环境配置等问题。但受处理器性能限制，OpenMV 的处理速度慢、运行内存小，不适合复杂的图像处理。方案二采用 Jetson Nano 上运行 OpenCV 的方式进行图像处理。该方案优点是 Jetson Nano 搭载了 NVIDIA 显卡，处理速度快，运行内存大，而且 OpenCV 内置函数功能齐全，完全满足复杂的图像处理需求。但缺点是与 STM32 通讯困难且开发流程繁琐。在本装置中，为增强系统对数字识别的准确度，需要使用深度神经网络来提取图片特征并推理，运算复杂而且涉及到多帧图像处理，速度慢、内存小的 OpenMV 已不能满足系统的需求。因此选择 Jetson Nano 进行图像识别。

1.2 小车底盘方案选择

方案一：阿克曼转向

方案二：后轮差速转向

方案比较与选择： 方案一的优点在于控制算法比较简单，只需要控制前轮转角即可控制小车的转向角度；缺点是小车的体积会比较大，小车转弯半径大，不适合大角度转弯、掉头等操作。方案二的优点在于小车可以进行原地掉头等灵活的运动，小车体积小；缺点是小车只能在比较平坦的地面上行进。在激光引导小车任务中，地形平坦，需要小车进行灵活的运动。综合分析，选择两轮差速转向结构。

1.3 直行矫正方案选择

方案一：阿克曼转向

方案二：后轮差速转向

方案比较与选择： 方案一的优点在于摄像头可以实时反映小车前进方向偏离路径中心线的距离，实现小车绝对地直行；缺点在于算法复杂，并且需要额外的处理器和外围电路。方案二的优点在于角度传感器的电路和算法并不复杂，模块体积小，功耗低，使用起来十分方便；缺点为角度传感器的零点方向并不一定与行驶方向重合，有一定的偏差。在激光引导小车任务中，小车的行驶路线并不复杂，任务对小车的行驶角度要求不高，综合分析，选择角度传感器矫正方案。

2. 方案描述

系统框图如图 1 所示。本系统通过 Arduino 主控的红外遥控系统控制激光笔指向区域和小车运动的模式。系统使用 Jetson Nano 作为图像处理单元，通过图像处理的方式获得地图障碍区域位置，并通过 UART 串口通讯将数据传输给 STM32 主控制器。主控制器接收到数据后控制云台舵机姿态和小车的直流编码电机，将激光笔指向指定区域并控制小车避开障碍到达目的区域。云台和小车之间通过 BT-05 蓝牙模块实现通讯。

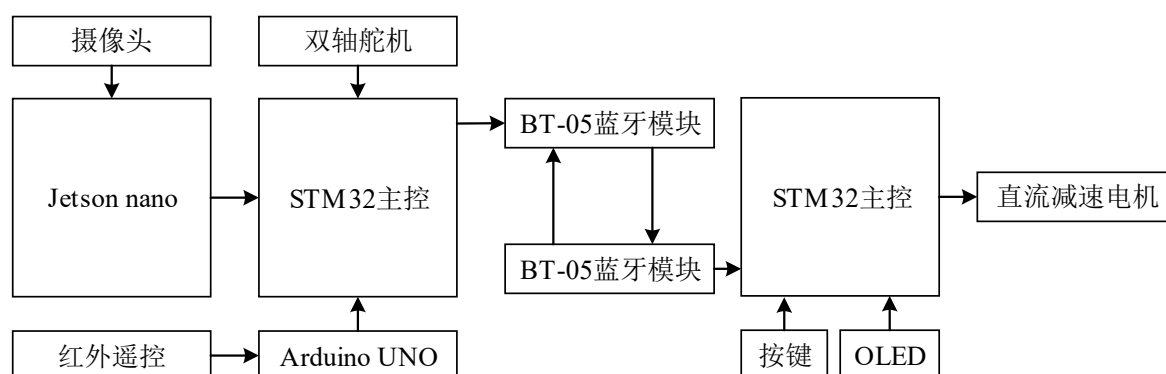


图 1 系统框图

二、 理论分析与计算

1. 数字识别

数字识别部分采用深度神经网络模型 Yolov4-tiny。其结构图如图 2 所示。Yolov4-tiny 模型的参数量只有 600 万，在目标检测领域的深度神经网络中参数量较少，比较适合在嵌入式设备上实时检测推理。其整体网络结构共有 38 层，使用了三个残差单元，激活函数使用了 LeakyReLU,目标的分类与回归使用两个特征层，合并有效特征层时使用了特征金字塔网络。其同样使用了 CSPnet 结构，并对特征提取网络进行通道分割，将经过 3x3 卷积后输出的特征层通道划分为两部分，并取第二部分。相较于其它深度识别网络，Yolov4-tiny 的实时性和准确率均有所提高。

在本装置中，使用现场拍摄的照片作为原始数据集，一种拍摄了约 900 张图片，包含 8 中数字。对原始数据集做 Mosaic 数据增强后得到月 4000 张数据集。将其划分为训练集和测试集后送入模型中训练。最终得到的测试集精度达到了 90%以上，经实际测试，模型的泛化误差较小，检测帧率能够达到 20 帧左右，符合设定的任务要求。

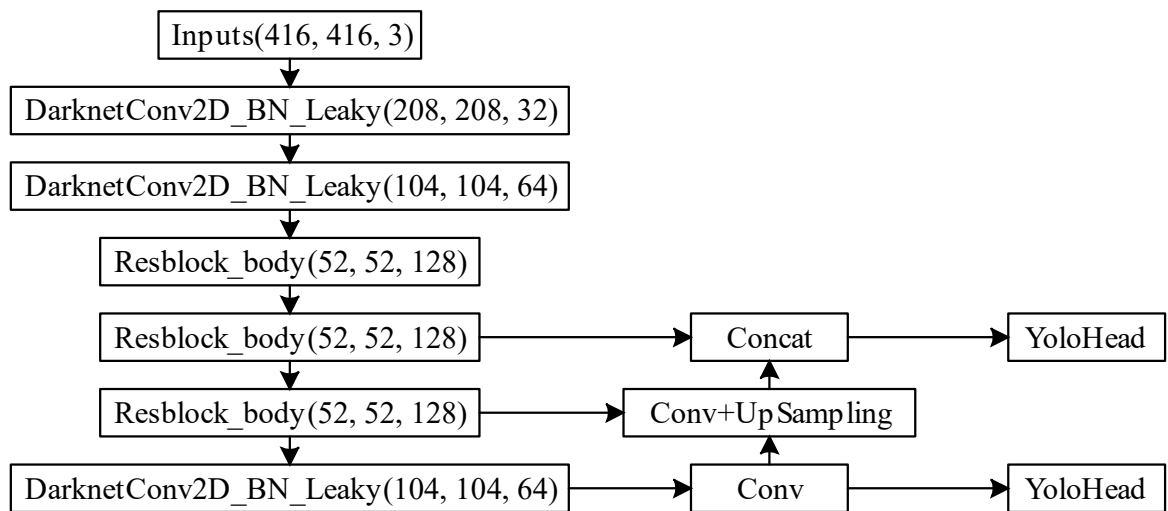


图 2 Yolov4-tiny 结构图

2. 自动寻径方法

首先给小车制定了寻径策略，即优先按行方向前进，到达目标点所在列后再按列方向前进，直到达到目标点。在这种策略下，如果没有障碍物，小车每次都可以按最短路径到达目标点。当地图中出现障碍物时，小车需要中间点来规避障碍。由于整张地图只有 16 个区域，所以我们采取软件模拟的方式寻找最短路径的中间点。系统运行中会依次选取 16 个区域中的每一个区域作为中间点，然后按照给定的策略模拟小车前进。如果前进过程中碰到障碍物，则淘汰此中间点；如果能顺利到达目标点，则记录使用当前中间点所需的前进步长，在迭代结束后选取代价最小的中间点返回。通过这种方法解出了所有障碍物和目标点可能情况下的最优路径，在可能出现的可解局面有 1654 中，有三种特殊情况需要两个中间点来找到最优路径，如图 3 所示。剩下的 1651 中局面均可通过一个中间点来实现最优路径。

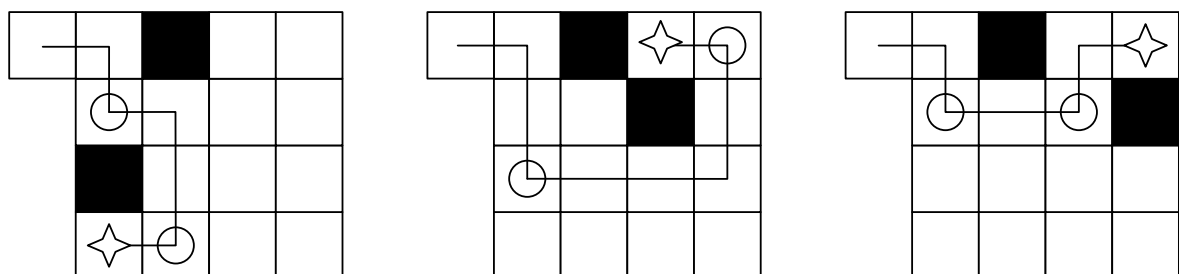


图 3 三种特殊情况图

3. 两轮差速底盘结构

本小车的底盘采用两轮差速底盘结构，该结构通过两个橡胶车轮和两个牛眼轮对底盘进行支撑，如图 4 所示。

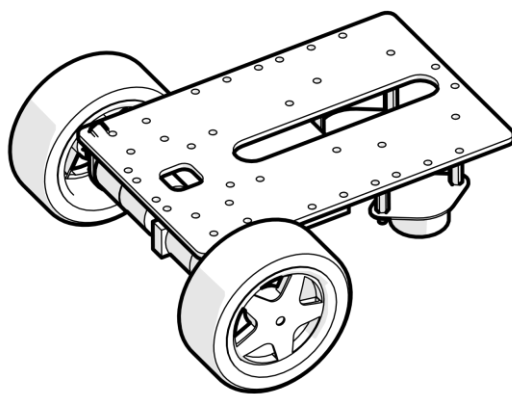


图 4 两轮差速底盘结构

设车体速度为 v ，左轮速度为 v_l ，右轮速度为 v_r ，车体自转速度为 ω ，转弯半径为 R ，两轮之间距离为 D ，两轮到车中心的距离为 d ，右轮到圆心距离为 L 。我们可以推算出整车角速度和两轮速度之间的关系如下

角速度、速度和运动半径之间的物理关系：

$$v = \omega * R \quad (3.1)$$

左轮、右轮速度分解：

$$v_l = \omega * (L + D) = \omega * (L + 2d) = \omega * (R + d) = \omega d \quad (3.2)$$

$$v_r = v_l = \omega * L = \omega * (R - d) = v - \omega d \quad (3.3)$$

和速度等于两轮速度之和的一半：

$$v = \omega * R = \omega * (L + d) = \frac{v_l + v_r}{2} \quad (3.4)$$

角速度和两轮差速之间的关系如式 3.5 所示：

$$\omega = \frac{v_l - v_r}{2d} \quad (3.5)$$

因此只要控制两个车轮的差速，小车就可以进行前进、后退、转向和原地掉头等操作。

4. 串级 PID 与直行矫正

我们采用 PID 算法对小车每个车轮的转动速度和转动角度进行控制。在小车从初始区域出发到达指定区域过程中，只使用了速度环来控制小车的前行速度。

电机在转动时，单片机会对编码器输出的矩形波进行捕获，随后计算出电机的实时转速反馈到输出到电机的 PWM 信号中，实现对速度的控制。

为了实现巡线功能对速度环进行了一定修改。在小车巡线前进时，视觉系统会对红线进行识别并输出小车当前偏移中心线的程度数值。单片机读取该数值，进行一定计算后得到补偿速度，该补偿速度会加入到速度环的输出中，实现小车前行方向的修正。

在小车转向时，我们使用位置、速度双环 PID 来控制小车转到指定角度。在该算法中，内环为速度环，外环为角度环。外环根据当前小车车头的角度和希望角度计算出目标行驶差速，作为内环速度环的目标值，内环根据当前行驶速度和目标差速计算出输出到两个电机的 PWM 信号的占空比。该过程不断重复，直到小车转到指定角度。

三、 电路与程序设计

1. STM32 转接板

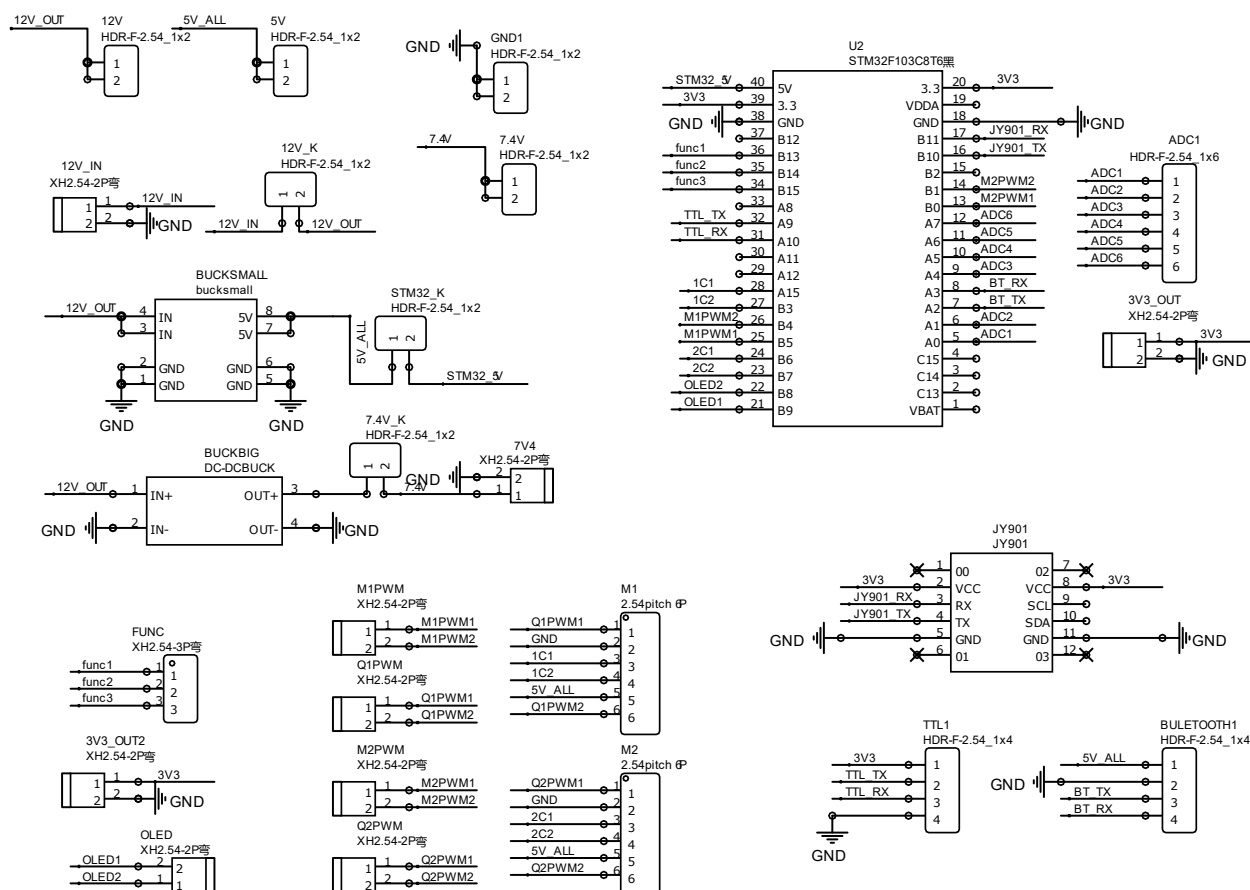


图 5 STM32 转接板电路

如图 5 所示，系统整体电路包含主控 STM32、buck 模块、直流编码电机及其驱动、角度传感器 JY901 模块、ADC 采集模块、按键和 OLED 模块、串口通讯 TTL、蓝牙等模块。如图 4 所示，通过转接板实现主控 STM32F103C8T6 和外设的连接，其中直流电机驱动采用 L298N 双路电机驱动模块。系统通过直流电机霍尔编码器和角度传感器配合实现小车的闭环控制。

2. 软件程序设计

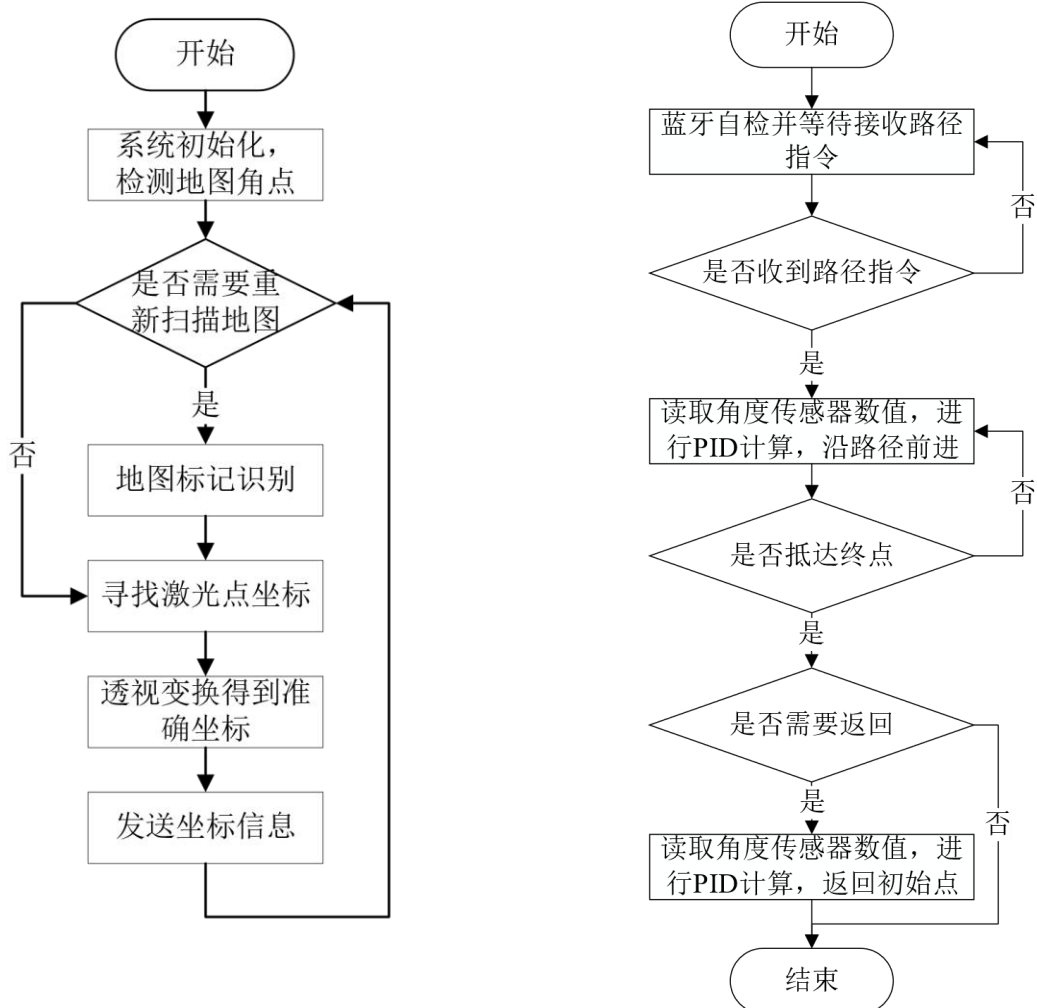


图 6 程序框图

小车在程序开始后，会先进入蓝牙传输自检阶段，只有收到来自云台的指令，程序才会进入路径接收阶段。在路径接收阶段中，小车会等待接收云台发送的路径，路径包括一个中间点和目标点。小车会按照一定的路线先行驶到中间点，随后再行驶到终点。如果需要返回停车坪，小车会在停止 2 秒后原路返回。

四、 测试方案与测试结果

1. 测试环境

类型	品牌	型号
电源	ZhongCe	DF1743003C 型稳压源
其他	卡西欧	HS-70W 型秒表

1. 测试方案

1.1 基本要求

控制激光笔指向 0、1、4、5 区域，摄像头识别激光点并控制小车移动到指定区域，停留超过 2s，记录激光笔指向区域编号和总运动时间；在此基础上新增 2、6、8、9、A 区域，重复上述操作；在此基础上控制激光笔指向任何一个区域，重复上述操作。

1.2 发挥部分

选取场地中的 1 个区域为障碍区域，并使用黑色色块覆盖，控制激光笔指向非障碍区域，摄像头识别激光点并控制小车绕过障碍区域移动到指定区域，停留超过 2s，记录激光笔指向区域编号、障碍区域编号和总运动时间；在此基础上选取场地中的 2 个区域为障碍区域，重复上述操作；在此基础上不重复交换任意两组区域，重复上述操作。

2. 测试结果与数据

2.1 基本要求

表 1 基础部分测试

序号	指向区域编号	总运动时间/s
1	4	5.4
2	6	11.5
3	B	15.3
4	F	17.9

2.2 发挥部分

表 2 发挥部分：两个小车协同送药测试

序号	指向区域编号	障碍区域编号	总运动时间/s
1	6	2	13.3
2	A	6	15.9
3	7	3、6	23.3
4	C	8、9	27.4

3. 测试结果分析

3.1 基础要求

由测试结果知，系统控制激光笔指向任何区域，摄像头识别激光点并控制小车移动到指定区域停留超过 2s，均满足题目要求。

3.2 发挥部分

由测试结果知,选取 1 个或者 2 个区域为障碍区域,系统控制激光笔指向非障碍区域,摄像头识别激光点并控制小车绕过障碍区域移动到指定区域,满足题目要求。在测试过程中车身投影未接触障碍区域,很好的完成了题目的要求。

综上所述，本系统能够完成题目的基本要求和发挥要求。