

# 2024年全国大学生电子设计竞赛

## E题 三子棋游戏装置

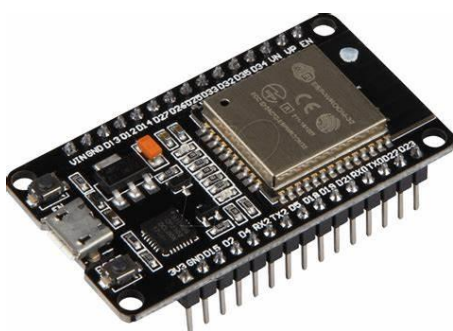
**摘要：**本文介绍了一种基于ESP32作为主控芯片，树莓派进行视觉识别系统的三子棋游戏装置。该装置能够实现人机对弈，通过闭环步进电机自动放置棋子，并结合OpenCV的图像处理技术检测棋盘和棋子的状态。系统采用了灵活的控制模式，结合经典的对弈算法，实现了三子棋游戏的自动化和智能化。实验结果表明，该装置能够准确放置棋子并进行对弈，具有良好的稳定性和响应速度。

**关键词：**闭环步进电机；图像处理；对弈算法；ESP32

## 一. 方案描述与论证

### 1.1 方案描述

为了实现三子棋游戏中棋子的准确放置和对弈，该装置采用了ESP32以及树莓派4B来实现装置的运行。其中，树莓派主要负责图像的采集和处理，ESP32作为主控，负责接受树莓派传输的棋盘信息，将其以一种自拟定的数据约定格式使用串口通讯方式发送棋盘信息，再通过对弈算法也可以称之为minMax下棋策略算法，获取落子位置，并将坐标转化成步进电机需要步进的脉冲数，控制闭环驱动的步进电机运行将棋子送到目标位置。最后通过第三轴步进电机控制高低以及控制电磁铁的通断电来实现取子和落子。



（ESP32核心板）



（树莓派4B）

以下是整个系统的框架：

(1)图像采集与处理模块：该模块通过原始图像处理的方式识别棋盘和棋子的当前位置，以及棋盘当中不同九宫格的落子状态。

(2)控制模块：ESP32作为控制核心，接收来自树莓派发送的棋盘信息（包括落子位置信息，落子信息），通过反馈的坐标信息转化成步进电机需要走动的脉冲数，并通过控制步进电机实现棋子的精确移动以及控制电磁铁的通断电来落子。

(3) 供电模块:使用电源转化器将220v市电转化成DC12V以供给各个模块所需要的电压，这里用到了DC12V-DC5V的电压转换模块，将转换后的5V电压供给树莓派和ESP32。同时12V的电压供给给步进电机的驱动电压，同时还包括了可调节电压转换模块，控制电磁铁的通磁效果，避免出现磁力过大拾取多个的情况。

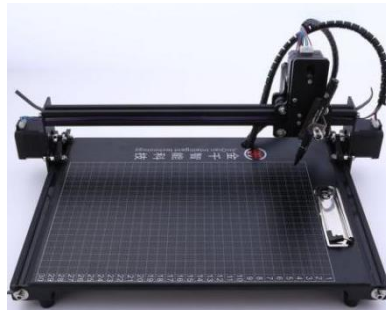
通过上述模块的协同工作，我们能够实现棋子的自动化运动控制和对弈功能，使整个系统具备高度的自动化和智能化。

## 1.2 方案论证

### 1.2.1 落子控制模块

方案一：以步进电机为基础三维控制平台

高精度和稳定性：步进电机具有细分可控，驱动简单的优点，可以确保每一步的移动都是绝对位置，但是开环控制是会有丢步风险。但通过闭环控制，以及FOC算法的力矩控制，可以实时监测并调整电机的位置，避免累积误差和失步现象，从而保证棋子的准确落位。（以写字机为例）



方案二：多轴机械臂

多轴机械臂能够实现多个自由度的控制，可以在三维空间内进行复杂的运动，适合进行大范围的落子操作。但是三子棋下棋动作执行简单。多轴机械臂能够完成高难度动作不具备优势。在控制算法上，更加复杂耗时更多，在成本上，机械臂的结构复杂，成本较高，需要更多的机械组件和精密的细调。同时编程和计算机模拟过程的时间耗费相当长。同时控制困难，容易出现偏差。

### 1.2.2 图像识别及处理模块

方案一：树莓派

树莓派是一款功能强大的开源单板计算机，可以跑linux系统，则可以方便的使用Opencv开源视觉库来对本赛题的需求做精确高效处理树可以使用不同版本的ARM处理器。树莓派的性能较高，适用于复杂的控制和计算任务。

虽然树莓派的功耗相对较高，图像处理能力较OpenMV弱。但本装置所需要处理的图像简单，相较其他方案无劣势。

方案二：OpenMV & K210

OpenMV平台具有丰富的图像处理和机器视觉库，提供方便的图像处理和计算机视觉算法开发环境。但是OpenMV计算能力较弱，存储容量比较小。在复杂的控制和计算明显不如树莓派。

同时OpenMV作为非高主频单片机不适合做图像处理算法，并且有部分图像算法被阉割无法使用。

## 二. 理论分析

### 2.1 视觉处理

树莓派通过USB摄像头使用图像处理技术检测棋盘上的棋子位置，并将其转换为世界坐标系，便于后续的控制操作。

该处理主要分为以下几步

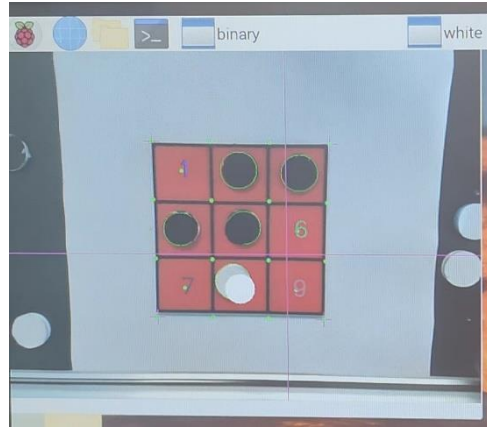
#### 1). 图像预处理

包括颜色空间转换、二值化、滤波、膨胀和腐蚀等操作，旨在增强图像特征，便于后续的目标检测和定位。

首先RGB彩色图像转换为灰度图像。用于检测棋盘区域和黑色和白色棋子。同时使用canny边缘检测算法提取棋盘的主要轮廓，使用形态学滤波使棋盘边缘轮廓更加明显。滤波在这个代码中的作用主要是通过对图像的预处理，并且可以使用中值滤波，高斯滤波尽可能大的滤除图像当中的杂质成分，使得图像中的棋子和棋盘边缘更加明显和易于检测，从而为后续的轮廓检测、特征提取和坐标计算提供更清晰和准确的输入。

#### 2). 棋盘轮廓检测和标记

棋盘轮廓检测的主要目的是通过Canny边缘检测算法来突出图像中棋盘的边缘，并通过形态学滤波更加突出棋盘的矩形特征。之后遍历所有可能的轮廓，使用DP算法并且对长宽，角点个数，矩形的面积大小进行限制，以便于寻找到棋盘的整个外轮廓。当检测到棋盘轮廓，首先对四个角点进行排序，以便于后续编码，通过四个角点对棋盘的四边都进行三等分均，即可以划分出九宫格区域，对每一个小的区域进行编码。



图像处理效果图

棋盘轮廓检测的结果是一个标定好的九宫格区域，每个格子的中心点坐标都已被编码。这些坐标可以用于进一步的棋子检测与位置标定。由于机械结构的运动是在相对坐标系下，所以可以预先设定一个精准的坐标表，通过摄像头返回的角度使用旋转矩阵，求解出旋转后的坐标表，同时可以返回角度误差，校准摄像头角度。

### 3). 棋子检测

为了避免光照不均匀对识别效果有很大的影响，所以将转为灰度的图像使用均值滤波处理后，使用霍夫变换提取到每个圆形的位置。同时在二值化图像时，使用大津法自动确定最佳阈值，将灰度图像转换为二值图像。使用形态学滤波突出棋子的特征，因此图像二值化的操作对后续获得圆形位置的棋子种类判断有很重要作用。

对于每个检测到的棋子，通过霍夫变换获取到的中心点坐标，并判断其是否位于棋盘区域内如果位于棋盘内，通过中心点坐标提取二值化图像上对应坐标的像素数值，通过此数值来判断是黑棋子还是白棋子。通过计算棋子中心点与九宫格中心点的距离，将棋子匹配到最接近的九宫格位置。并实时遍历所有检测到的棋子，将它们的坐标与九宫格的中心点进行匹配，并更新棋盘状态。最后在图像中对识别到的棋子和转换后的世界坐标进行可视化。并将检测到的棋子信息、棋盘状态以及坐标转换后的结果通过串口发送给主控设备。

## 2.2 三子棋对弈落子算法

在三子棋的对弈中主要采用了贪心算法和部分minMax算法的经典算法，贪心算法在一系列的计算机博弈算法中，本次系统设计选择的是一种

较为直观简洁的贪心算法，其核心思想是：使用积分制对牌局进行数学建模，通过对不同下棋角度的积分累计之和判断对哪个方向下棋是最优解

#### 1).根据棋盘建立数学模型：

为了方便对抽象化的模型进行数学上的处理，所以将每个格子的黑棋，白棋，没有棋子分别编码为2，1，0。经过这个处理，可以将九宫格里每个格子所包含的棋子用数值编码的方法直观的显示出来，并可以直接对矩阵进行算法类的操作。

#### 2).棋型分值评估：



在前面的预处理作用下，已经使用了数字编码的二维数组作为了当前的3\*3九宫格状态矩阵，当轮到电脑方落子时，首先需要选择合适的空白点位，因此首先从点位（0，0）开始搜索最佳落子点，依次搜索到（2，2），挑选出该格子数字为0的点。挑选出能落子的点后，通过对四个不同的方向积分编码得出最优放置区域

如果AI在任何一个方向上形成连续的三个子，则可以获得最高分；阻止对手形成连续的三个子可以获得50分；阻止对手形成连续的两个子可以获得25分；在横向、纵向、或斜向上形成两个子的AI将获得10分；占据中心位置[1][1]可以获得20分；占据四个角中的任意一个则各得2分。使用此算法，我们可以实现一个函数来找到得分最高的位置。

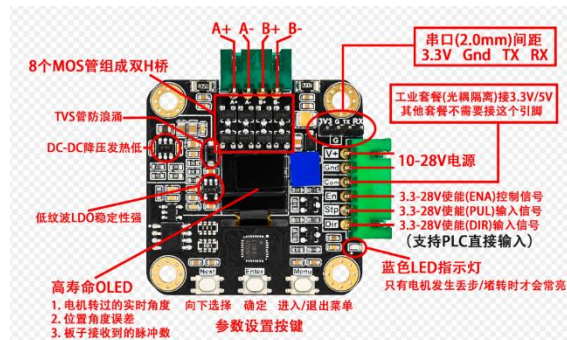
在对对手评分时，通常是根据对手的潜在威胁来进行计算的。直接使用对手的评分可能会导致AI过于谨慎，不敢选择某些位置，因为即使对手的得分很高，也不一定对AI构成致命威胁。通过将对手的评分除以2，可以降低对手得分对最终选择的影响，使得AI在选择最佳位置时不会被对手的潜在威胁过度束缚。

通过对分值的分析，AI落子的落子考虑优先级为：AI连成三子-->阻止对方连成三子-->占据中心点-->占据角点。



每一个模拟落子点位的得分，应当是以该点位为中心的四 个方向所构成的所有棋型的得分总和，这样才能比较直观地选择出最优点。

### 2.3 步进电机（闭环驱动）

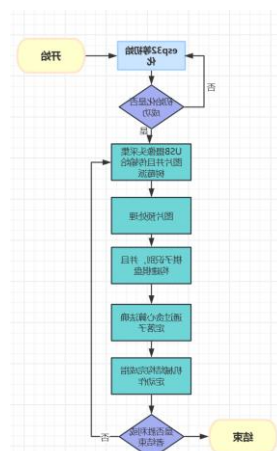


闭环步进电机控制是一种将反馈控制系统与步进电机结合起来的控制方式。它克服了传统开环步进电机系统中可能出现的步进丢失和同步失效问题,从而提高了定位精度和系统的可靠性。

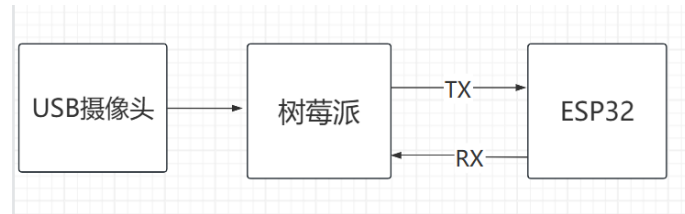
步进电机是一种将电脉冲信号转换为角位移的电机，每输入一个脉冲信号，电机轴转动一个固定的角度（即步距角）。而闭环控制系统通过反馈机制实时监控步进电机的实际位置或速度，并根据反馈信息调整控制信号，以确保电机准确地跟随设定的轨迹。本项目所使用的反馈传感器是霍尔传感器接收电机的真实转速，两相电流的反馈，使用基尔霍夫定律获得三相电流反馈并对其降维，线性操作可以使用PID算法控制---FOC控制算法，控制步进电机力矩，步距精准控制。

### 三. 电路与程序设计

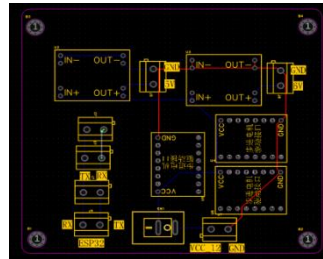
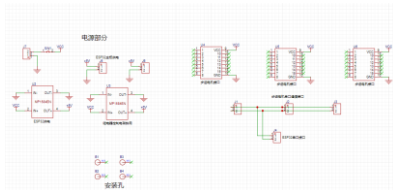
### 3.1.程序流程图



### 3.2.树莓派连接示意图



### 3.3.电路原理图

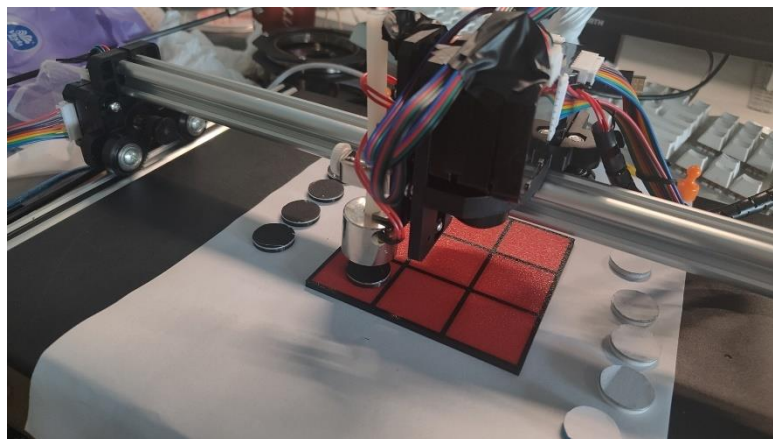


## 四. 测试方案与测试结果

### 4.1测试方案

#### (1) 落子测试：

能够将树莓派获取的棋盘信息，传输给ESP32，并通过ESP32控制步进电机来使棋子到达指定位置，并将棋子放在外置摄像头能检测到的位置，ESP32能够根据指令控制步进电机以及电磁铁的通断电来放置棋子。使棋子在指定格子内，且不触碰边线。且落子时间不超过10s。并且旋转棋盘后，依然能够控制棋子落在指定位置。



(落子测试图)

#### (2) 对弈测试：

1.设备执黑子先行，观察设备第一步是否会能够完成最优解——棋子落在中间空格。并且能够在对方落子错误使取得胜利。



2.设备执白子后行，观察设备能否在与对方的对弈中获取最佳落子位置，保证比赛不输。

3.并且在装置下完棋后，观察能否亮灯提示。

(3) 复位功能测试：

在人下棋期间，并不下新子，而是将装置下过的1颗棋子变动位置；轮到装置下时，装置能将被变动的棋子放置回原来位置，时间不大于15s

## 4.2测试结果

在棋子的拾取功能中，装置能够根据树莓派进行图像获取和分析，并能够将信息转化给ESP32并通过ESP32控制电机驱动和较好的控制电磁铁的通断电来控制棋子拿取和落子。

在对弈功能上，装置能够通过检测到的图像进行落子分析，能够控制电机在棋格内落子，不触碰边线，并能够在保证不输的情况下完成对局，并在每次落子结束后会进行亮灯提示。

根据以上结果，判断该装置能够很好的满足题目中的（1）-（6）功能，具有高精度、快速响应和抗干扰能力强的优势，具有较高的实用性和可扩展性。

## 五. 设计总结

本项目展示了闭环步进电机控制、图像处理和智能算法的能力。通过多阶段设计、开发和测试，最终实现了一个高性能的三子棋游戏装置。

## 参考文献

- [1] 陈九, 吴十. 基于 ESP32 和 OpenCV 的智能五子棋机器人设计[J]. 电子技术应用, 2022, 48(7): 76-80.
- [2] 王梦寻 戴家兴 施武斌 杨鑫 钱林皓玮 薛晶晶. 基于 STM32 的人机对战五子棋系统设计[J]. 浙江: 绍兴文理学院, 2022
- [3] [3]唐瑞, 方方, 郑玉琴, 隋清圣. 基于 OpenCV 的棋盘格角点检测算法设计[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),
- [4] [4]廖平, 韩伟伟. 基于 STM32 多步进电机驱动控制系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2016(4): 62-65.