

# 2024 年全国大学生电子设计竞赛赛区赛 暨模拟电子系统设计专题赛初赛

## 三子棋游戏装置（E 题）



2024 年 8 月 1 日

# 三子棋游戏装置

**摘要：**本报告设计并实现了一套三子棋游戏装置，旨在通过机械臂与视觉识别技术实现人机对弈。该系统主要包括棋局状况检测、对弈策略与下棋硬件装置三个核心部分。棋局检测采用树莓派运行 OpenCV 进行视觉识别，通过图像处理识别棋盘和棋子的位置及颜色。对弈策略使用穷举法遍历所有可能下法以寻找最佳解。硬件部分选择了三轴舵机机械臂，通过真空气泵吸盘模块实现棋子的准确放置。测试结果表明，系统能够在不同环境下稳定运行，对弈策略能有效应对大多数情况并取得胜利或和棋。整体系统设计合理，性能符合预期目标。

## 关键词

三子棋游戏装置；视觉识别；三轴机械臂；棋局检测；对弈策略

## 一、引言

三子棋是一种民间传统游戏，又叫井字棋。游戏分为双方对战，双方依次在九宫格棋盘上摆放棋子，率先将自己的三个棋子走成一条线就视为胜利，而对方就算输了，但是三子棋在很多时候会出现和棋的局面。

本报告设计并制作三子棋游戏装置，能够控制机械臂放置棋子，实现人机对弈。人、机分别从棋子放置处拾取棋子并放置到方格中，先将己方的 3 个棋子连成一线（横连、竖连、斜连皆可）即获胜。

## 二、方案论证

### 2.1 整体设计方案选择

三子棋人机对弈系统需要检测棋盘位置，棋子位置，并控制机械装置放置棋子，可以分为棋局状况检测，对弈策略，下棋硬件装置三个部分。

对棋局状况检测有以下几种方案，用视觉识别，openmv、opencv 等类似装置，识别棋盘后再识别棋子，同时获知棋子颜色；另一种方案是在棋盘底部放置红外

对管装置来识别有没有棋子，加装编码器或霍尔传感器来获知棋盘旋转情况和下的黑子还是白子。鉴于摄像头识别上限较高，且硬件构造简单稳定，故采用视觉识别方案。经测试，openmv 和 K210 摄像机的性能无法满足题目需求，最终决定使用树莓派运行 opencv 实现识别。

对弈策略部分，考虑到三子棋走法有限，棋盘优势位置有限，可以使用穷举法遍历棋局获取每一步最优解。

下棋硬件装置部分，有使用三轴舵机机械臂，和使用步进电机搭建类 3 轴运动滑轨平台两种方案。由于三轴运动平台专用性高，价格较高，故选用三轴舵机机械臂实现。



图 1 装置总览图

## 2.2 器件选型

### (1) 三轴机械臂

底座高度 4.5cm

大臂长度 14cm

小臂长度 14.5cm

臂向补偿 3cm

机械臂空间约束和自由度满足题目要求

### (2) 单片机选型：MEGA328P Nano、MEGA2560

Arduino Nano 是一款基于 ATmega328P 的开发板。具有丰富的 Arduino 开发库，开发迅捷调试方便，接口数量满足题目所需。

### (3) 真空泵吸盘模块

模块包含真空泵、三通电磁阀、硅胶吸嘴、气管等元件



图 2 真空气泵吸盘模块详情图

真空泵提供吸力，吸嘴尺寸适合吸附本次任务棋子，三通气阀提供快速解除真空状态，快速落子的功能。

树莓派 zero2w

树莓派 Zero 2W 是一款紧凑且高效的单板计算机，搭载了四核 ARM Cortex-A53 处理器，主频 1 GHz，内存 512 MB LPDDR2，满足运行 opencv 的基本要求，提供高效准确的识别能力和设备图形化控制能力。

### 三、理论分析与计算

#### 3.1 棋盘、棋子识别方法

棋盘识别方法：我们的中心思想是从输入的图像帧中检测棋盘的角点，进而计算出每个格子的中心点。

步骤解析：第一步是获取图像并简单处理以便后续的轮廓检测，首先将彩色图像转换为灰度图像，简化处理过程，再使用 Canny 边缘检测算法找出图像中的边缘，检测棋盘的边缘线条，膨胀操作增加边缘的宽度，使得边缘更加连续。第二步，查找图像中的轮廓，选择最大轮廓并近似多边形，选择最大轮廓作为棋盘的轮廓，并用多边形近似检测到的轮廓，以获取四个角点，最后利用这四个角点，计算棋盘上的交点和每个格子的中心点。

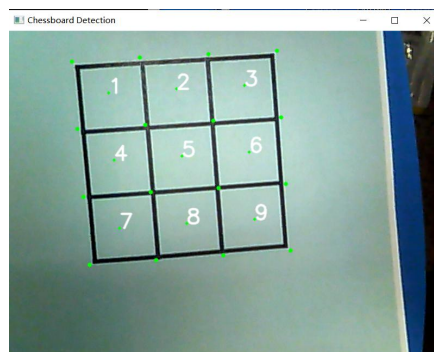


图 3 棋盘图像识别效果图

棋子识别方法：中心思想是通过圆形检测和灰度分析来检测棋子位置和颜色。

步骤解析：首先将获取的图像转换为灰度图像并进行高斯模糊，以减少噪声，再使用霍夫圆变换检测图像中的圆形初步检测棋子，同时通过计算圆形区域的灰度值来确定棋子的颜色。为了提高识别精度，防止误差，合并相近位置：，避免检测到重复的棋子位置，通过距离判断来合并相近的检测结果。

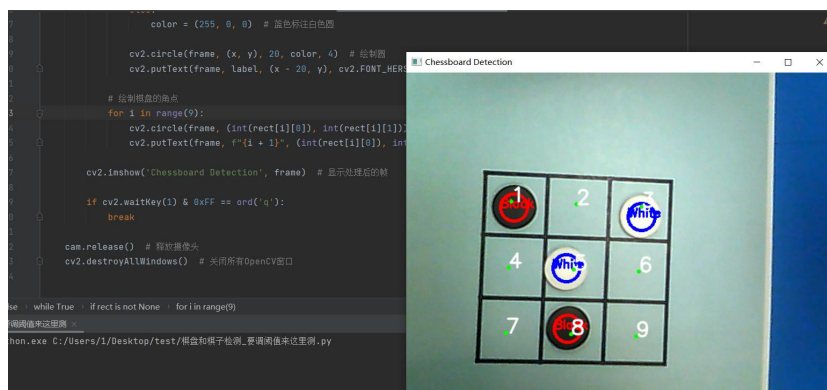


图 4 棋子棋盘识别效果图

### 3.2 对弈算法

由于三子棋下棋策略有限，我们可以基于一定的规则穷举所有可能下法并找到最优下法。

三子棋有以下三个优先顺序原则，中心优先：中心位置是最优选择，因为它参与最多的行、列和对角线；角优先：角位置通常是优先选择的，因为它们提供了更多的获胜路径；边位置优先：边位置是次优选择，主要在其他优先位置被占用时选择。

基于这种优先原则，我们设置了一个 3\*3 的数组来储存棋盘状态，用于辅助装置决定策略，决定策略可以简化为防守，进攻，优先三个原则。防守：检查玩

家是否能在下一步胜利，如果可以，则阻止。进攻：检查电脑是否能在下一步胜利，如果可以，则落子。策略选择：选择中心位置、角位置或边位置来增加胜率。

### 3.3 三轴机械臂的理论分析和计算

三轴机械臂的理论分析和计算涉及正运动学和逆运动学，通过几何和三角函数关系，可以确定任意位置对应的舵机角度。实现机械臂的精确控制需要结合运动规划和实时控制技术。

#### 3.3.1 机械臂结构

基座（底盘）、大臂、小臂

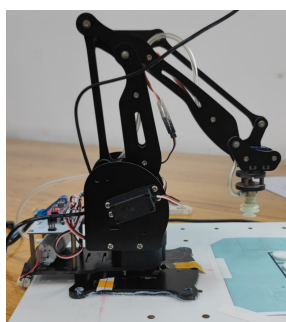


图 5 三轴机械臂实物图

#### 3.3.2 运动学分析

运动学分析包括正运动学（给定关节角度求末端位置）和逆运动学（给定末端位置求关节角度）。我们以逆运动学为例

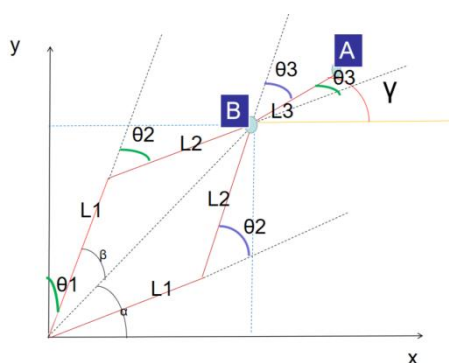


图 6 机械臂解算示意图

基座旋转角度 $\theta_1$

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right)$$

根据机械臂的几何关系，使用余弦定理求解大臂和小臂的角度。

$$\theta_3 = \theta_{31} + \theta_2 = \arccos\left(\frac{R^2 + (Z - h)^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2}\right) + \theta_2$$

大臂角度 $\theta_2$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{Z - h}{R}\right), \beta = \arccos\left(\frac{R^2 + L_1^2 - L_2^2}{2RL_1}\right)$$

$$\theta_2 = \alpha + \beta$$

## 四、电路与程序设计

### 4.1 电路设计

将开发板与舵机驱动板通过排母连接，其余信号线缆使用 USB HDMI 线缆进行连接。

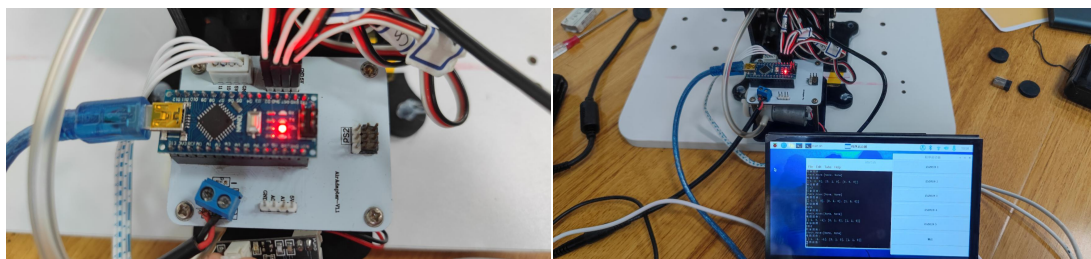


图 7、8 电路设计总览图

### 4.2 程序设计

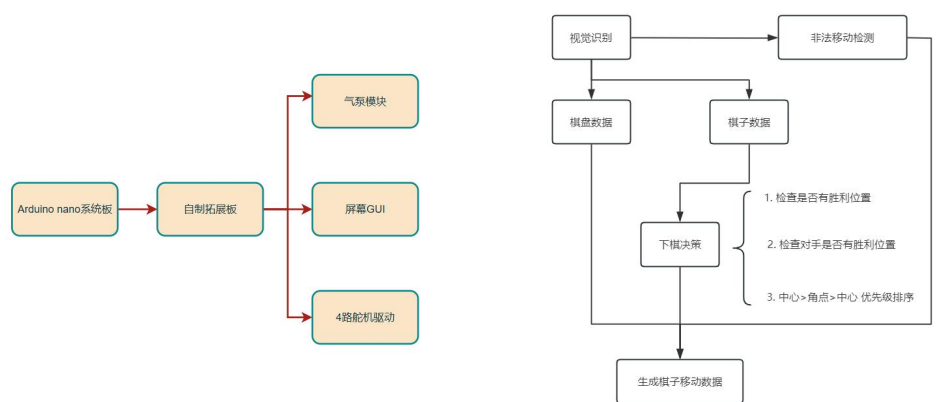


图 9/10 电路设计模块图/下棋状态机流程图

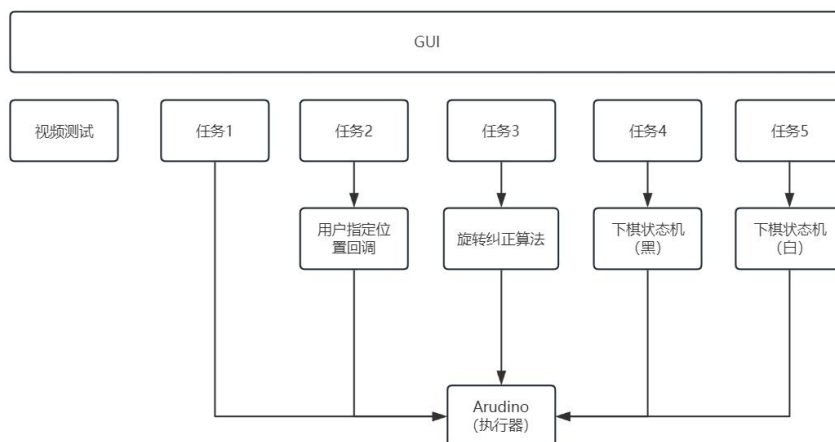


图 11 程序框图

## 五、测试方案与测试结果

### 5.1 测试方案

#### (1) 视觉识别阈值测试

使用 Lcd 屏幕作为控制器，运行 GUI 程序用于控制，依次在强光，弱光，木制地板，瓷砖地面等环境中依次执行任务一至任务六，观察任务完成情况。设定棋子大小为 22mm，选择浅蓝色棋盘，并确定合适的判定阈值。

#### (2) 棋子材质的测试与确定

使用丁腈橡胶，聚四氟乙烯，硅胶，氟胶制作棋子并进行气泵吸附测试，发现丁腈材质吸附效果最好，且回落较为迅速，因此选择丁腈橡胶材质棋子。

#### (3) 机械臂运动解算与控制测试

在地板上布置 A3 打印纸，使用记号笔构建坐标系，测试坐标系中坐标达成精度，并调节 PID 参数以稳定过程。

### 5.2 测试结果完整性

任务一：我们先后放置棋子十次，放置棋格位置正确，其中有 2 次触及边框。

任务二：我们先后将 2 枚黑色棋子，2 枚白色棋子放置于棋盘的不同方位，共执行 8 次，棋子放置位置均为指定位置，其中触及边框的次数为 6 次。



任务三：执行测试 3 次。

任务四：进行人机对弈 17 次，其中机器获胜次数为 15 次，2 次平局。

任务五：进行人机对弈 13 次，机器方失败次数为 0。

任务六：在测试任务四和任务五中移动机器方下的棋子，均能成功矫正。

### 5.3 测试结果分析

分析测试结果，我们成功完成要求（1）（2）（4）（5）（6），我们的对弈策略能有效应对大多数情况并取得胜，即使先手处于劣势，也能通过策略达到和棋。放置棋子精度要求受制于机械臂和棋盘棋子的相对位置，机械臂精度达到题目要求。

## 六、结论

本报告设计的三子棋游戏装置能够实现稳定的人机对弈功能，系统的视觉识别、对弈策略和机械臂控制均表现良好。经过全面测试，装置在多种环境下稳定运行，能够有效完成棋局检测和棋子放置任务，显示了良好的设计和实现效果。

## 七、参考文献：

- [1] 【三轴机械臂解算(逆运算)控制 - 只需要初中三角函数-超级详细讲! 】  
[https://www.bilibili.com/video/BV1mY41l476h/?share\\_source=copy\\_web&vd\\_source=6e956c86f9eaeef5c571c854c21e5bb7](https://www.bilibili.com/video/BV1mY41l476h/?share_source=copy_web&vd_source=6e956c86f9eaeef5c571c854c21e5bb7)
- [2] 太极创客 <http://www.taichi-maker.com>
- [3] 卢光跃, 吴涛. 基于 Arduino 控制的机械臂的运动与程序设计[J]. 机械制造, 2014, 52(3):3. DOI:10.3969/j.issn.1000-4998.2014.03.017.
- [4] 【博弈论】经典游戏三子棋如何做到 100%不败 <http://t.csdnimg.cn/L8AdX>