

三子棋游戏装置（E 题）

摘要

本文介绍了一种三子棋游戏装置的设计和实现，该装置能够控制机械臂自动放置棋子，以实现人机对弈的功能。装置的设计以 ESP32 单片机为核心控制模块，结合了三自由度机械臂、树莓派 OpenCV 机器视觉模块，实现了棋子的精确识别和放置。通过对采集到的图像进行二值化预处理，并利用颜色识别和轮廓检测技术，装置能够准确定位棋盘中心坐标和棋子位置坐标。采用比例-积分-微分（PID）控制策略，调整机械臂的电机速度和移动方向，确保电磁铁能精确吸取并放置磁性棋子到目标方格。本研究不仅展示了装置的设计方案、理论分析与计算、电路与程序设计，还通过系统测试验证了其功能性和可靠性，满足了三子棋游戏装置的竞赛要求。

关键词：ESP32 单片机；OpenCV；自动对弈

一、引言

为了实现运动目标位置复位功能、运动目标控制以及自动追踪功能，本系统以 ESP32 为核心控制模块，集成了三自由度机械臂、ESP32 单片机系统以及树莓派 OpenCV 机器视觉模块，本报告将涵盖设计方案选择、理论分析与计算、电路程序设计、系统测试以及结论。

二、设计方案

2.1 整体设计方案选择

首先使用树莓派自带的摄像头模块采集棋盘图像，获取实时图像数据，调用 OpenCV 对采集到的图像进行二值化预处理，将结果通过串口通信的方式传输给 ESP32 单片机，在预处理后的图像上进行检测。使用摄像头并通过图像处理技术，如颜色识别和轮廓检测，来定位棋盘中心坐标和棋子位置坐标。识别对手棋子位置后，采用比例-积分-微分（PID）控制，调整步进电机速度和移动方向使电磁铁移动至目标方格，通过控制继电器实现电磁铁对磁性棋子的吸取释放。采用深度学习思路，对每一步的分数进行计算，选择分数最高的一步落棋。系统总体框图如图 2.1 所示。

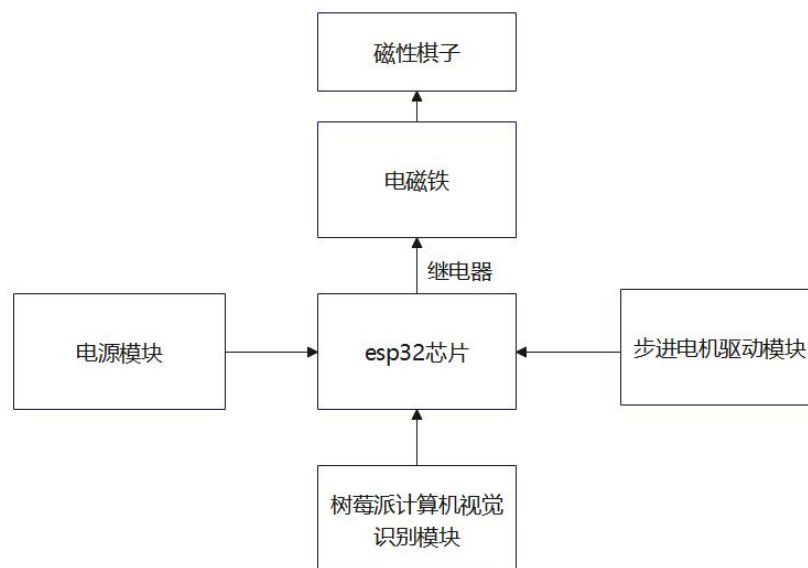


图 2.1 系统总体框图

2.2 器件选型

本系统由三自由度机械臂、ESP32 单片机系统以及树莓派机器视觉模块组成，下面将逐一介绍各个模块的论证与选择。

2.2.1 机械模块搭建的论证与选择

方案一：舵机搭建。这类电机依赖于 PWM 信号进行操作，它们能够对旋转角度进行细致的调节，并在到达预定位置后保持该角度不变。舵机的控制线路设计简洁，便于整合到系统中，且价格相对低廉。然而，它们的旋转精度不足，这会影响对精确度要求较高的控制任务。

方案二：闭环步进电机搭建。步进电机，也被称作脉冲电机，它们能够提供更为精确的角度控制，确保电机能够准确无误地旋转至设定的角度。与方案一相比，步进电机在精度上具有明显优势。

方案三：伺服电机搭建。伺服电机具备精密的反馈控制系统，能够通过编码器或位置传感器实时监测并调整其位置，确保控制的准确性。尽管伺服电机在控制线路和所需算法上比舵机和步进电机更为复杂，且成本较高，但它们在需要高精度控制的应用场景中表现出色。

方案选择：为保证识别精度，确保巡线的稳定性，所以选择方案二。

2.2.2 主控芯片的论证与选择

方案一：STM32。拥有较高的性能和丰富的外设，适合工业控制和嵌入式系统。但在这个场景中，并没有涉及到特别复杂的控制算法或高性能计算需求。因此，使用更强大的 STM32 可能会显得有些浪费，而且可能增加开发和调试的复杂性。

方案二：ESP32。ESP32 具有 WiFi 或蓝牙通信模块，还有丰富的 GPIO 和通信接口，可以控制电机的转动方向和速度以及继电器与驱动电路的连接，控制电磁铁吸取释放磁性棋子。此外，ESP32 还具有较低的功耗特性，有利于节能。对于电磁铁的控制和移动不是过于复杂和计算密集的情况下，ESP32 可以满足需求。

方案选择：综合考虑到本次的场景应用，我们选择方案二。

2.2.3 机器视觉模块的论证与选择

方案一：OpenMV。OpenMV 适用于实时图像分析和控制应用,提供了简单易用的 Python API，使图像处理任务相对简单，适合初学者和快速原型开发。

方案二：树莓派。树莓派拥有较强的处理能力，适合进行复杂的图像处理任

务，如边缘检测、物体识别和跟踪等。同时灵活性高，可以使用各种编程语言和图像处理库，如 Python 和 OpenCV，提供了更大的灵活性和自定义能力。

方案三：K210。K210 芯片具有较强的计算能力和图像处理能力，可以直接在芯片上进行目标追踪算法的开发和运行。但是，对于一些复杂的图像处理算法，K210 的计算资源可能不足。

方案选择：使用树莓派可以充分发挥其强大的计算能力和灵活性，实现图像处理等功能，因此我们选择方案二。

三、理论分析与计算

3.1 闭环步进电机驱动原理分析

本系统中采用 Emm42_V5.0 闭环步进电机，将 ESP32 单片机与步进电机驱动器连接起来，通过发送适当的脉冲序列（即步进脉冲）来控制步进电机的运动，从而实现运动目标控制系统。

步进角是步进电机每次转动的角度，通常用度（°）表示。例如，一个步进电机的步进角为 1.8°，意味着每接收一个脉冲，电机转动 1.8°。

步进脉冲是通过控制器发送给步进电机的信号，它是驱动电机运动的关键。发送一系列的脉冲，步进电机就会按照对应的步进角度转动。

3.1.1 步进电机的角度控制

首先要明确步进电机的细分数，然后确定步进电机转一圈所需要的总脉冲数。计算“角度百分比=设定角度/360°(即一圈)”

公式为：角度动作脉冲数=一圈总脉冲数*(设定角度/360°)。

3.1.2 步进电机的距离控制

首先明确步进电机转一圈所需要的总脉冲数。然后确定步进电机滚轮直径，计算滚轮周长。计算每一脉冲运行距离。最后计算设定距离所要运行的脉冲数。

公式为：设定距离脉冲数=设定距离/[(滚轮直径*3.14)/一圈总脉冲数]

对于每个细分后的角度步进，生成相应的 PWM 信号，以控制电磁铁的位置。基于细分后的角度步进和 PWM 信号，使用控制电路或微控制器来精确控制电磁铁的运动，从而将棋子放入到预定方格内。

3.2 运动目标控制原理分析

运动目标控制是指通过控制步进电机，使棋子根据算法移动至目标方格内。

使用 4Emm42_V5.0 闭环步进电机驱动。具体的原理如下：

通过控制步进电机驱动器，发送一系列的步进脉冲信号，控制步进电机按照预定的步进角度转动。将步进电机与 ESP32 单片机连接，运用角度计算、细分算法和精准的步进电机驱动，实现电磁铁吸取磁性棋子移动至棋盘目标方格内。

3.3 对弈算法分析

三子棋对弈算法的核心是通过策略性选择来提高胜率。算法首先通过数据结构如二维数组来监控棋盘状态。接着，利用评估函数分析棋盘布局，考虑棋子连线概率和棋盘控制等战略要素。采用 Minimax 算法进行递归评估，结合 Alpha-Beta 剪枝优化搜索效率。搜索深度影响 AI 的决策质量，但也会增长计算时间。最终，算法循环评估、选择并执行最优走法直至游戏结束，确保了计算效率和对弈竞争力，且有潜力通过迭代优化提升水平。对弈算法流程图如图 3.1 所示

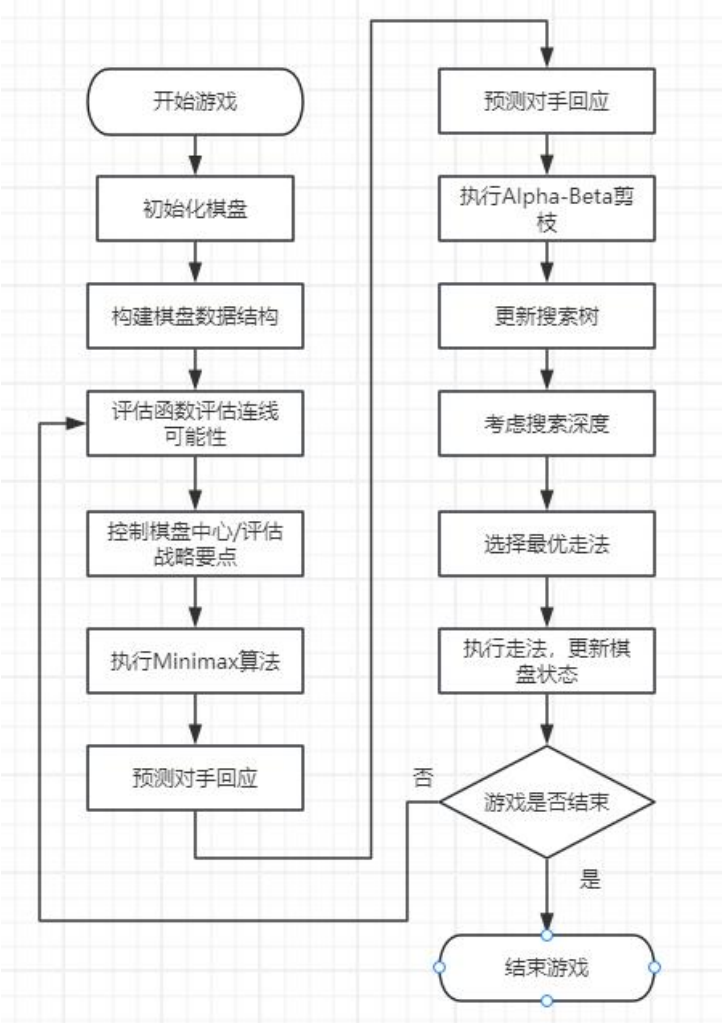


图 3.1 对弈算法流程图

四、电路与程序设计

4.1 硬件电路设计

4.1.1 硬件连接图

系统主要由 ESP32 单片机系统、树莓派视觉模块组成，其中单片机系统包含了电源模块和电机驱动模块，如图 4.1 所示。

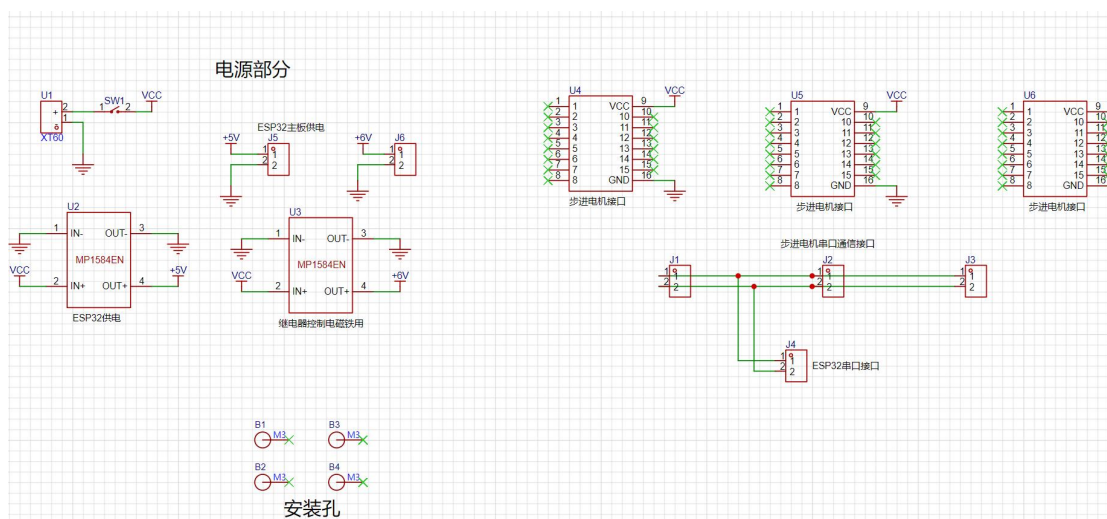


图 4.1 硬件连接图

4.1.2 ESP 32 电路原理图

ESP32 主控电路原理图如图 4.2 所示。

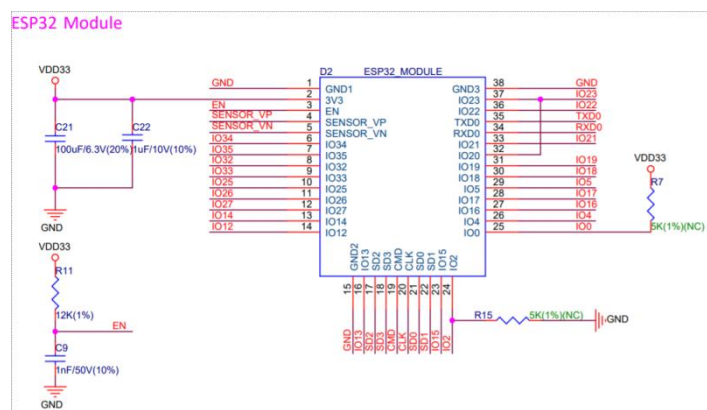


图 4.2 ESP32 主控电路原理图

4.1.3 电机控制电路原理图

电机控制系统电路，如 4.3 所示。

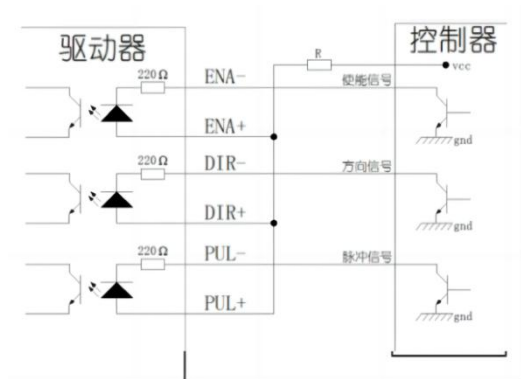


图 4.3 电机控制系统电路原理图

4.1.4 树莓派原理图

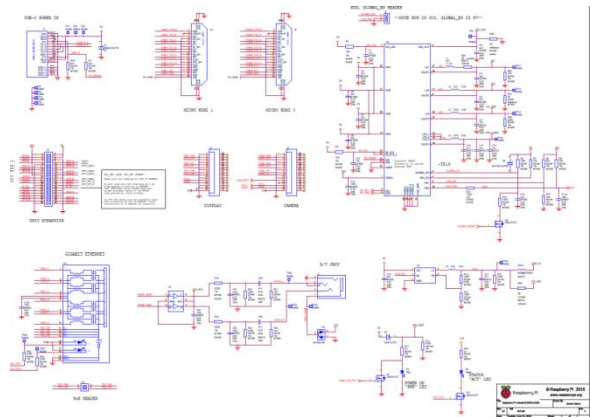


图 4.4 树莓派电路原理图

4.2 软件设计流程图

图像处理模块和 ESP32 主控系统流程图，如图 4.5 所示。



图 4.5 图像处理模块和 ESP32 主控系统流程图

五、系统测试

5.1 测试方案

5.1.1 基本功能测试

测试项目（1）：验证装置能否将任意一颗黑棋子放置到 5 号方格中。

测试方法：启动装置，设置模式一，放置棋子，记录放置是否准确。

5.1.2 顺序放置测试

测试项目（2）和（3）：验证装置能否依次放置黑棋和白棋到指定方格，包括棋盘旋转情况。

测试方法：设置不同方格号，让装置依次放置棋子，并在棋盘旋转 $\pm 45^\circ$ 后重复测试。记录棋子是否可依次准确放置到指定方格，旋转后仍能准确放置。

5.1.3 对弈逻辑测试

测试项目（4）和（5）：验证装置在对弈中的逻辑判断能力。

测试方法：模拟人工错误放置和正确放置，观察装置的响应，记录棋子可否识别人工错误并获胜，或在人工正确放置时保持不输，且在下完棋后是否有灯亮。

5.1.4 异常处理测试

测试项目（6）：验证装置对棋子位置变动的响应能力。

测试方法：在对弈过程中，人为移动装置已放置的棋子，观察装置是否能发现并纠正。记录装置能自动发现棋子位置变动，并在规定时间内将棋子放回原位。

5.1.5 棋子分拣测试（其他部分）

测试项目（7）：验证装置是否可实现将棋盘上的棋子识别颜色，放回对应原位的能力。

测试方法：选择模式，观察装置的响应，记录装置能否将棋子放回对应原位。

5.2 测试结果

经过全面测试，三子棋游戏装置在关键功能上表现优异。系统稳定执行拾取和放置棋子任务，在棋盘旋转等复杂条件下也能准确放置。对弈逻辑测试显示，系统能策略性地响应棋盘变化，有效利用对手失误或防守保持优势。异常处理能

力确保了游戏的公正性和流畅性。测试结果证实了装置的高效性、稳定性及在实际应用中的可靠性。

六、结论

本研究成功设计并实现了三子棋游戏装置的硬件电路,通过精心布局各个模块于电路板之上,确保了整体设计的合理性和紧凑性。经过细致的单独和联合测试,各硬件组件和软件程序均表现正常,协同工作时亦满足了题目的所有技术要求。这表明了系统设计的高效性和可靠性,为三子棋游戏的自动化提供了坚实的硬件基础。