课程大作业：“黑白棋”实验报告

吴立文 23061925

1. 实验要求

1) 通过板上 LCD 实现黑白棋游戏；

2) 能实现双人对弈功能；

3) 能与 PC 机交互，实现“人——机中转——PC”对弈。

2. 实验设计

2.1. LCD 部分

本次实验基于 TFT LCD 显示屏与电阻式触摸屏实现棋盘的显示与交互过并行 GPIO 总线驱动 LCD 显示，以及 GPIO 模拟 SPI 协议读取触摸屏 AD 数据。大致可分为图像显示与触摸屏实现两个部分。

2.1.1. 图像显示

LCD 采用 16 位并行数据总线与控制信号线相结合的方式实现通信。通过对 GPIO 端口的直接配置与操作，系统模拟 8080 时序协议，完成对 LCD 控制器寄存器的读写操作。该方式具有数据传输速度快、时序可控性强的优点，能够满足棋盘界面频繁刷新的需求。

在软件设计上，LCD 驱动层首先完成对 LCD 控制器的初始化，包括控制器型号识别、显示参数配置、扫描方向设置以及颜色格式选择。系统统一采用 RGB565 颜色格式，屏幕分辨率固定为 240*320。

在此基础上，驱动层封装了一组基础图形显示接口，包括像素点绘制、直线绘制、矩形与圆形绘制、区域填充以及清屏操作。同时，系统还实现了字符和字符串显示功能，支持不同字号的 ASCII 字符显示，可用于输出调试信息、提示文本及游戏状态信息。

2.1.2. 触摸屏实现

本系统采用电阻式触摸屏作为输入设备，用于获取用户在 LCD 屏幕上的触摸位置，实现黑白棋的交互式落子操作。触摸屏通过触摸控制芯片对触点位置进行模数转换，并将转换后的坐标数据传输给 STM32 微控制器进行处理。

在硬件接口方面，触摸屏控制芯片采用 SPI 通信方式与主控芯片连接。由于系统资源限制，程序中使用 GPIO 模拟 SPI 协议完成数据的发送与接收，通过软件控制时钟线、数据输出线和数据输入线，实现对触摸坐标的读取。该方式不依赖硬件 SPI 外设，具有较好的灵活性和可移植性。

为提高系统响应效率，触摸屏的按压检测采用外部中断方式实现。当用户触摸屏幕时，触摸控制芯片产生中断信号，触发微控制器进入中断服务程序，在中断中完成触摸数据的采集与处理，从而避免了轮询方式带来的资源浪费。

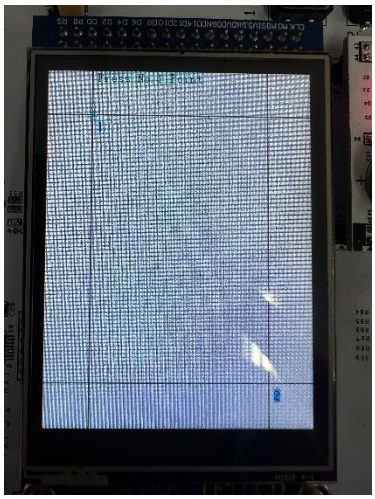


图 1 触摸校准显示内容，交替触摸左上角与右下角完成校准

由于触摸屏采集到的坐标值与 LCD 实际显示像素坐标不一致，系统通过触摸校准机制建立触摸坐标与屏幕坐标之间的映射关系。程序通过在 LCD 屏上输出指定图案，引导用户点击采集屏幕指定位置并收集触摸数据，计算触摸坐标的最小值与最大值，并采用线性映射的方法将触摸 AD 值转换为对应的屏幕像素坐标，实现触摸点与显示内容的一致对应。在实际数据采集过程中，系统会对每个坐标进行多次采样。通过对采样结果取加权平均值的方式，有效降低了触摸抖动和噪声干扰，提高了触摸坐标的稳定性和可靠性。每

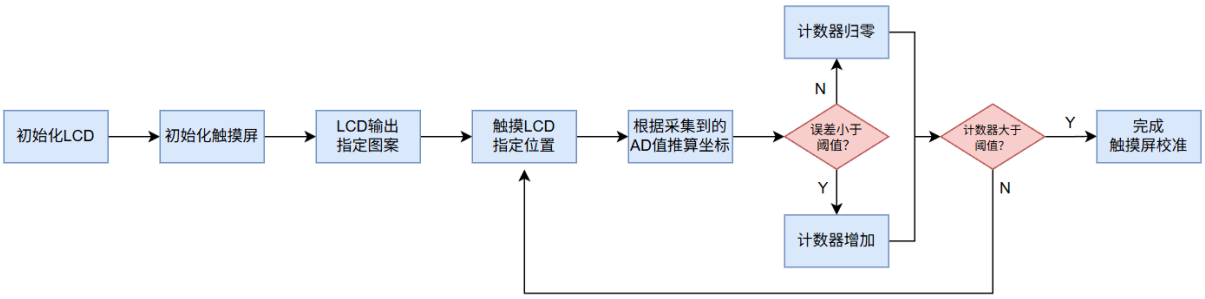


图 2 LCD 触摸屏校准流程图

次采集的触摸坐标会与 LCD 实际显示坐标进行比对，满足连续多次误差在一定范围内即通过触摸校准。实际阈值可根据需求调节。

2.2. STM32 黑白棋部分

本实验实现了一种基于 5×5 棋盘的简化黑白棋游戏，系统以二维数组作为棋盘数据结构，通过 LCD 显示模块进行可视化呈现，并结合触摸屏输入完

成玩家交互。游戏支持棋盘初始化、棋子选择与移动、吃子判定、胜负判断以及回合切换等完整流程。

2.2.1. 棋盘绘制

再完成触摸屏校准后，通过实现好的 LCD 驱动将 LCD 屏填充为需要的棋盘底色，再在上面画上棋盘与棋子。

在棋盘设计方面，系统将 LCD 显示区域中的 240×240 像素划分为规则的 5×5 网格，每个交叉点对应一个棋盘位置。程序通过绘制横线和竖线生成棋盘网格，并使用黑白圆形图形表示棋子。棋盘状态由二维数组 Table 维护，其中不同数值分别表示空位、白棋和黑棋，实现了棋盘逻辑状态与显示状态的统一管理。代码如下：

```
// 初始化棋盘，包括了棋子位置的初始化
void drawChessboard() {
    LCD_Clear(CHESSBOARD_COL);

    // 240*320 选取 240*240 区域座位棋盘。
    // 五条线各占 48，上下左右各留 24
    for (int i = 0; i < 5; ++i) {
        LCD_DrawLine(24, 24 + i * 48, 240 - 24, 24 + i * 48); // 横线
        LCD_DrawLine(24 + i * 48, 24, 24 + i * 48, 240 - 24); // 竖线
    }

    // 初始化棋子位置，并绘制
    memset(Table, 0, sizeof(Table));
    Table[0][0] = Table[0][1] = Table[0][2] = Table[0][3] = Table[0][4]
= 2; // 黑子
    BCnt = 5;
    Table[4][0] = Table[4][1] = Table[4][2] = Table[4][3] = Table[4][4]
= 1; // 白子
    WCnt = 5;

    for (int i = 0; i < 5; ++i)
        for (int j = 0; j < 5; ++j)
            if (Table[i][j] != 0) {
                POINT_COLOR = (Table[i][j] == 1) ? WHITE : BLACK;
                LCD_Draw_Circle(ChessBoardPos[i], ChessBoardPos[j],
PIECE_RADIUS, 1);
            }
```

```
    // 重置各种标志位
    WinFlag = 0;
    PieceX = PieceY = -1, PieceValid = 0;
    LastPieceX = LastPieceY = -1, LastPieceValid = 0;
    whichTurn = 2;
    SelectPieceFlag = 0;
    AIFlag = 0;
    MovePieceFlag = 0;

    sprintf(showstr, "Time for:");
    POINT_COLOR = BLACK;
    BACK_COLOR = CHESSBOARD_COL;
    LCD_ShowString(65, 260, 240, 20, 16, showstr);
    LCD_Draw_Circle(160, 265, PIECE_RADIUS, 1); // 黑子先行
}
```

2.2.2. 移子逻辑

在移动棋子的逻辑上，程序预先保存了棋盘交叉点（即可落子位置）的坐标，每当玩家触摸便将的到 x，y 坐标与交叉点坐标进行比对，误差在一定范围内便视为选择了这个交叉点，实现将 x，y 坐标转为棋盘坐标方便后续处理。

每次触摸，若能得到有效棋盘坐标，便需要绘制选中框（还需要擦除上次的选中框，方法下文会介绍）。选中框使用比棋子半径大 1 像素的黄色空心圆表示，代码如下:

```
void selectPiece() {
    if (PressFlag > 0) {
        SelectPieceFlag = 1;
        // 擦除上次选中
        // 如果本次触摸到棋盘外，相当于取消上次的选择
        LastPieceX = PieceX;
        LastPieceY = PieceY;
        LastPieceValid = PieceValid;
        if (LastPieceValid) {
            POINT_COLOR = CHESSBOARD_COL;
            LCD_Draw_Circle(ChessBoardPos[LastPieceX],
ChessBoardPos[LastPieceY], PIECE_RADIUS + 1, 0);
            reDrawChessboardLine(LastPieceX, LastPieceY);
        }

        PressFlag = 0;
        PieceX = PieceY = -1;
```

```
        for (int i = 0; i < 5; ++i)
            if (abs(xScreen - ChessBoardPos[i]) < PIECE_RADIUS) {
                PieceX = i;
            }
        for (int i = 0; i < 5; ++i)
            if (abs(yScreen - ChessBoardPos[i]) < PIECE_RADIUS) {
                PieceY = i;
            }
        if (PieceX != -1 && PieceY != -1) {
            PieceValid = 1;
            // 记录本次选中
            POINT_COLOR = CYAN;
            LCD_Draw_Circle(ChessBoardPos[PieceX],
ChessBoardPos[PieceY], PIECE_RADIUS + 1, 0);
        } else {
            PieceValid = 0;
        }
    } else
        SelectPieceFlag = 0;
}
```

为了实现移动棋子功能，系统会记录上次选中的位置。每次触摸都会进行判断：

- 上次选中位置有棋子，且是该棋子的回合；
- 这次选中位置是空位；
- 能从上个位置合法走到当前位置。

同时满足这三条便能满足走棋要求。更新 LCD 显示内容与系统 Table 数组。

刷新 LCD 时，要显示走棋后的棋子是方便的，直接在原有棋盘基础上绘制棋子即可。而走棋前的棋子要变回棋盘需要同时考虑棋盘底色与棋盘网格线：为了同时覆盖选中框，填充棋盘底色时需要绘制“棋子半径+1”的圆。而棋盘网格线也不是简单的填充“十”字，棋盘外围的网格线并不是完整的“十”字，特判即可。代码如下：

```
void movePiece() {
    if (SelectPieceFlag || AIFlag) {
        int LastTouchValid, TouchValid, Distance;
        LastTouchValid = LastPieceValid && Table[LastPieceX][LastPieceY]
== whichTurn;
```

```
        TouchValid = PieceValid && Table[PieceX][PieceY] == 0;
        Distance = abs(LastPieceX - PieceX) + abs(LastPieceY - PieceY);

        // 判断是否可以移动
        if (LastTouchValid && TouchValid && (Distance == 1)) {
            // 移动棋子
            Table[PieceX][PieceY] = Table[LastPieceX][LastPieceY];
            Table[LastPieceX][LastPieceY] = 0;

            // 绘制移动后的棋子
            POINT_COLOR = (Table[PieceX][PieceY] == 1) ? WHITE : BLACK;
            LCD_Draw_Circle(ChessBoardPos[PieceX],
ChessBoardPos[PieceY], PIECE_RADIUS, 1);

            // 重新绘制原有位置
            POINT_COLOR = CHESSBOARD_COL;
            LCD_Draw_Circle(ChessBoardPos[LastPieceX],
ChessBoardPos[LastPieceY], PIECE_RADIUS, 1);
            reDrawChessboardLine(LastPieceX, LastPieceY);

            // 置位 AI 输入、移动标志
            AIFlag = 0;
            MovePieceFlag = 1;
            return;
        }
    }
    MovePieceFlag = 0;
}
```

2.2.3. 维护棋盘状态

棋子移动完成后，需要更新棋盘的状态，检查是否有吃子，是否有玩家获胜，换边等等。这个部分只需要根据规则检查 Table 数组即可完成。为了提升效率有如下一些小剪枝：

- 只有有棋子移动了才回去检测是否需要更新棋盘；
- 吃子检测只对刚刚移动的棋子进行，没必要扫描整个棋盘；
- 只有在双方棋子数量差在 2 及以上时才进行无法移动检查。

同时通过 LCD 屏直接输出回合信息（轮谁下）以及获胜信息，更直观的反馈给玩家。

为了方便多次游玩，还通过中断实现了按下按键（PE6）重置游戏的功能。至此已经可以流畅的进行双人对弈。

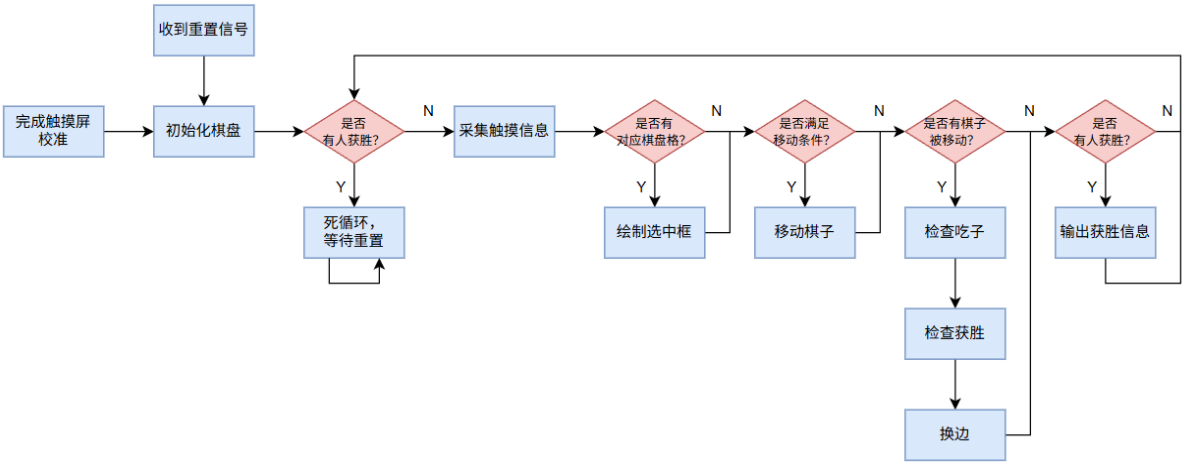


图 3 黑白棋游戏流程图

PC 机黑白棋部分

与 PC 机对弈时，规定玩家执黑先行，PC 机执白。使用 python 编写对弈 AI。

2.2.4. 通信部分

使用 UART 与 PC 机进行通信，仿照 Modbus，以数据帧为单位发送信息。每个数据帧包括走棋信息（两对坐标）与两位 CRC 校验码共 6 个字节信息。特别的，重置信号为“RESET”与两位 CRC 校验码。

走棋信息的合法性由发送方保证，且不实现超时、重传等机制。数据帧的划分通过空闲 3.5 字节（类似 Modbus）为标志。

具体实现时，只需要在每次走棋后向 PC 机发送走棋信息，白棋走棋时使用 PC 机发送的信息即可，其他逻辑可复用双人对弈的实现。

2.2.5. AI 部分

下棋 AI 采用基于 Minimax 博弈搜索的 Alpha-Beta 剪枝算法。大致内容为：核心为一个打分函数，打分内容为子力差、机动性、是否能吃子。三者会乘上一个系数来表示重要性。每次 AI 会搜索所有可行走子方案，并调用这个打分函数，选择分数最高的执行。

为了增加 AI 的“考虑能力”，可以设置搜索层数：当 AI 枚举了一个走子方案，不再直接使用打分函数的结果，而是再次枚举对手所有走子方案并打分，选择打分结果最低的（对手总是充分聪明）作为这个走子方案的结果。再在所有结果中选择最佳的。这个过程可多次嵌套，搜索深度越深，AI 越智能。

同时可增加 Alpha-Beta 剪枝，即在搜索过程中直接过滤掉已经劣于当前得到的方案的分枝，加快 AI 搜索速度。

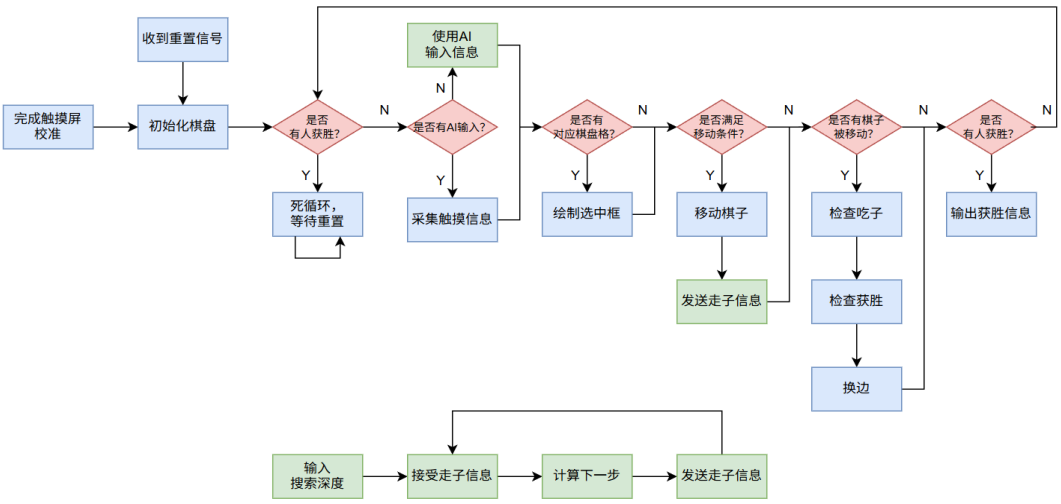
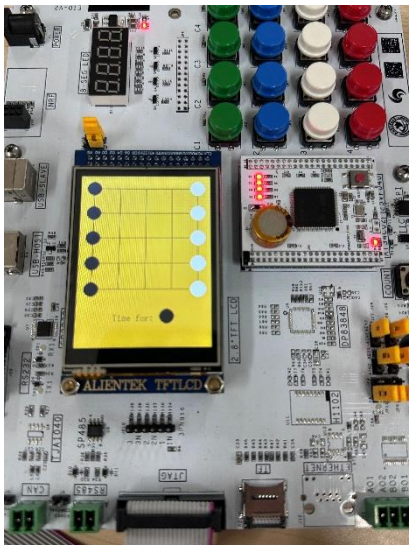


图 4 引入 AI 后的黑白棋游戏流程图

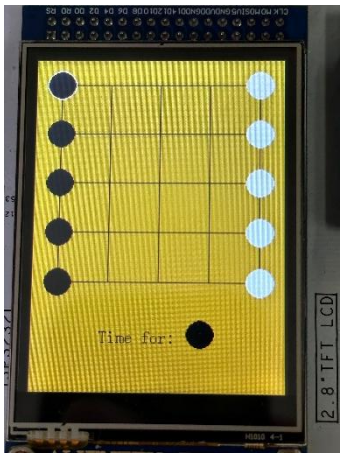
AI 的搜索深度作为输入数据，实现玩家可以动态调整对局难度。

3. 实验结果

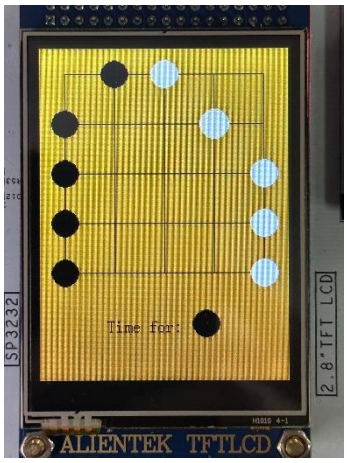
完成屏幕校准后，LCD 显示棋盘与棋子，准备开始游戏：



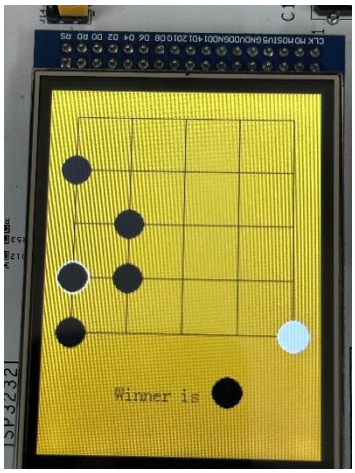
触摸左上方黑棋，可以看到黑棋出现了选中框效果。再次触摸相邻棋格，成功走子：



此时我们未连接 PC，可以移动白字完成人人对弈。简单测试吃子功能：



简单测试两种获胜情况：



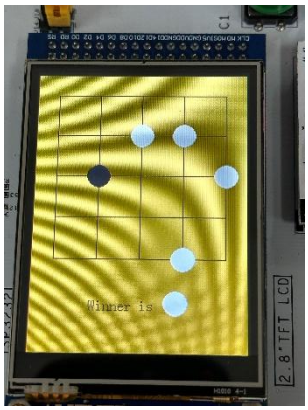
启动对弈 AI 后，首先输入搜索层数，此时按下重置游戏按钮，PC 机能收到对应数据帧：

```
(venv) PS C:\Users\JustinWu\Desktop\Embedded-Systems-Course-Project\AI> python .\chessAI.py
请输入 AI 搜索深度（例如 0 / 1 / 2 / 3 / 4）：0
AI 搜索深度已设置为 0
等待走子...

==============================

收到数据帧: bytearray(b'RESETK\xbe')
CRC 校验通过。数据: bytearray(b'RESET')

游戏重置

B...W

B...W

B...W

B...W

B...W
```

此时左上方黑子向右移动一步，可以看到对弈 AI 收到走子信息，计算应对方法后发送回 STM32，STM32 完成走子并显示到 LCD 上：


```
==============================

收到数据帧: bytearray(b'\x00\x00\x01\x00\x01\xb4')
CRC 校验通过。数据: bytearray(b'\x00\x00\x01\x00')
Sent frame: b'\x04\x03\x03\x03\xb1\xe5'

BLACK> (0,0) -> (1,0)
WHITE> (4,3) -> (3,3)

.B..W

B...W

B...W

B..W.

B...W
```

与 AI 对弈一会儿，遗憾告负：




```
==============================

收到数据帧: bytearray(b'\x01\x00\x01\x01\xc1\x88')
CRC 校验通过。数据: bytearray(b'\x01\x00\x01\x01')
Sent frame: b'\x02\x02\x02\x01`\xfc'

BLACK> (1,0) -> (1,1)
WHITE> (2,2) -> (2,1)

.....

..WW.

.B..W

.....

...W.
```

通过多次尝试，发现即使搜索深度为 0，即只为落子后的局面进行打分，已经难以战胜 AI 了。一方面说明笔者编写的 AI 实力强劲，一方面说明游戏规则可能有修改空间（并非笔者棋力问题）。

按下重置按钮后又可以开始新的一局！

4. 改进空间

虽然目前已经实现了基本的人人、人机对弈功能，但是系统还存在许多需要完善的细节：

每次重新上电都需要从 0 开始校准触摸屏，有时这一过程会显得有些烦琐，可以考虑使用实验板上的 EEPROM 资源，将本次采集的 AD 数据写入，重新上电时读出，从而达到快速校准或者直接跳过校准的效果。

目前 UART 通信过程中没有任何超时、重传机制，发现了 CRC 校验错误也只能手动重置游戏。实际使用时可能会因为落子过快导致错误 PC 机发送的数据帧导致 STM32 与 PC 机的棋盘失去同步。可以仿照 TCP 协议编写完整的收发检验协议，在一方检测到错误或者超时时能自动重发数据帧。

LCD 的显示内容均为英文，可以考虑实现中文显示甚至中英文切换，让游戏变得更加用户友好。

5. 心得与体会

通过本次《嵌入式原理》课程的大作业，我对“嵌入式系统”这一概念有了从抽象到具体、从模块到整体的深入认识。作为一名计算机科学与技术专业的大三学生，在以往的学习中，我更多接触的是偏软件方向的内容，例如数据结构、操作系统、编译原理等，而本次实验则让我第一次真正站在“软硬件结合”的视角，完整地设计并实现一个可交互、可扩展的嵌入式系统。

在技术层面，这次实验极大地加深了我对底层硬件工作方式的理解。无论是通过 GPIO 模拟 8080 总线驱动 LCD，还是通过软件模拟 SPI 协议读取触摸屏数据，亦或是使用外部中断提升系统响应效率，这些内容都让我意识到：嵌入式开发并不仅仅是“把代码写到单片机里”，而是需要在时序、资源、实时性等多方面做权衡。很多在 PC 上“理所当然”的事情，在嵌入式环境下都需要仔细推敲，例如刷新策略、通信可靠性、状态同步等，这种工程层面的约束让我受益匪浅。

在系统设计与抽象能力方面，本次实验对我也是一次很好的锻炼。从 LCD 驱动层、触摸屏输入层，到黑白棋逻辑层、UART 通信层，再到 PC 端 AI 对弈程序，每一部分都需要相对清晰的分层和接口设计。尤其是在复用“人人对弈”逻辑实现“人机对弈”的过程中，我逐渐体会到良好模块划分的重要性。这种思路与我在操作系统课程中学习到的“分层设计”、在软件工程课程中接触到的“高内聚、低耦合”是高度一致的，也让我感受到不同课程之间并非割裂，而是在不同层次上相互呼应。

在与 PC 端 AI 对弈的实现中，将嵌入式系统与 Python 编写的博弈搜索算法结合起来，也让我对“嵌入式 + 上位机 + 算法”的协同模式有了直观认识。这种模式在现实中非常常见，例如智能设备、工业控制、物联网终端等，都往往需要在资源受限的设备端完成采集与控制，而将复杂计算放在性能更强的上位机或服务器上完成。近年来随着人工智能和边缘计算的发展，这类“端—边—云”协同架构也成为技术热点，本次实验在一个小型项目中让我提前体验了这种工程思想。

从个人发展的角度来看，这次课程设计让我更加明确了自身能力结构中的短板与方向。一方面，我具备一定的软件和算法基础，这在编写游戏逻辑和 AI 搜索算法时体现得较为明显；另一方面，我也清楚地认识到自己在硬件细节理解、通信协议健壮性设计等方面仍有提升空间。这种认识对我后续的学习规划具有积极意义，无论是继续深入嵌入式与系统方向，还是将其作为理解底层原理、反哺上层软件设计的基础，都具有长远价值。

总体而言，本次《嵌入式原理》大作业不仅是一项课程任务，更是一次将课堂知识、工程实践与个人兴趣相结合的完整训练过程。它让我真正体会到“系统”二字的含义，也让我对未来在计算机领域中的学习和发展方向有了更加清晰、务实的思考。这种从“能跑起来”到“想做得更好”的转变，是我认为本次实验带给我最重要的收获。

6. 源代码

见附件压缩包。本实践项目同时开源于:

https://github.com/Justin-Nickel-Wu/Embedded-Systems-Course-Project