Министерство образования Российской федерации  
Пензенский государственный университет  
Кафедра «Вычислительная техника»

**Пояснительная записка**

к курсовой работа

по курсу «Программирование»

на тему «Игра Шахматы»

Выполнил:

студент группы 24ВВВ1

Будников А.С.

Приняла:

к.т.н., доцент Генералова А.А.

**Содержание**

[1. Постановка задачи 5](#_Toc198838972)

[2. Выбор решения 6](#_Toc198838973)

[3. Описание разработки программы 8](#_Toc198838974)

[4. Отладка и тестирование 11](#_Toc198838975)

[5. Описание программы 12](#_Toc198838976)

[5.1. Описание модулей 12](#_Toc198838977)

[5.2. Разработка функции на языке Assembler 22](#_Toc198838978)

[6.Руководство пользователя 25](#_Toc198838979)

[Заключение 32](#_Toc198838980)

[Список используемых источников 33](#_Toc198838981)

[Приложение А 34](#_Toc198838982)

[Приложение A.1 34](#_Toc198838983)

[Приложение A.2 40](#_Toc198838984)

[Приложение A.3 43](#_Toc198838985)

[Приложение A.4 44](#_Toc198838986)

[Приложение A.5 49](#_Toc198838987)

[Приложение A.6 58](#_Toc198838988)

[Приложение A.7 63](#_Toc198838989)

[Приложение A.8 77](#_Toc198838990)

[Приложение A.9 78](#_Toc198838991)

[Приложение A.10 96](#_Toc198838992)

[Приложение A.11 96](#_Toc198838993)

[Приложение B 97](#_Toc198838994)

[Приложение B.1 97](#_Toc198838995)

[Приложение B.2 97](#_Toc198838996)

Введение

«Шахматы» – это одна из самых древних и популярных интеллектуальных игр, сочетающей в себе элементы науки и спорта. С развитием компьютерных технологий шахматы стали важно областью исследования в программировании за счет возможности изучения разработки алгоритмов анализа игровых стратегий и создания пользовательских интерфейсов.

В данной курсовой работе рассматривается разработка шахматной программы на языке программирования Golang, включая реализацию игровой логики и применения алгоритма поиска лучших ходов. Данная работа является актуальной и важной в контексте создания современных интеллектуальных компьютерных игр.

1. Постановка задачи

Необходимо разработать программу — игру «Шахматы» с возможностью игры против компьютера.  
Программа должна быть интуитивно понятной, с реализованными основными правилами шахматной игры, включая начальную расстановку фигур, правила движения, взятия фигур, шаха, мата и патовой ситуации.

Многомодульность программы**.** Необходимо поделить программу на модули с четким разделением логики выполнения. Такой подход значительно упростит отладку и тестирование программы, а также повысит расширяемость проекта.

Интерфейс и пользовательское взаимодействие. Программа должна работать в текстовом или графическом режиме. Необходимо определить тип пользовательского интерфейса и разработать его структуру. В случае графического режима – предусмотреть визуальные элементы управления с возможностью управления при помощи компьютерной мыши. Программа должна поддерживать ввод данных с клавиатуры (или мыши), анализировать действия игрока (выбор и перемещение фигур), отображать ходы и информировать о состоянии партии.

Устройство ввода информации **–** клавиатура и мышь. Необходимо реализовать обработку пользовательского ввода таким образом, чтобы все действия, производимые пользователем, были однозначно интерпретируемы.

Необходимо реализовать простой алгоритм игры компьютера, возможным вариантом может стать алгоритм оценки позиции и выбора лучшего хода.

2. Выбор решения

При запуске программы на экран пользователя выводится приветственный экран с заставкой и меню, состоящее из 3 пунктов:

1. Запуск игры. На экран выводится пользовательский интерфейс с возможностью начать игру.
2. Настройка. Пользователь изменяет необходимые параметры программы по средством ввода предложенных ему команд.
3. Выход. Программа завершается без сохранения данных.

Разработанная программа состоит из 11 модулей:

1. main.go
2. ui.go
3. custom\_button.go
4. evaluation.go
5. board.go
6. piece.go
7. generator.go
8. move.go
9. minimax.go
10. popcount.go
11. popcount.s

Модуль main.go – главный файл программы, служащий для инициализации приложения, вывода главного меню и создания «лог-файла»[[1]](#footnote-1).

Модуль ui.go нужен для отображения пользовательского интерфейса и обработки событий при взаимодействии пользователя с ним.

Модуль custom\_button.go нужен для инициализации кнопки, использующейся в качестве клетки на шахматной доске.

Модуль evaluation.go нужен для реализации функций оценки позиции.

Модуль board.go нужен для инициализации шахматной доски.

Модуль piece.go нужен для инициализации переменных шахматных фигур.

Модуль generator.go содержит описание функций, использующихся для генерации возможных ходов фигур.

Модуль move.go содержит описание функций, использующихся для перемещения фигур по шахматной доске.

Модуль minimax.go содержит описание функций выбора лучшего хода.

Модуль popcount.go содержит объявление функции, реализованной на языке Ассемблера.

Модуль popcount.s содержит описание функции, объявленной в файле popcount.go.

3.Описание разработки программы

В рамках разработки данной программы в качестве основного языка программирования был выбран Go (Golang). Этот язык представляет собой современное и востребованное средство разработки, отличающееся простым и лаконичным синтаксисом, высокой производительностью, а также возможностью взаимодействия с языком Ассемблера. Go ориентирован на эффективную работу с многопоточностью, что делает его особенно удобным для создания масштабируемых прикладных решений. Язык обеспечивает высокоуровневые абстракции при сохранении контроля над управлением памятью и производительностью, предоставляет встроенные средства параллельного выполнения, сборки мусора и строгую типизацию. Кроме того, наличие системы пакетов позволяет структурировать проект на модули, обеспечивая тем самым упорядоченность архитектуры и удобство сопровождения.

Для разработки были использованы среды Visual Studio Code и NeoVim, обладающие широкими возможностями для поддержки Go за счёт расширений и LSP-серверов. Оба инструмента обеспечивают функции статического анализа, отладки и интеллектуальных подсказок, что значительно упрощает и ускоряет процесс программирования.

После запуска программы пользователю отображается заставка и главное меню. Управление осуществляется путём ввода соответствующего номера пункта меню. Начать игру можно, выбрав пункт 1 – «Начать игру», переход к настройкам осуществляется через пункт 2, в котором предоставляется возможность изменения параметров шахматного движка и других опций программы. Завершение работы доступно через пункт 3 – «Выход».

Начальный этап разработки включал реализацию приветственного экрана и главного меню, функционирующего на основе бесконечного цикла и встроенной функции bufio.Reader.Read() для считывания пользовательского ввода из терминала. На основе данной логики позднее была реализована консоль ввода команд, доступная в процессе игры.

Ключевым этапом разработки шахматного движка стало создание двух основных структур: шахматных фигур и игровой доски. Для описания фигур был реализован отдельный модуль, содержащий константы для обозначения типов фигур и их цвета, а также структуру клетки доски с соответствующими полями. Игровая доска была реализована в виде двумерного массива обобщённого типа Board[8][8]Square. Дополнительно были разработаны функции для инициализации доски, получения и перемещения фигур, проверки состояния клетки, а также создания «глубокой копии»[[2]](#footnote-2) доски, необходимой для алгоритма оценки позиции.

Затем был разработан модуль evaluation, содержащий оценочные функции на основе стоимости фигур и оценки позиционного преимущества. В модуле реализована карта соответствия фигура-ценность, массив бонусных значений для центральных клеток и функция оценки безопасности короля. Одна из функций, реализованных в этом модуле, написана на языке Ассемблера в файле popcount.s и предназначена для подсчёта количества фигур заданного цвета.

Для корректной работы движка были реализованы алгоритмы генерации и валидации ходов, а также перемещения фигур. Для этого созданы файлы move.go и generator.go. В последнем определены ключевые функции генерации возможных ходов для каждой фигуры, оптимизированные за счёт использования универсальных функций для прямолинейных и диагональных перемещений. В move.go описаны следующие функции:

1. abs(x int) int – вспомогательная функция для вычисления абсолютного значения числа;
2. MakeMove(b \*board.Board, m Move) error – функция выполнения хода с учётом правил и проверки безопасности короля;
3. IsKingInCheck(b board.Board, color board.Color) bool – функция, определяющая, находится ли король под шахом.

Следующим этапом стала реализация алгоритмов поиска, сортировки и выбора оптимального хода. В качестве основного алгоритма был использован Minimax с альфа-бета-отсечением [], сочетающий простоту реализации с высокой эффективностью. Данный алгоритм был дополнен следующими компонентами: транспозиционной таблицей для хранения оценок, алгоритмом поиска покоя (для устранения «горизонтального эффекта»[[3]](#footnote-3)), функциями сортировки и эвристиками, учитывающими стратегическую важность центральных клеток.

Заключительным этапом стало создание графического интерфейса, обеспечивающего взаимодействие пользователя с программой. Для этого были реализованы файлы custom\_button.go и ui.go в соответствующем пакете ui. Первый отвечает за обработку событий мыши и выбор клеток на доске, второй — за построение и отрисовку графического интерфейса. В качестве библиотеки был выбран популярный фреймворк[[4]](#footnote-4) Fyne, обеспечивающий удобные средства для создания GUI[[5]](#footnote-5) в Go []. Реализованы функции запуска интерфейса, обработки команд, воспроизведения звука при перемещении фигуры и обновления отображения доски.

4.Отладка и тестирование

В качестве основных инструментов разработки использовались Visual Studio Code и NeoVim. Оба редактора обеспечивают необходимые средства для эффективной работы с языком Go, включая поддержку LSP (Language Server Protocol)[[6]](#footnote-6), статического анализа кода, автодополнения, навигации по проекту и встроенных терминалов. Visual Studio Code был использован как основная среда для структурированной разработки и отладки, а NeoVim — в качестве лёгкого и настраиваемого инструмента для быстрого редактирования кода и работы в терминале.

Отладка производилась с использованием расширений, поддерживающих пошаговое выполнение кода, установку точек останова, анализ значений переменных и состояния памяти во время выполнения. Это позволяло эффективно выявлять и устранять ошибки в логике работы шахматного движка, особенно на этапах взаимодействия с Ассемблером и реализации алгоритмов поиска.

Тестирование осуществлялось поэтапно, в процессе разработки каждого модуля, а также после завершения реализации основных функций программы. В результате тестирования были обнаружены и устранены многочисленные ошибки, связанные с обработкой игровых структур, системой оценки позиций и корректностью исполнения ассемблерных подпрограмм.

5. Описание программы

5.1. Описание модулей

1) main.go – основной модуль программы.

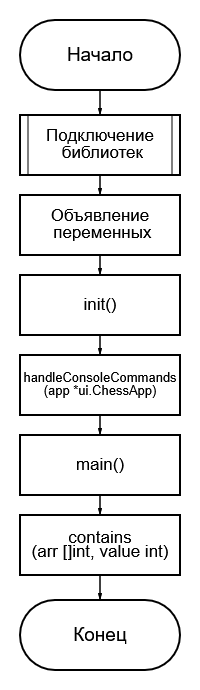
1.1) init() – функция, которая устанавливает максимальное количество операционных системных потоков, которые могут одновременно выполняться, проверяет наличие папки с лог-файлами и определяет название нового лог-файла.

1.2) handleConsoleCommands(app \*ui.ChessApp) – функция, в которой реализуются консольные команды.

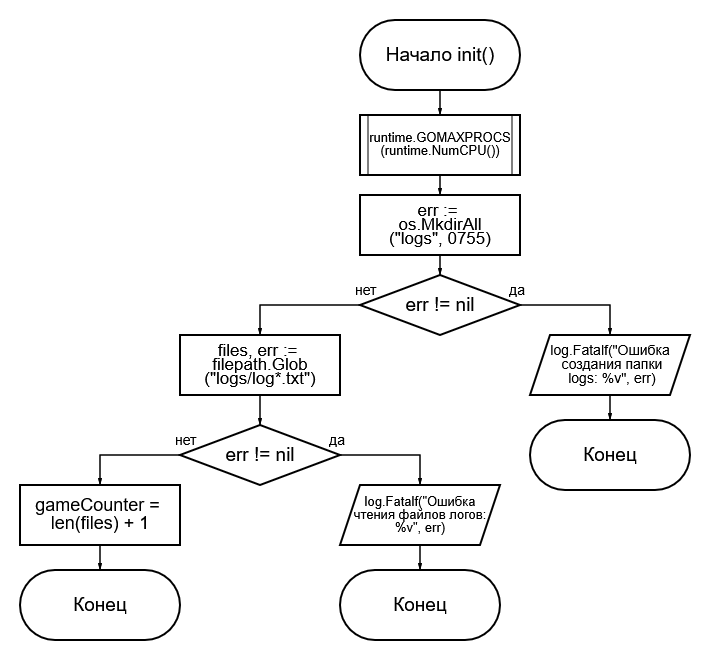
1.3) main() – основная функция программы, в которой реализовано главное меню программы, создание нового лог-файла, установка вывода программы в файл и запуск графического интерфейса.

1.4) contains(arr []int, value int) – вспомогательная функция, в которой реализован алгоритм определения факта нахождения элемента в массиве.

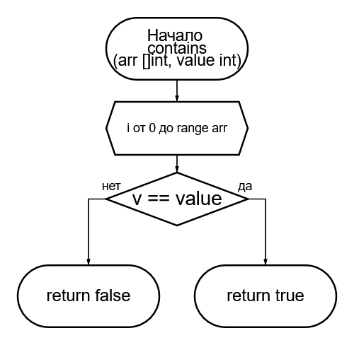
Блок схема файла main.go представлена на рисунках (5.1 – 5.5).



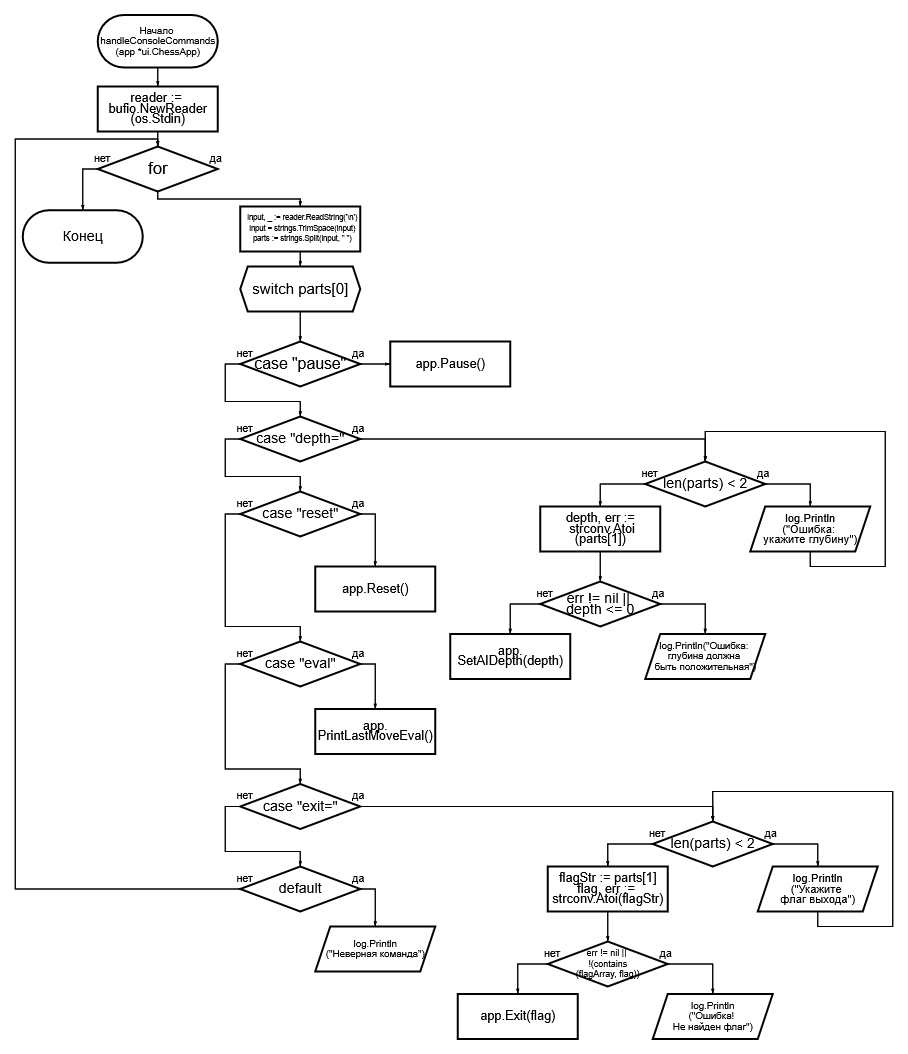
**Рисунок 5.1 – Общая блок-схема модуля**



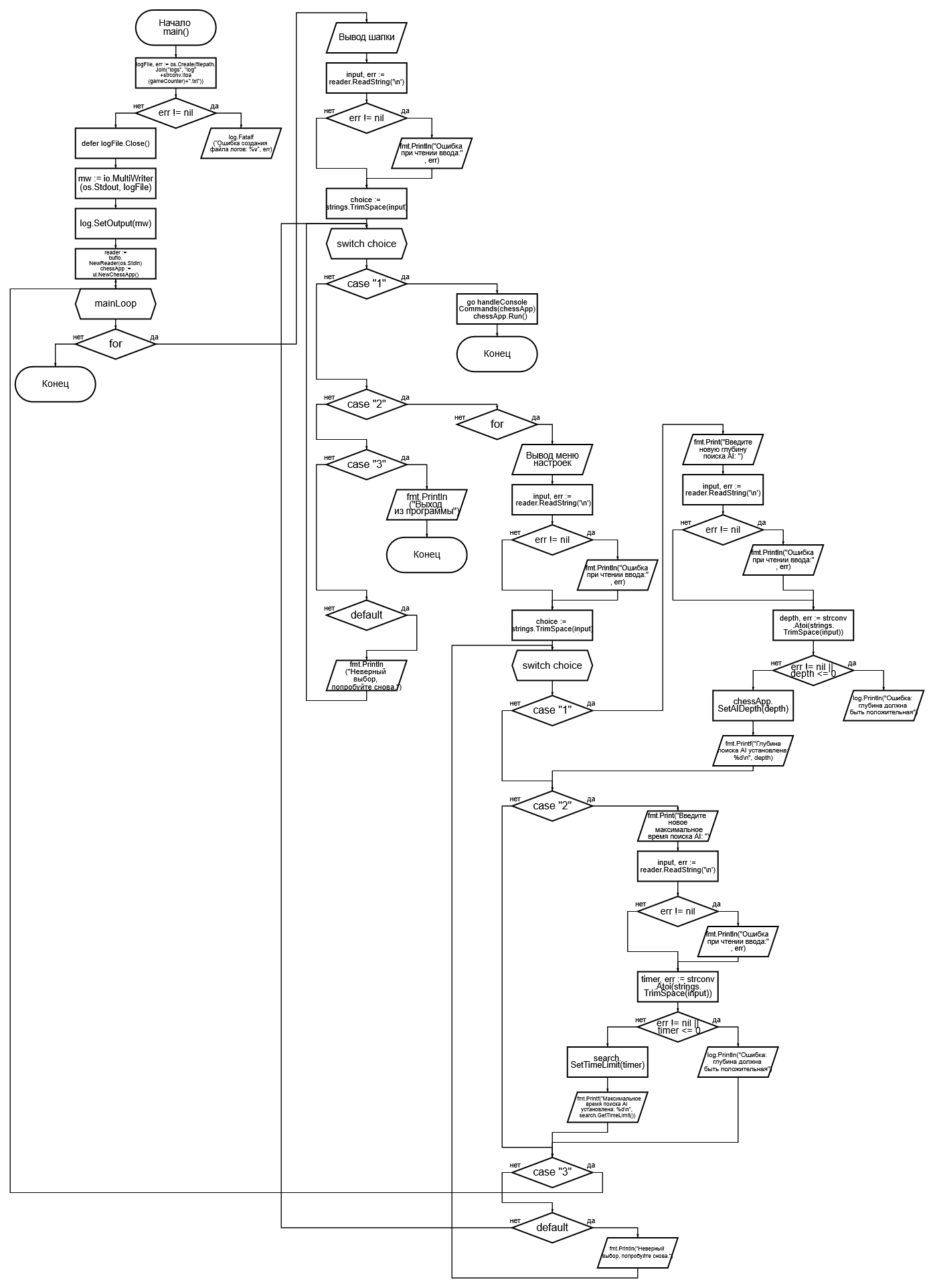
**Рисунок 5.2 – Блок-схема функции init()**



**Рисунок 5.3 – Блок-схема функции contains()**



**Рисунок 5.4 – Блок-схема функции handleConsoleCommands()**



**Рисунок 5.5 – Блок-схема функции main()**

2) ui.go – модуль, содержащий методы и структуры данных, относящиеся к пользовательскому интерфейсу программы.

2.1) NewChessApp() – функция, в которой инициализируется новое шахматное приложение.

2.2) Run() – функция, которая запускает шахматную программу с пользовательским интерфейсом и заданными параметрами.

2.3) logMessage(msg string) – функция, которая выполняет логирование сообщений в шахматном приложении с синхронизацией для GUI.

2.4) boardToString(b board.Board) – функция, конвертирующая шахматную доску в строковое представление.

2.5) playMoveSound() – функция, воспроизводящая звук хода фигуры.

2.6) handleCellClick(x, y int) – функция, которая обрабатывает события нажатия левой кнопки мыши.

2.7) makeAIMove() – функция, выполняющая ход компьютера.

2.8) createCell(x, y int) – функция, которая создает клетку на доске.

2.9) createFigure(piece board.Piece, color board.Color) – функция, которая создает шахматную фигуру.

2.10) handleRightClick() – функция, которая обрабатывает нажатия правой кнопки мыши.

2.11) isCheckmate(color board.Color) – функция, возвращающая значение true, если король находится под шахом, и false, если – не находится.

2.12) updateBoard() – функция, которая производит обновление шахматной доски.

2.13) createBoardGrid() – функция, объединяющая созданные в функции createCell(x, y int) в единую структуру.

2.14) PrintLastMoveEval() – функция, осуществляющая обработку консольной команды «eval». Возвращает оценку последнего выполненного на доске хода.

2.15) Pause() – функция, осуществляющая обработку консольной команды «pause». Приостанавливает и возобновляет игру.

2.16) SetAIDepth(depth int) – функция, устанавливающая значение глубины поиска для алгоритма Minimax. Задействуется при использовании консольной команды «depth= <число>» и в настройках игры.

2.17) Reset() – функция, осуществляющая сброс шахматной доски до начального состояния. Задействуется при использовании консольной команды «reset».

2.18) Exit(flag int) – функция, осуществляющая выход из программы. Задействуется при использовании консольной команды «exit= <флаг>» и в настройках игры.

2.19) GetAiDepth() – функция, возвращающая действующее значение глубины поиска для алгоритма Minimax.

3) piece.go – модуль, содержащий константные значения шахматных фигур и их цвета.

4) board.go – модуль используемый для инициализации шахматной доски.

4.1) NewBoard() – функция, которая создает новую шахматную доску и осуществляет расстановку на ней фигур

4.2) GetPiece(x, y int) – функция, возвращающая фигуру, находящуюся по заданным координатам, или ошибку в случае выхода за пределы шахматной доски.

4.3) SetPiece(x, y int, piece Piece, color Color) – функция, устанавливающая необходимую фигуру по заданным координатам, или ошибку в случае выхода за пределы шахматной доски.

4.4) IsEmpty(x, y int) – функция, возвращающая значение true или false в зависимости от факта нахождения любой фигуры по заданным координатам.

4.5) Copy() – функция, создающая глубокую копии шахматной доски.

5) evaluation.go – модуль, содержащий функции, используемые для оценки хода.

5.1) Evaluate(b board.Board) – функция, осуществляющая оценку хода в зависимости от заданных в коде параметров.

5.2) kingSafety(b board.Board, color board.Color) – функция, осуществляющая оценку безопасности короля.

6) generator.go – модуль, который содержит функции, используемые для генерации потенциально возможных ходов.

6.1) GenerateMoves(b board.Board, color board.Color) – функция, осуществляющая генерацию всех возможных ходов для указанного цвета.

6.2) generateCastlingMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует ходы для рокировки.

6.3) generatePawnMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует ходы для пешки.

6.4) generateKnightMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которые генерирует ходы для коня.

6.5) generateBishopMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует ходы для слона.

6.6) generateRookMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует ходы для ладьи.

6.7) generateQueenMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует ходы для ферзя.

6.8) generateKingMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует ходы для короля.

6.9) generateDiagonalMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует длинные ходы по диагонали.

6.10) generateStraightMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) – функция, которая генерирует длинные прямые ходы.

6.11) GenerateMovesForPiece(b board.Board, x, y int, color board.Color, piece board.Piece) – экспортируемая функция, которая генерирует ходы для конкретной фигуры.

7) minimax.go – модуль, содержащий функции, используемые для поиска оптимальных ходов компьютера.

7.1) LoadData() – функция, которая загружает данные из транспозиционной таблицы.

7.2) SaveData() – функция, которая сохраняет данные в транспозиционную таблицу.

7.3) Minimax(b board.Board, depth int, alpha int, beta int, maximizingPlayer bool, deadline time.Time, stats \*SearchStats) – функция, осуществляющая поиск оптимальных ходов компьютера.

7.4) QuiescenceSearch(b board.Board, alpha int, beta int, maximizingPlayer bool, maxDepth int, deadline time.Time, stats \*SearchStats) – функция, осуществляющая обработку и устранения «горизонтального эффекта».

7.5) FindBestMove(b board.Board, depth int, boardColor board.Color) – функция, возвращающая один из лучших ходов, найденных алгоритмом Mininmax.

7.6) moveHeuristic(m move.Move) – функция, добавляющая приоритет центральным ходам в дебюте.

7.7) max(a, b int) – вспомогательная функция, определяющая какое из двух заданных чисел больше.

7.8) min(a, b int) - вспомогательная функция, определяющая какое из двух заданных чисел меньше.

7.9) GetTimeLimit() – функция, возвращающая значение максимального времени поиска ходов. Используется в настройках игры.

7.10) SetTimeLimit(k int) – функция, устанавливающая значение максимального времени поиска ходов. Используется в настройках игры.

7.11) sortMoves(moves []move.Move, b board.Board, depth int) – функция, осуществляющая сортировку найденных ходов.

7.12) boardToString(b board.Board) - функция, конвертирующая шахматную доску в строковое представление.

7.13) updateKillerAndHistory(b board.Board, m move.Move, depth int, color board.Color) – функция, заносящая оптимальные ходы в массив для загрузки в транспозиционную таблицу.

8) move.go – модуль, содержащая методы для выполнения хода.

8.1) MakeMove(b \*board.Board, m Move) – функция, выполняющая ход на шахматной доске.

8.2) IsKingInCheck(b board.Board, color board.Color) – функция, которая проверяет, находится ли король под шахом.

8.3) abs(x int) – вспомогательная функция для вычисления модуля числа.

9) custom\_button.go – модуль, содержащий функции создания и обработки кнопки, используемой в качестве клетки на шахматной доске.

9.1) NewCustomButton(label string, onLeftClick, onRightClick func()) – функция, которая инициализирует новую кнопку.

9.2) TappedSecondary(\*fyne.PointEvent) – функция, которая переопределяет событие для вызова при нажатии пользователем правой кнопки мыши.

5.2. Разработка функции на языке Assembler

В качестве реализуемой функции была выбрана функция подсчета количества активных фигур на шахматной доске.

Язык программирования Golang позволяет встраивать в программу модули, написанные на языке Ассемблера. Для этого необходимо создать два новых файла. Первый – ассемблерный файл с расширением «.s», в нем будет изложен непосредственно код на специфическом диалекте языка Ассемблера, принятом в Go; в нашем случае это «popcount.s». Второй – файл, в котором будут объявлены функции, написанные в первом файле; в нашем случае это «popcount.go».

Для реализации функции были использованы следующие ассемблерные инструкции:

* инструкция TEXT определяет новую функцию.
* инструкция NOSPIT указывает, что функция не нуждается в разделении стека.
* инструкция $0-16 резервирует в стеке 16 байт.
* инструкция MOVQ перемещает 64-разрядный аргумент из фрейма стека в регистр AX.
* инструкция POPCNTQ использует команду POPCNT, доступную в современных процессорах, для подсчета количества установленных битов (1) в регистре.
* инструкция RET возвращает данные из функции, используя в качестве возвращаемого значения значение, сохраненное в месте возврата.

Код работает по следующему принципу: происходит определение PopCount, используя команды TEXT, NOSPIT и $0-16, аргумент, передаваемый в функцию, загружается из стека в регистр AX с помощью команды MOVQ, подсчитывается количество установленных битов (1) в регистре AX и результат сохраняется обратно в AX, используя команду POPCNTQ. Затем результат сохраняется в память, а выполнение функции завершается.

Ассемблерная вставка выглядит следующим образом:  
// popcount.s

#include "textflag.h"

// func PopCount(x uint64) int

TEXT ·PopCount(SB), NOSPLIT, $0-16

MOVQ x+0(FP), AX // Загружаем аргумент x (uint64) в регистр AX

POPCNTQ AX, AX // Используем инструкцию POPCNT для подсчета битов

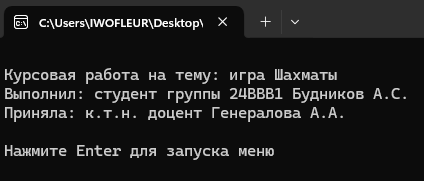
MOVQ AX, ret+8(FP) // Сохраняем результат в возвращаемое значение

RET

6.Руководство пользователя

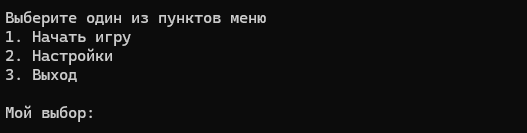
Программа Chess.exe предназначена для игры в шахматы с компьютером. Программа имеет интуитивно понятный интерфейс и поддерживает различные уровни сложности, подходящие как для новичков, так и для опытных игроков. На рисунке 6.1 показана заставка, встречающаяся пользователя при запуске программы, а на рисунке 6.2 – главное меню программы.

**6.1. Информационная записка (заставка)**

****

**Рисунок 6.1 – Заставка**

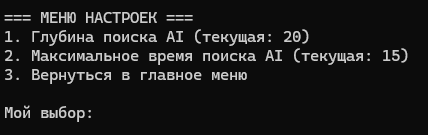
**6.2. Главное меню**

****

**Рисунок 6.2 – Главное меню**

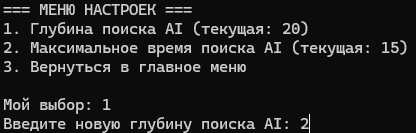
**6.3. Настройки**

Для выполнения настройки игры пользователю необходимо выбрать пункт главного меню «Настройки» (рис. 6.3). Откроется меню выбора изменяемых параметров.

****

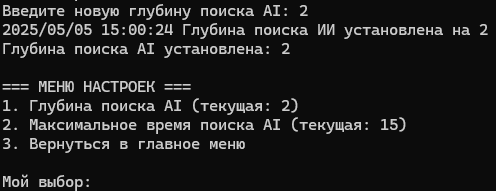
**Рисунок 6.3 – Настройки**

Далее пользователю необходимо выбрать любой пункт настроек и нажать Enter (рис. 6.4). Откроется поле, предлагающее ввести новую величину для выбранного параметра. Сюда пользователь должен ввести подходящее значение и нажать Enter.



**Рисунок 6.4 – Поле ввода необходимого значения**

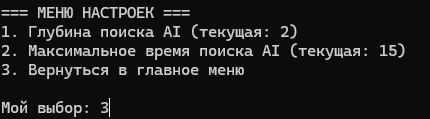
После этого в консоль выводится сообщение, подтверждающее изменения или указывающее на ошибку, а в меню настроек отображается новое значение (рис. 6.5).



**Рисунок 6.5 – Измененное значение одного из параметров**

**6.4. Начало игры**

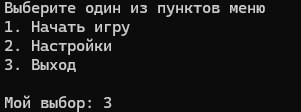
Для того, чтобы начать игру пользователю необходимо выбрать первый пункт главного меню – «Начать игру». Если пользователь уже находится в меню настроек, ему нужно выбрать третий пункт меню настроек – «Вернуться в главное меню» (рис. 6.6), а уже затем проследовать ранее описанным действиям.

****

**Рисунок 6.6 – Выход из меню настроек**

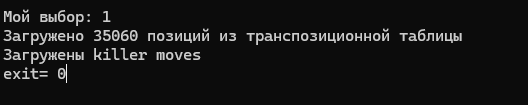
**6.5. Выход из программы**

Выход из программы осуществляется посредством выбора третьего пункта главное меню – «Выход» (рис. 6.7).



**Рисунок 6.7 – Выход из программы из главного меню**

Если пользователь уже находится в процессе шахматной партии, выход он может осуществить посредством ввода в консоль команды exit= <flag>, где flag – это значение 0, если пользователь не хочет сохранять данные о ходах, собранные программой во время игры, и 1, если эти данные должны быть сохранены (рис. 6.8).



**Рисунок 6.8 – Выход из программы из партии**

**6.6. Игровой процесс**

Шахматные фигуры управляются с помощью компьютерной мыши. Игрок начинает партию за сторону «белых», получая право первого хода. Чтобы выбрать фигуру, необходимо левой кнопкой мыши кликнуть по клетке, на которой она расположена. При этом программа выделит возможные варианты перемещения выбранной фигуры (рис. 6.10). Отмена выбора осуществляется нажатием правой кнопки мыши в пределах игрового поля.

Изображение выглядит как снимок экрана, прямоугольный, Игры, настольная игра

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.

**Рисунок 6.10 – Пользовательский интерфейс**

Об окончании партии сигнализирует надпись в нижней части пользовательского интерфейса, после чего пользователь может осуществить выход закрытием программы или с помощью консоли.

**6.7. Использование консоли**

Внутриигровая консоль запускается после начала игры. Для работы с ней пользователь необходимо открыть окно командной оболочки, в которой ранее было выведено главное меню, и, напечатав нужную команду, нажать на клавиатуре Enter. Для использования программа предоставляет шесть команд:

* + - 1. help – выводит список доступных для использования команд. Ниже представлена реализация этой команды:

        case "help":

            log.Println("pause, help, depth= <value>, reset, eval, exit= <flag>") //вывод доступных команд

* + - 1. pause – приостанавливает и возобновляет шахматную партию. Реализация данной команды выглядит следующим образом:

case "pause":

app.Pause()

* + - 1. depth= <value> - устанавливает глубину поиска для алгоритма поиска ходов. Команда принимает только положительные целочисленные значения value. Реализация представлена ниже:

case "depth=":

if len(parts) < 2 { //проверка на наличие введенной глубины поиска

log.Println("Ошибка: укажите глубину") //вывод ошибки

} else {

depth, err := strconv.Atoi(parts[1]) //преобразование строкового значения в число

if err != nil || depth <= 0 {

log.Println("Ошибка: глубина должна быть положительная") //вывод ошибки

} else {

app.SetAIDepth(depth) //установка введенной глубины поиска

}

            }

* + - 1. eval – производит оценку позиции после последнего выполненного на доске хода. Реализация команды представлена на листинге:

case "eval":

app.PrintLastMoveEval() //вывод оценки

* + - 1. reset – производит сброс шахматной доски до начального состояния. Вот пример кода на Go, который показывает, как работает эта команда:

case "reset":

app.Reset() //сброс состояния доски

* + - 1. exit= <flag> - осуществляет выход из программы. Команда принимает булево значение flag, которое показывает необходимость сохранения собранных программой данных о найденных ходах. Ниже приведен листинг, демонстрирующий реализацию команды:

case "exit=":

if len(parts) < 2 {

log.Println("Укажите флаг выхода") //вывод ошибки ввода

} else {

flagStr := parts[1] //определение флага выхода

flag, err := strconv.Atoi(flagStr) //приведение флага в числовое представление

if err != nil || !(contains(flagArray, flag)) {

log.Println("Ошибка! Не найден флаг") //вывод ошибки ввода

} else {

app.Exit(flag) //выход из программы

}

}

Заключение

При выполнении данной курсовой работы были получены навыки разработки многомодульных программ. Были освоены приемы создания пользовательского интерфейса, изучены функции работы с консолью, способы обработки событий с клавиатуры. Получены базовые навыки программирования на языках программирования Golang и Assembler. Изучены основные возможности редакторов кода Visual Studio Code и NeoVim. Получены навыки отладки и тестирования программ.

В рамках выполнения курсовой работы была написана игра «Шахматы». Программа предоставляет достаточный список возможностей, включая игру с компьютером.

В дальнейшем программу можно улучшить, обновив интерфейс и внедрив его настройку, добавив поддержку UCI-протокола и усовершенствовав искусственный интеллект.

Список используемых источников

1. Корнилов Е.Н. Программирование шахмат и других логических игр. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005 – 273 с.
2. Михалис Цукалос. Golang для профи: работа с сетью, многопоточность, структуры данных и машинное обучение с Go. — СПб.: Питер, 2020. — 720 с.
3. Claude E. Shannon, David Levy «Computer Chess Compendium» - London, U.K.1988. - 440 p.
4. <https://talkchess.com>
5. <https://www.chessprogramming.org>
6. <https://habr.com/ru/articles/682122/>
7. <https://chess.fandom.com>

Приложение А

Листинги программы

Приложение A.1

Файл main.go

package main

import (

    "bufio"

    "chess-engine/search"

    "chess-engine/ui"

    "fmt"

    "io"

    "log"

    "os"

    "path/filepath"

    "runtime"

    "strconv"

    "strings"

)

var gameCounter int

var flagArray []int = []int{0, 1}

func init() {

    runtime.GOMAXPROCS(runtime.NumCPU())

    err := os.MkdirAll("logs", 0755)

    if err != nil {

        log.Fatalf("Ошибка создания папки logs: %v", err)

    }

    files, err := filepath.Glob("logs/log\*.txt")

    if err != nil {

        log.Fatalf("Ошибка чтения файлов логов: %v", err)

    }

    gameCounter = len(files) + 1

}

func handleConsoleCommands(app \*ui.ChessApp) {

    reader := bufio.NewReader(os.Stdin)

    for {

        input, \_ := reader.ReadString('\n')

        input = strings.TrimSpace(input)

        parts := strings.Split(input, " ")

        switch parts[0] {

        case "pause":

            app.Pause()

        case "depth=":

            if len(parts) < 2 {

                log.Println("Ошибка: укажите глубину")

            } else {

                depth, err := strconv.Atoi(parts[1])

                if err != nil || depth <= 0 {

                    log.Println("Ошибка: глубина должна быть положительная")

                } else {

                    app.SetAIDepth(depth)

                }

            }

        case "reset":

            app.Reset()

        case "eval":

            app.PrintLastMoveEval()

        case "help":

            log.Println("pause, help, depth= <value>, reset, eval, exit= <flag>")

        case "exit=":

            if len(parts) < 2 {

                log.Println("Укажите флаг выхода")

            } else {

                flagStr := parts[1]

                flag, err := strconv.Atoi(flagStr)

                if err != nil || !(contains(flagArray, flag)) {

                    log.Println("Ошибка! Не найден флаг")

                } else {

                    app.Exit(flag)

                }

            }

        default:

            log.Println("Неверная команда")

        }

    }

}

func main() {

    logFile, err := os.Create(filepath.Join("logs", "log"+strconv.Itoa(gameCounter)+".txt"))

    if err != nil {

        log.Fatalf("Ошибка создания файла логов: %v", err)

    }

    defer logFile.Close()

    mw := io.MultiWriter(os.Stdout, logFile)

    log.SetOutput(mw)

    reader := bufio.NewReader(os.Stdin)

    chessApp := ui.NewChessApp()

    fmt.Println("\nКурсовая работа на тему: игра Шахматы\nВыполнил: студент группы 24ВВВ1 Будников А.С.\nПриняла: к.т.н. доцент Генералова А.А.\n\nНажмите Enter для запуска меню")

    \_, \_ = reader.ReadString('\n')

mainLoop:

    for {

        fmt.Println("Выберите один из пунктов меню\n1. Начать игру\n2. Настройки\n3. Выход")

        fmt.Print("\nМой выбор: ")

        input, err := reader.ReadString('\n')

        if err != nil {

            fmt.Println("Ошибка при чтении ввода:", err)

            continue

        }

        choice := strings.TrimSpace(input)

        switch choice {

        case "1":

            go handleConsoleCommands(chessApp)

            chessApp.Run()

            return

        case "2":

            for {

                fmt.Println("\n=== МЕНЮ НАСТРОЕК ===")

                fmt.Printf("1. Глубина поиска AI (текущая: %d)\n", chessApp.GetAiDepth())

                fmt.Printf("2. Максимальное время поиска AI (текущая: %d)\n", search.GetTimeLimit())

                fmt.Println("3. Вернуться в главное меню")

                fmt.Print("\nМой выбор: ")

                input, err := reader.ReadString('\n')

                if err != nil {

                    fmt.Println("Ошибка при чтении ввода:", err)

                    continue

                }

                choice := strings.TrimSpace(input)

                switch choice {

                case "1":

                    fmt.Print("Введите новую глубину поиска AI: ")

                    input, err := reader.ReadString('\n')

                    if err != nil {

                        fmt.Println("Ошибка при чтении ввода:", err)

                        continue

                    }

                    depth, err := strconv.Atoi(strings.TrimSpace(input))

                    if err != nil || depth <= 0 {

                        fmt.Println("Ошибка: глубина должна быть положительным числом")

                        continue

                    } else {

                        chessApp.SetAIDepth(depth)

                        fmt.Printf("Глубина поиска AI установлена: %d\n", depth)

                        continue

                    }

                case "2":

                    fmt.Print("Введите новое максимальное время поиска AI: ")

                    input, err := reader.ReadString('\n')

                    if err != nil {

                        fmt.Println("Ошибка при чтении ввода:", err)

                        continue

                    }

                    timer, err := strconv.Atoi(strings.TrimSpace(input))

                    if err != nil || timer <= 0 {

                        fmt.Println("Ошибка: время должно быть положительным числом")

                        continue

                    } else {

                        search.SetTimeLimit(timer)

                        fmt.Printf("Максимальное время поиска AI установлена: %d\n", search.GetTimeLimit())

                        continue

                    }

                case "3":

                    continue mainLoop

                default:

                    fmt.Println("Неверный выбор, попробуйте снова.")

                }

            }

        case "3":

            fmt.Println("Выход из программы")

            return

        default:

            fmt.Println("Неверный выбор, попробуйте снова.")

            continue

        }

    }

}

func contains(arr []int, value int) bool {

    for \_, v := range arr {

        if v == value {

            return true

        }

    }

    return false

}

Приложение A.2

Файл board.go

package board

import (

    "errors"

)

type Board [8][8]Square

func NewBoard() Board {

    var b Board

    //Расстановка белых фигур

    b[0] = [8]Square{

        {Rook, White}, {Knight, White}, {Bishop, White}, {Queen, White},

        {King, White}, {Bishop, White}, {Knight, White}, {Rook, White},

    }

    for i := 0; i < 8; i++ {

        b[1][i] = Square{Pawn, White}

    }

    //Расстановка черных фигур

    b[7] = [8]Square{

        {Rook, Black}, {Knight, Black}, {Bishop, Black}, {Queen, Black},

        {King, Black}, {Bishop, Black}, {Knight, Black}, {Rook, Black},

    }

    for i := 0; i < 8; i++ {

        b[6][i] = Square{Pawn, Black}

    }

    //Остальные клетки пустые

    for i := 2; i < 6; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            b[i][j] = Square{Empty, White}

        }

    }

    return b

}

func (b Board) GetPiece(x, y int) (Piece, Color, error) {

    if x < 0 || x >= 8 || y < 0 || y >= 8 {

        return Empty, White, errors.New("координаты за пределами доски")

    }

    return b[x][y].Piece, b[x][y].Color, nil

}

func (b \*Board) SetPiece(x, y int, piece Piece, color Color) error {

    if x < 0 || x >= 8 || y < 0 || y >= 8 {

        return errors.New("координаты за пределами доски")

    }

    b[x][y] = Square{piece, color}

    return nil

}

func (b Board) IsEmpty(x, y int) bool {

    if x < 0 || x >= 8 || y < 0 || y >= 8 {

        return false

    }

    return b[x][y].Piece == Empty

}

// Cоздание глубокой копии доски

func (b Board) Copy() Board {

    var newBoard Board

    for i := 0; i < 8; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            newBoard[i][j] = b[i][j]

        }

    }

    return newBoard

}

Приложение A.3

Файл piece.go

package board

type Piece int

const (

    Empty Piece = iota

    Pawn

    Knight

    Bishop

    Rook

    Queen

    King

)

type Color int

const (

    White Color = iota

    Black

)

type Square struct {

    Piece Piece

    Color Color

}

Приложение A.4

Файл evaluation.go

package evaluation

import (

    "chess-engine/board"

    "chess-engine/move"

    "chess-engine/util"

    "math"

)

var PieceValues = map[board.Piece]int{

    board.Pawn:   100,

    board.Knight: 320,

    board.Bishop: 330,

    board.Rook:   500,

    board.Queen:  900,

    board.King:   20000,

}

// Бонусы за контроль центра для пешек и легких фигур

var centerBonus = [8][8]int{

    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},

    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},

    {0, 0, 5, 10, 10, 5, 0, 0},

    {0, 5, 10, 20, 20, 10, 5, 0},

    {0, 5, 10, 20, 20, 10, 5, 0},

    {0, 0, 5, 10, 10, 5, 0, 0},

    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},

    {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},

}

func Evaluate(b board.Board) int {

    score := 0

    //Битовые маски для подсчета фигур

    var whitePieces, blackPieces uint64

    for i := 0; i < 8; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            piece, color, \_ := b.GetPiece(i, j)

            if piece == board.Empty {

                continue

            }

            //Индекс клетки в 64-битной маске

            bitPos := uint(i\*8 + j)

            if color == board.White {

                whitePieces |= (1 << bitPos)

                score += PieceValues[piece]

                //Бонус за контроль центра для пешек и легких фигур

                if piece == board.Pawn || piece == board.Knight || piece == board.Bishop {

                    score += centerBonus[i][j]

                }

            } else {

                blackPieces |= (1 << bitPos)

                score -= PieceValues[piece]

                //Штраф за контроль центра для черных (отзеркаливаем доску)

                if piece == board.Pawn || piece == board.Knight || piece == board.Bishop {

                    score -= centerBonus[7-i][j]

                }

            }

        }

    }

    //Подсчет активных фигур

    whiteCount := util.PopCount(whitePieces)

    blackCount := util.PopCount(blackPieces)

    //Бонус за мобильность на основе количества фигур

    score += (whiteCount - blackCount) \* 10

    //Штраф за короля под шахом

    if move.IsKingInCheck(b, board.White) {

        score -= 50

    }

    if move.IsKingInCheck(b, board.Black) {

        score += 50

    }

    //Бонус за безопасность короля

    score += kingSafety(b, board.White)

    score -= kingSafety(b, board.Black)

    return score

}

// Оценка безопасности короля

func kingSafety(b board.Board, color board.Color) int {

    safetyScore := 0

    //Находим позицию короля

    var kingX, kingY int

    for x := 0; x < 8; x++ {

        for y := 0; y < 8; y++ {

            piece, pieceColor, \_ := b.GetPiece(x, y)

            if piece == board.King && pieceColor == color {

                kingX, kingY = x, y

                break

            }

        }

    }

    //Проверяем близость фигур противника

    opponentColor := board.Black

    if color == board.Black {

        opponentColor = board.White

    }

    for x := 0; x < 8; x++ {

        for y := 0; y < 8; y++ {

            piece, pieceColor, \_ := b.GetPiece(x, y)

            if piece != board.Empty && pieceColor == opponentColor {

                //Вычисляем расстояние до короля, учитывая только близкие фигуры

                distance := int(math.Sqrt(float64((x-kingX)\*(x-kingX) + (y-kingY)\*(y-kingY))))

                if distance > 0 && distance <= 3 {

                    switch piece {

                    case board.Pawn:

                        safetyScore -= 5 / distance

                    case board.Knight:

                        safetyScore -= 10 / distance

                    case board.Bishop:

                        safetyScore -= 15 / distance

                    case board.Rook:

                        safetyScore -= 20 / distance

                    case board.Queen:

                        safetyScore -= 30 / distance

                    }

                }

            }

        }

    }

    //Бонус за защиту короля пешками

    for dx := -1; dx <= 1; dx++ {

        for dy := -1; dy <= 1; dy++ {

            nx, ny := kingX+dx, kingY+dy

            if nx >= 0 && nx < 8 && ny >= 0 && ny < 8 {

                piece, pieceColor, \_ := b.GetPiece(nx, ny)

                if piece == board.Pawn && pieceColor == color {

                    safetyScore += 10

                }

            }

        }

    }

    return safetyScore

}

Приложение A.5

Файл generator.go

package move

import "chess-engine/board"

//Генератор всех возможных ходов для указанного цвета

func GenerateMoves(b board.Board, color board.Color) []Move {

    var moves []Move

    for i := 0; i < 8; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            piece, pieceColor, \_ := b.GetPiece(i, j)

            if pieceColor != color || piece == board.Empty {

                continue

            }

            switch piece {

            case board.Pawn:

                moves = append(moves, generatePawnMoves(b, i, j, color)...)

            case board.Knight:

                moves = append(moves, generateKnightMoves(b, i, j, color)...)

            case board.Bishop:

                moves = append(moves, generateBishopMoves(b, i, j, color)...)

            case board.Rook:

                moves = append(moves, generateRookMoves(b, i, j, color)...)

            case board.Queen:

                moves = append(moves, generateQueenMoves(b, i, j, color)...)

            case board.King:

                moves = append(moves, generateKingMoves(b, i, j, color)...)

                moves = append(moves, generateCastlingMoves(b, i, j, color)...)

            }

        }

    }

    //Фильтр ходов, чтобы оставить только те, которые не подвергают короля шаху

    var validMoves []Move

    for \_, m := range moves {

        newBoard := b

        if err := MakeMove(&newBoard, m); err == nil {

            if !IsKingInCheck(newBoard, color) {

                validMoves = append(validMoves, m)

            }

        }

    }

    return validMoves

}

//Генерирует ходы для рокировки

func generateCastlingMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    var moves []Move

    //Проверяем, может ли король рокироваться

    if x == 0 && y == 4 && color == board.White || x == 7 && y == 4 && color == board.Black {

        //Короткая рокировка

        if b.IsEmpty(x, y+1) && b.IsEmpty(x, y+2) {

            rookPiece, rookColor, \_ := b.GetPiece(x, y+3)

            if rookPiece == board.Rook && rookColor == color {

                moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: x, ToY: y + 2})

            }

        }

        //Длинная рокировка

        if b.IsEmpty(x, y-1) && b.IsEmpty(x, y-2) && b.IsEmpty(x, y-3) {

            rookPiece, rookColor, \_ := b.GetPiece(x, y-4)

            if rookPiece == board.Rook && rookColor == color {

                moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: x, ToY: y - 2})

            }

        }

    }

    return moves

}

//Генерирует ходы для пешки

func generatePawnMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    var moves []Move

    direction := 1 //Направление движения пешки (1 для белых, -1 для черных)

    if color == board.Black {

        direction = -1

    }

    //Ход на одну клетку вперед

    if b.IsEmpty(x+direction, y) {

        moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: x + direction, ToY: y})

    }

    //Ход на две клетки вперед (только из начальной позиции)

    if (color == board.White && x == 1) || (color == board.Black && x == 6) {

        if b.IsEmpty(x+direction, y) && b.IsEmpty(x+2\*direction, y) {

            moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: x + 2\*direction, ToY: y})

        }

    }

    //Взятие фигур по диагонали

    for \_, dy := range []int{-1, 1} {

        if !b.IsEmpty(x+direction, y+dy) {

            \_, targetColor, \_ := b.GetPiece(x+direction, y+dy)

            if targetColor != color {

                moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: x + direction, ToY: y + dy})

            }

        }

    }

    return moves

}

//Генерирует ходы для коня

func generateKnightMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    var moves []Move

    //Все возможные ходы коня

    knightMoves := [][]int{

        {x + 2, y + 1}, {x + 2, y - 1},

        {x - 2, y + 1}, {x - 2, y - 1},

        {x + 1, y + 2}, {x + 1, y - 2},

        {x - 1, y + 2}, {x - 1, y - 2},

    }

    for \_, move := range knightMoves {

        nx, ny := move[0], move[1]

        if nx >= 0 && nx < 8 && ny >= 0 && ny < 8 {

            if b.IsEmpty(nx, ny) {

                moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

            } else {

                \_, targetColor, \_ := b.GetPiece(nx, ny)

                if targetColor != color {

                    moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

                }

            }

        }

    }

    return moves

}

//Генерирует ходы для слона

func generateBishopMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    return generateDiagonalMoves(b, x, y, color)

}

//Генерирует ходы для ладьи

func generateRookMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    return generateStraightMoves(b, x, y, color)

}

//Генерирует ходы для ферзя

func generateQueenMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    // Ферзь сочетает возможности ладьи и слона

    moves := generateStraightMoves(b, x, y, color)

    moves = append(moves, generateDiagonalMoves(b, x, y, color)...)

    return moves

}

//Генерирует ходы для короля

func generateKingMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    var moves []Move

    //Все возможные ходы короля

    kingMoves := [][]int{

        {x + 1, y}, {x - 1, y},

        {x, y + 1}, {x, y - 1},

        {x + 1, y + 1}, {x + 1, y - 1},

        {x - 1, y + 1}, {x - 1, y - 1},

    }

    for \_, move := range kingMoves {

        nx, ny := move[0], move[1]

        if nx >= 0 && nx < 8 && ny >= 0 && ny < 8 {

            if b.IsEmpty(nx, ny) {

                moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

            } else {

                \_, targetColor, \_ := b.GetPiece(nx, ny)

                if targetColor != color {

                    moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

                }

            }

        }

    }

    return moves

}

//Генерирует ходы по диагонали (для слона и ферзя)

func generateDiagonalMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    var moves []Move

    directions := [][]int{

        {1, 1}, {1, -1}, {-1, 1}, {-1, -1},

    }

    for \_, dir := range directions {

        dx, dy := dir[0], dir[1]

        nx, ny := x+dx, y+dy

        for nx >= 0 && nx < 8 && ny >= 0 && ny < 8 {

            if b.IsEmpty(nx, ny) {

                moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

            } else {

                \_, targetColor, \_ := b.GetPiece(nx, ny)

                if targetColor != color {

                    moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

                }

                break //Прерываем цикл, если нашли фигуру

            }

            nx += dx

            ny += dy

        }

    }

    return moves

}

//Генерирует ходы по прямой (для ладьи и ферзя)

func generateStraightMoves(b board.Board, x, y int, color board.Color) []Move {

    var moves []Move

    directions := [][]int{

        {1, 0}, {-1, 0}, {0, 1}, {0, -1},

    }

    for \_, dir := range directions {

        dx, dy := dir[0], dir[1]

        nx, ny := x+dx, y+dy

        for nx >= 0 && nx < 8 && ny >= 0 && ny < 8 {

            if b.IsEmpty(nx, ny) {

                moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

            } else {

                \_, targetColor, \_ := b.GetPiece(nx, ny)

                if targetColor != color {

                    moves = append(moves, Move{FromX: x, FromY: y, ToX: nx, ToY: ny})

                }

                break //Прерываем цикл, если нашли фигуру

            }

            nx += dx

            ny += dy

        }

    }

    return moves

}

//Генерирует ходы для конкретной фигуры (экспортируемая функция)

func GenerateMovesForPiece(b board.Board, x, y int, color board.Color, piece board.Piece) []Move {

    switch piece {

    case board.Pawn:

        return generatePawnMoves(b, x, y, color)

    case board.Knight:

        return generateKnightMoves(b, x, y, color)

    case board.Bishop:

        return generateBishopMoves(b, x, y, color)

    case board.Rook:

        return generateRookMoves(b, x, y, color)

    case board.Queen:

        return generateQueenMoves(b, x, y, color)

    case board.King:

        return generateKingMoves(b, x, y, color)

    }

    return nil

}

Приложение A.6

Файл move.go

package move

import (

    "chess-engine/board"

    "errors"

)

type Move struct {

    FromX, FromY int

    ToX, ToY     int

    PromoteTo    board.Piece //Фигура, в которую превращается пешка (0 если нет превращения)

}

// Выполняет ход на доске

func MakeMove(b \*board.Board, m Move) error {

    if m.FromX < 0 || m.FromX >= 8 || m.FromY < 0 || m.FromY >= 8 ||

        m.ToX < 0 || m.ToX >= 8 || m.ToY < 0 || m.ToY >= 8 {

        return errors.New("некорректные координаты хода")

    }

    piece, color, \_ := b.GetPiece(m.FromX, m.FromY)

    if piece == board.Empty {

        return errors.New("на начальной клетке нет фигуры")

    }

    //Создаем копию доски и проверяем, не приводит ли ход к шаху

    newBoard := \*b

    newBoard.SetPiece(m.ToX, m.ToY, piece, color)

    newBoard.SetPiece(m.FromX, m.FromY, board.Empty, color)

    //Превращение пешки в ферзя

    if piece == board.Pawn {

        if color == board.White && m.ToX == 7 { // Белая пешка на 8-й горизонтали

            if m.PromoteTo != 0 {

                newBoard.SetPiece(m.ToX, m.ToY, m.PromoteTo, color)

            } else {

                newBoard.SetPiece(m.ToX, m.ToY, board.Queen, color) // По умолчанию ферзь

            }

        } else if color == board.Black && m.ToX == 0 { // Чёрная пешка на 1-й горизонтали

            if m.PromoteTo != 0 {

                newBoard.SetPiece(m.ToX, m.ToY, m.PromoteTo, color)

            } else {

                newBoard.SetPiece(m.ToX, m.ToY, board.Queen, color) // По умолчанию ферзь

            }

        }

    }

    //Если это рокировка, перемещаем ладью

    if piece == board.King && abs(m.FromY-m.ToY) == 2 {

        if m.ToY > m.FromY {

            //Короткая рокировка

            newBoard.SetPiece(m.FromX, m.FromY+1, board.Rook, color)

            newBoard.SetPiece(m.FromX, m.FromY+3, board.Empty, color)

        } else {

            //Длинная рокировка

            newBoard.SetPiece(m.FromX, m.FromY-1, board.Rook, color)

            newBoard.SetPiece(m.FromX, m.FromY-4, board.Empty, color)

        }

    }

    //Проверяем, не приводит ли ход к шаху

    if IsKingInCheck(newBoard, color) {

        return errors.New("ход подвергает короля шаху")

    }

    //Если все в порядке, применяем ход

    \*b = newBoard

    return nil

}

// Проверяет, находится ли король под шахом

func IsKingInCheck(b board.Board, color board.Color) bool {

    //Находим позицию короля

    var kingX, kingY int

    for i := 0; i < 8; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            piece, pieceColor, \_ := b.GetPiece(i, j)

            if piece == board.King && pieceColor == color {

                kingX, kingY = i, j

                break

            }

        }

    }

    //Определяем цвет противника

    opponentColor := board.White

    if color == board.White {

        opponentColor = board.Black

    }

    //Проверяем все фигуры противника

    for i := 0; i < 8; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            piece, pieceColor, \_ := b.GetPiece(i, j)

            if pieceColor != opponentColor || piece == board.Empty {

                continue

            }

            //Генерируем возможные ходы фигуры противника

            moves := GenerateMovesForPiece(b, i, j, opponentColor, piece)

            for \_, m := range moves {

                if m.ToX == kingX && m.ToY == kingY {

                    return true

                }

            }

        }

    }

    return false

}

// Вспомогательная функция для вычисления абсолютного значения

func abs(x int) int {

    if x < 0 {

        return -x

    }

    return x

}

Приложение A.7

Файл minimax.go

package search

import (

    "chess-engine/board"

    "chess-engine/evaluation"

    "chess-engine/move"

    "encoding/json"

    "fmt"

    "math"

    "math/rand"

    "os"

    "sort"

    "sync"

    "time"

)

type transpositionTableStruct struct {

    sync.Mutex

    data map[string]SearchResult

}

var transpositionTable = transpositionTableStruct{

    data: make(map[string]SearchResult),

}

var killerMoves [32][2]move.Move

var history [12][64]int

type SearchResult struct {

    BestMoves []move.Move `json:"best\_moves"`

    Score     int         `json:"score"`

}

type SearchStats struct {

    NodesEvaluated int

    SearchTime     time.Duration

}

func LoadData() {

    if \_, err := os.Stat("transpositions.json"); err == nil {

        if data, err := os.ReadFile("transpositions.json"); err == nil && len(data) > 0 {

            if err := json.Unmarshal(data, &transpositionTable.data); err != nil {

                fmt.Printf("Ошибка загрузки транспозиционной таблицы: %v\n", err)

            } else {

                fmt.Printf("Загружено %d позиций из транспозиционной таблицы\n", len(transpositionTable.data))

            }

        }

    }

    if \_, err := os.Stat("killers.json"); err == nil {

        if data, err := os.ReadFile("killers.json"); err == nil && len(data) > 0 {

            if err := json.Unmarshal(data, &killerMoves); err != nil {

                fmt.Printf("Ошибка загрузки killer moves: %v\n", err)

            } else {

                fmt.Println("Загружены killer moves")

            }

        }

    }

}

func SaveData() {

    transpositionTable.Lock()

    defer transpositionTable.Unlock()

    if data, err := json.MarshalIndent(transpositionTable.data, "", "  "); err == nil {

        if err := os.WriteFile("transpositions.json", data, 0644); err != nil {

            fmt.Printf("Ошибка сохранения транспозиционной таблицы: %v\n", err)

        } else {

            fmt.Printf("Сохранено %d позиций в транспозиционную таблицу\n", len(transpositionTable.data))

        }

    }

    if data, err := json.MarshalIndent(killerMoves, "", "  "); err == nil {

        if err := os.WriteFile("killers.json", data, 0644); err != nil {

            fmt.Printf("Ошибка сохранения killer moves: %v\n", err)

        } else {

            fmt.Println("Сохранены killer moves")

        }

    }

}

func Minimax(b board.Board, depth int, alpha int, beta int, maximizingPlayer bool, deadline time.Time, stats \*SearchStats) SearchResult {

    if time.Now().After(deadline) {

        stats.NodesEvaluated++

        return SearchResult{Score: evaluation.Evaluate(b)}

    }

    hash := boardToString(b)

    transpositionTable.Lock()

    if result, ok := transpositionTable.data[hash]; ok && depth <= result.Score {

        transpositionTable.Unlock()

        return result

    }

    transpositionTable.Unlock()

    if depth == 0 {

        return SearchResult{Score: QuiescenceSearch(b, alpha, beta, maximizingPlayer, 4, deadline, stats)}

    }

    color := board.Black

    if maximizingPlayer {

        color = board.White

    }

    moves := move.GenerateMoves(b, color)

    if len(moves) == 0 {

        if maximizingPlayer && move.IsKingInCheck(b, board.White) {

            return SearchResult{Score: -1000000}

        } else if !maximizingPlayer && move.IsKingInCheck(b, board.Black) {

            return SearchResult{Score: 1000000}

        }

        fmt.Println("Пат или нет ходов для", color)

        stats.NodesEvaluated++

        return SearchResult{Score: evaluation.Evaluate(b)}

    }

    sortMoves(moves, b, depth)

    var bestMoves []move.Move

    var bestScore int

    if maximizingPlayer {

        bestScore = math.MinInt

    } else {

        bestScore = math.MaxInt

    }

    for \_, m := range moves {

        newBoard := b.Copy()

        if err := move.MakeMove(&newBoard, m); err != nil {

            fmt.Printf("Ошибка в MakeMove для хода %v: %v\n", m, err)

            continue

        }

        res := Minimax(newBoard, depth-1, alpha, beta, !maximizingPlayer, deadline, stats)

        stats.NodesEvaluated++

        if maximizingPlayer {

            if res.Score > bestScore {

                bestScore = res.Score

                bestMoves = []move.Move{m}

            } else if res.Score == bestScore {

                bestMoves = append(bestMoves, m)

            }

            alpha = max(alpha, bestScore)

            if beta <= alpha {

                updateKillerAndHistory(b, m, depth, color)

                break

            }

        } else {

            if res.Score < bestScore {

                bestScore = res.Score

                bestMoves = []move.Move{m}

            } else if res.Score == bestScore {

                bestMoves = append(bestMoves, m)

            }

            beta = min(beta, bestScore)

            if beta <= alpha {

                updateKillerAndHistory(b, m, depth, color)

                break

            }

        }

    }

    if len(bestMoves) == 0 {

        fmt.Println("Не удалось найти лучшие ходы для", color)

        return SearchResult{Score: evaluation.Evaluate(b)}

    }

    res := SearchResult{

        BestMoves: bestMoves,

        Score:     bestScore,

    }

    transpositionTable.Lock()

    transpositionTable.data[hash] = res

    transpositionTable.Unlock()

    return res

}

func QuiescenceSearch(b board.Board, alpha int, beta int, maximizingPlayer bool, maxDepth int, deadline time.Time, stats \*SearchStats) int {

    if time.Now().After(deadline) || maxDepth <= 0 {

        stats.NodesEvaluated++

        return evaluation.Evaluate(b)

    }

    standPat := evaluation.Evaluate(b)

    stats.NodesEvaluated++

    if maximizingPlayer {

        if standPat >= beta {

            return beta

        }

        alpha = max(alpha, standPat)

    } else {

        if standPat <= alpha {

            return alpha

        }

        beta = min(beta, standPat)

    }

    color := board.Black

    if maximizingPlayer {

        color = board.White

    }

    moves := move.GenerateMoves(b, color)

    sortMoves(moves, b, 0)

    for \_, m := range moves {

        targetPiece, \_, \_ := b.GetPiece(m.ToX, m.ToY)

        piece, \_, \_ := b.GetPiece(m.FromX, m.FromY)

        newBoard := b.Copy()

        if err := move.MakeMove(&newBoard, m); err != nil {

            continue

        }

        if targetPiece != board.Empty || move.IsKingInCheck(newBoard, board.Black) || move.IsKingInCheck(newBoard, board.White) ||

            (piece == board.Pawn && (m.ToX == 0 || m.ToX == 7)) {

            score := QuiescenceSearch(newBoard, alpha, beta, !maximizingPlayer, maxDepth-1, deadline, stats)

            if maximizingPlayer {

                alpha = max(alpha, score)

                if alpha >= beta {

                    break

                }

            } else {

                beta = min(beta, score)

                if beta <= alpha {

                    break

                }

            }

        }

    }

    if maximizingPlayer {

        return alpha

    }

    return beta

}

var timeLimit time.Duration = 15 \* time.Second

func FindBestMove(b board.Board, depth int, boardColor board.Color) (move.Move, SearchStats) {

    rand.Seed(time.Now().UnixNano())

    maximizingPlayer := (boardColor == board.White)

    start := time.Now()

    deadline := start.Add(timeLimit)

    stats := SearchStats{}

    res := Minimax(b, depth, math.MinInt, math.MaxInt, maximizingPlayer, deadline, &stats)

    stats.SearchTime = time.Since(start)

    if len(res.BestMoves) == 0 {

        fmt.Println("Minimax вернул пустой список лучших ходов для", boardColor)

        moves := move.GenerateMoves(b, boardColor)

        if len(moves) == 0 {

            fmt.Println("GenerateMoves вернул пустой список для", boardColor)

            return move.Move{}, stats

        }

        return moves[0], stats // Возвращаем первый доступный ход

    }

    // Ограничиваем рандомизацию топ-2 ходами (или всеми, если их меньше)

    maxChoices := 2

    if len(res.BestMoves) < maxChoices {

        maxChoices = len(res.BestMoves)

    }

    // Сортируем ходы по эвристике для дебюта

    sort.Slice(res.BestMoves, func(i, j int) bool {

        return moveHeuristic(res.BestMoves[i]) > moveHeuristic(res.BestMoves[j])

    })

    // Выбираем случайный из топ-2

    return res.BestMoves[rand.Intn(maxChoices)], stats

}

// moveHeuristic добавляет приоритет центральным ходам в дебюте

func moveHeuristic(m move.Move) int {

    score := 0

    // Предпочтение центральным клеткам (d4, d5, e4, e5)

    centerSquares := map[int]bool{27: true, 28: true, 35: true, 36: true} // e4, e5, d4, d5

    toSquare := m.ToX\*8 + m.ToY

    if centerSquares[toSquare] {

        score += 30

    }

    return score

}

func max(a, b int) int {

    if a > b {

        return a

    }

    return b

}

func min(a, b int) int {

    if a < b {

        return a

    }

    return b

}

func GetTimeLimit() time.Duration {

    return timeLimit / time.Second

}

func SetTimeLimit(k int) {

    timeLimit = time.Duration(k) \* time.Second

}

func sortMoves(moves []move.Move, b board.Board, depth int) {

    sort.Slice(moves, func(i, j int) bool {

        moveI, moveJ := moves[i], moves[j]

        if moveI.FromX < 0 || moveI.FromX >= 8 || moveI.FromY < 0 || moveI.FromY >= 8 ||

            moveI.ToX < 0 || moveI.ToX >= 8 || moveI.ToY < 0 || moveI.ToY >= 8 ||

            moveJ.FromX < 0 || moveJ.FromX >= 8 || moveJ.FromY < 0 || moveJ.FromY >= 8 ||

            moveJ.ToX < 0 || moveJ.ToX >= 8 || moveJ.ToY < 0 || moveJ.ToY >= 8 {

            return false

        }

        pieceI, colorI, \_ := b.GetPiece(moveI.FromX, moveI.FromY)

        pieceJ, colorJ, \_ := b.GetPiece(moveJ.FromX, moveJ.FromY)

        targetPieceI, \_, \_ := b.GetPiece(moveI.ToX, moveI.ToY)

        targetPieceJ, \_, \_ := b.GetPiece(moveJ.ToX, moveJ.ToY)

        scoreI := 0

        if targetPieceI != board.Empty {

            targetValue := evaluation.PieceValues[targetPieceI]

            pieceValue := evaluation.PieceValues[pieceI]

            scoreI += targetValue - pieceValue/10

        }

        if pieceI == board.Pawn && (moveI.ToX == 0 || moveI.ToX == 7) {

            scoreI += 900

        }

        if pieceI == board.Knight || pieceI == board.Bishop {

            scoreI += 20

        }

        if pieceI == board.Pawn && (moveI.ToY == 3 || moveI.ToY == 4) && targetPieceI == board.Empty {

            scoreI += 20

        }

        if depth < len(killerMoves) {

            if moveI == killerMoves[depth][0] {

                scoreI += 1000

            } else if moveI == killerMoves[depth][1] {

                scoreI += 900

            }

        }

        pieceIndexI := int(pieceI) + 6\*int(colorI)

        if pieceIndexI < 12 {

            scoreI += history[pieceIndexI][moveI.ToX\*8+moveI.ToY] / 100

        }

        scoreJ := 0

        if targetPieceJ != board.Empty {

            targetValue := evaluation.PieceValues[targetPieceJ]

            pieceValue := evaluation.PieceValues[pieceJ]

            scoreJ += targetValue - pieceValue/10

        }

        if pieceJ == board.Pawn && (moveJ.ToX == 0 || moveJ.ToX == 7) {

            scoreJ += 900

        }

        if pieceJ == board.Knight || pieceJ == board.Bishop {

            scoreJ += 20

        }

        if pieceJ == board.Pawn && (moveJ.ToY == 3 || moveJ.ToY == 4) && targetPieceJ == board.Empty {

            scoreJ += 20

        }

        if depth < len(killerMoves) {

            if moveJ == killerMoves[depth][0] {

                scoreJ += 1000

            } else if moveJ == killerMoves[depth][1] {

                scoreJ += 900

            }

        }

        pieceIndexJ := int(pieceJ) + 6\*int(colorJ)

        if pieceIndexJ < 12 {

            scoreJ += history[pieceIndexJ][moveJ.ToX\*8+moveJ.ToY] / 100

        }

        return scoreI > scoreJ

    })

}

func boardToString(b board.Board) string {

    var s string

    for i := 0; i < 8; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            piece, color, \_ := b.GetPiece(i, j)

            s += fmt.Sprintf("%d%d", piece, color)

        }

    }

    return s

}

func updateKillerAndHistory(b board.Board, m move.Move, depth int, color board.Color) {

    if depth < len(killerMoves) {

        killerMoves[depth][1] = killerMoves[depth][0]

        killerMoves[depth][0] = m

    }

    piece, \_, \_ := b.GetPiece(m.FromX, m.FromY)

    pieceIndex := int(piece) + 6\*int(color)

    if pieceIndex < 12 {

        history[pieceIndex][m.ToX\*8+m.ToY] += depth \* depth

    }

}

Приложение A.8

Файл custom\_button.go

package ui

import (

    "fyne.io/fyne/v2"

    "fyne.io/fyne/v2/widget"

)

type CustomButton struct {

    widget.Button

    onRightClick func()

}

func NewCustomButton(label string, onLeftClick, onRightClick func()) \*CustomButton {

    b := &CustomButton{

        Button: widget.Button{

            Text:     label,

            OnTapped: onLeftClick,

        },

        onRightClick: onRightClick,

    }

    b.ExtendBaseWidget(b)

    return b

}

func (b \*CustomButton) TappedSecondary(\*fyne.PointEvent) {

    if b.onRightClick != nil {

        b.onRightClick()

    }

}

Приложение A.9

Файл ui.go

package ui

import (

    "chess-engine/board"

    "chess-engine/evaluation"

    "chess-engine/move"

    "chess-engine/search"

    "fmt"

    "image/color"

    "log"

    "os"

    "time"

    "fyne.io/fyne/v2"

    "fyne.io/fyne/v2/app"

    "fyne.io/fyne/v2/canvas"

    "fyne.io/fyne/v2/container"

    "fyne.io/fyne/v2/widget"

    "github.com/faiface/beep"

    "github.com/faiface/beep/mp3"

    "github.com/faiface/beep/speaker"

)

const (

    cellSize = 80

)

var (

    pieceColors = map[board.Color]color.Color{

        board.Black: color.Black,

        board.White: color.White,

    }

    selectedColor      = color.RGBA{R: 255, G: 255, B: 0, A: 50}

    availableMoveColor = color.RGBA{R: 0, G: 255, B: 0, A: 50}

)

type ChessApp struct {

    currentBoard         board.Board

    selectedX, selectedY int

    window               fyne.Window

    grid                 \*fyne.Container

    infoLabel            \*widget.Label

    logText              \*widget.Entry

    positions            map[string]int

    gameOver             bool

    aiThinking           bool

    moveCount            int

    paused               bool

    aiDepth              int

}

func NewChessApp() \*ChessApp {

    app := &ChessApp{

        currentBoard: board.NewBoard(),

        selectedX:    -1,

        selectedY:    -1,

        logText:      widget.NewEntry(),

        positions:    make(map[string]int),

        gameOver:     false,

        aiThinking:   false,

        moveCount:    0,

        paused:       false,

        aiDepth:      20,

    }

    app.positions[boardToString(app.currentBoard)] = 1

    return app

}

func (appl \*ChessApp) Run() {

    search.LoadData()

    myApp := app.New()

    appl.window = myApp.NewWindow("Шахматы")

    icon, err := fyne.LoadResourceFromPath("Icon.png")

    if err != nil {

        log.Printf("Ошибка загрузки иконки: %v", err)

    } else {

        appl.window.SetIcon(icon)

    }

    appl.grid = appl.createBoardGrid()

    appl.infoLabel = widget.NewLabel("Ваш ход. Выберите фигуру.")

    // Настраиваем logText

    appl.logText.MultiLine = true

    appl.logText.Wrapping = fyne.TextWrapWord

    appl.logText.Disable()

    // Оборачиваем logText в контейнер с тёмным фоном

    logContainer := container.NewMax(

        canvas.NewRectangle(color.RGBA{R: 30, G: 30, B: 30, A: 255}),

        appl.logText,

    )

    content := container.NewBorder(

        nil,

        container.NewVBox(appl.infoLabel, logContainer),

        nil,

        nil,

        appl.grid,

    )

    appl.window.SetContent(content)

    appl.window.Resize(fyne.NewSize(cellSize\*8, cellSize\*8+100))

    // Сохраняем данные ИИ при закрытии окна

    appl.window.SetCloseIntercept(func() {

        search.SaveData()

        appl.window.Close()

    })

    appl.window.Show()

    myApp.Run()

}

func (app \*ChessApp) logMessage(msg string) {

    if app.moveCount != 0 || app.moveCount%2 != 0 {

        go func() {

            fyne.DoAndWait(func() {

                log.Println(msg)

                app.logText.SetText(app.logText.Text + msg + "\n")

            })

        }()

    } else {

        log.Println(msg)

        app.logText.SetText(app.infoLabel.Text + msg + "\n")

    }

}

func boardToString(b board.Board) string {

    var s string

    for i := 0; i < 8; i++ {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            piece, color, \_ := b.GetPiece(i, j)

            s += fmt.Sprintf("%d%d", piece, color)

        }

    }

    return s

}

func (app \*ChessApp) playMoveSound() {

    go func() {

        file, err := os.Open("moveSound.mp3")

        if err != nil {

            return

        }

        defer file.Close()

        streamer, \_, err := mp3.Decode(file)

        if err != nil {

            app.logMessage(fmt.Sprintf("Ошибка декодирования MP3: %v", err))

            return

        }

        defer streamer.Close()

        speaker.Play(beep.Seq(streamer, beep.Callback(func() {})))

        time.Sleep(500 \* time.Millisecond)

    }()

}

func (app \*ChessApp) handleCellClick(x, y int) {

    if app.aiThinking && app.moveCount > 0 {

        app.infoLabel.SetText("Подождите, ИИ думает...")

        return

    }

    if app.gameOver {

        app.infoLabel.SetText("Игра завершена. Начните новую игру.")

        return

    }

    if app.selectedX == -1 {

        piece, color, err := app.currentBoard.GetPiece(x, y)

        if err != nil {

            app.logMessage(fmt.Sprintf("Ошибка при получении фигуры: %v", err))

            return

        }

        if piece != board.Empty && color == board.White && !app.paused {

            app.selectedX, app.selectedY = x, y

            app.infoLabel.SetText(fmt.Sprintf("Выбрана фигура на %c%d \n", 'a'+y, x+1))

            app.updateBoard()

        }

    } else {

        piece, color, err := app.currentBoard.GetPiece(x, y)

        if err != nil {

            app.logMessage(fmt.Sprintf("Ошибка при получении фигуры: %v", err))

            return

        }

        if piece != board.Empty && color == board.White {

            app.infoLabel.SetText("Невозможно ходить в клетку с фигурой того же цвета!")

            return

        }

        availableMoves := app.getAvailableMoves(app.selectedX, app.selectedY)

        isValidMove := false

        for \_, m := range availableMoves {

            if m.ToX == x && m.ToY == y {

                isValidMove = true

                break

            }

        }

        if !isValidMove {

            app.infoLabel.SetText("Невозможно ходить в эту клетку!")

            return

        }

        m := move.Move{FromX: app.selectedX, FromY: app.selectedY, ToX: x, ToY: y}

        if err := move.MakeMove(&app.currentBoard, m); err != nil {

            app.infoLabel.SetText("Некорректный ход: " + err.Error())

        } else {

            app.logMessage(fmt.Sprintf("Ход игрока (белые): %s%d-%s%d", string('a'+app.selectedY), app.selectedX+1, string('a'+y), x+1))

            app.playMoveSound()

            app.selectedX, app.selectedY = -1, -1

            app.moveCount++

            positionHash := boardToString(app.currentBoard)

            app.positions[positionHash]++

            app.updateBoard()

            if move.IsKingInCheck(app.currentBoard, board.Black) && app.isCheckmate(board.Black) {

                app.infoLabel.SetText("Мат! Белые победили.")

                app.logMessage("Игра завершена: мат чёрным. Победитель: Белые")

                app.gameOver = true

                search.SaveData()

                return

            } else if app.isCheckmate(board.Black) {

                app.infoLabel.SetText("Пат! Ничья.")

                app.logMessage("Игра завершена: пат для чёрных")

                app.gameOver = true

                search.SaveData()

                return

            } else if app.positions[positionHash] >= 3 {

                app.infoLabel.SetText("Ничья по правилу трёхкратного повторения!")

                app.logMessage("Игра завершена: ничья по правилу трёхкратного повторения")

                app.gameOver = true

                search.SaveData()

                return

            }

            app.makeAIMove()

        }

    }

}

func (app \*ChessApp) makeAIMove() {

    if app.gameOver {

        app.infoLabel.SetText("Игра завершена. Начните новую игру.")

        return

    }

    app.aiThinking = true

    app.infoLabel.SetText("ИИ думает...")

    go func() {

        bestMove, \_ := search.FindBestMove(app.currentBoard, app.aiDepth, board.Black)

        var message string

        if bestMove.FromX == 0 && bestMove.FromY == 0 && bestMove.ToX == 0 && bestMove.ToY == 0 {

            app.logMessage("ИИ не нашёл допустимых ходов")

            if move.IsKingInCheck(app.currentBoard, board.Black) {

                message = "Мат! Белые победили."

            } else {

                message = "Пат! Ничья."

            }

        } else {

            if err := move.MakeMove(&app.currentBoard, bestMove); err != nil {

                app.logMessage(fmt.Sprintf("Ошибка при выполнении хода ИИ: %v", err))

                message = "Ошибка ИИ: " + err.Error()

            } else {

                app.logMessage(fmt.Sprintf("Ход ИИ (чёрные): %s%d-%s%d", string('a'+bestMove.FromY), bestMove.FromX+1, string('a'+bestMove.ToY), bestMove.ToX+1))

                app.playMoveSound()

                app.moveCount++

                positionHash := boardToString(app.currentBoard)

                app.positions[positionHash]++

                app.updateBoard()

                if move.IsKingInCheck(app.currentBoard, board.White) && app.isCheckmate(board.White) {

                    message = "Мат! Чёрные победили."

                } else if app.isCheckmate(board.White) {

                    message = "Пат! Ничья."

                } else if app.positions[positionHash] >= 3 {

                    message = "Ничья по правилу трёхкратного повторения!"

                } else {

                    message = "ИИ сделал ход. Ваш ход."

                }

            }

        }

        fyne.DoAndWait(func() {

            app.infoLabel.SetText(message)

        })

        app.aiThinking = false

        app.gameOver = message != "ИИ сделал ход. Ваш ход."

        if app.gameOver {

            search.SaveData()

        }

    }()

}

func (app \*ChessApp) createCell(x, y int) fyne.CanvasObject {

    lightColor := color.RGBA{R: 240, G: 217, B: 181, A: 255}

    darkColor := color.RGBA{R: 181, G: 136, B: 99, A: 255}

    cellColor := darkColor

    if (x+y)%2 == 1 {

        cellColor = lightColor

    }

    background := canvas.NewRectangle(cellColor)

    background.SetMinSize(fyne.NewSize(cellSize, cellSize))

    var figure fyne.CanvasObject

    piece, pieceColor, err := app.currentBoard.GetPiece(x, y)

    if err != nil {

        log.Printf("Ошибка при получении фигуры: %v", err)

    }

    if piece != board.Empty {

        figure = app.createFigure(piece, pieceColor)

    } else {

        figure = canvas.NewRectangle(color.Transparent)

    }

    cellContainer := container.NewMax(

        background,

        container.NewCenter(figure),

    )

    if x == app.selectedX && y == app.selectedY {

        highlight := canvas.NewRectangle(selectedColor)

        highlight.SetMinSize(fyne.NewSize(cellSize, cellSize))

        cellContainer.Add(highlight)

    }

    if app.selectedX != -1 && app.selectedY != -1 {

        availableMoves := app.getAvailableMoves(app.selectedX, app.selectedY)

        for \_, m := range availableMoves {

            if m.ToX == x && m.ToY == y {

                availableHighlight := canvas.NewRectangle(availableMoveColor)

                availableHighlight.SetMinSize(fyne.NewSize(cellSize, cellSize))

                cellContainer.Add(availableHighlight)

            }

        }

    }

    button := NewCustomButton("", func() {

        app.handleCellClick(x, y)

    }, func() {

        app.handleRightClick()

    })

    button.Importance = widget.LowImportance

    button.Resize(fyne.NewSize(cellSize, cellSize))

    cellContainer.Add(button)

    return cellContainer

}

func (app \*ChessApp) createFigure(piece board.Piece, color board.Color) fyne.CanvasObject {

    var figure fyne.CanvasObject

    figureColor := pieceColors[color]

    switch piece {

    case board.Pawn:

        figure = canvas.NewText("♙", figureColor)

    case board.Knight:

        figure = canvas.NewText("♘", figureColor)

    case board.Bishop:

        figure = canvas.NewText("♗", figureColor)

    case board.Rook:

        figure = canvas.NewText("♖", figureColor)

    case board.Queen:

        figure = canvas.NewText("♕", figureColor)

    case board.King:

        figure = canvas.NewText("♔", figureColor)

    default:

        figure = canvas.NewText("", figureColor)

    }

    figure.(\*canvas.Text).TextSize = cellSize / 2

    figure.(\*canvas.Text).Alignment = fyne.TextAlignCenter

    figure.Resize(fyne.NewSize(cellSize, cellSize))

    return figure

}

func (app \*ChessApp) handleRightClick() {

    if app.gameOver {

        app.infoLabel.SetText("Игра завершена. Начните новую игру.")

        return

    }

    if app.aiThinking && app.moveCount > 0 {

        app.infoLabel.SetText("Подождите, ИИ думает...")

        return

    }

    app.selectedX, app.selectedY = -1, -1

    app.infoLabel.SetText("Выбранная фигура сброшена")

    app.updateBoard()

}

func (app \*ChessApp) getAvailableMoves(x, y int) []move.Move {

    piece, color, err := app.currentBoard.GetPiece(x, y)

    if err != nil || piece == board.Empty {

        return nil

    }

    allMoves := move.GenerateMoves(app.currentBoard, color)

    var availableMoves []move.Move

    for \_, m := range allMoves {

        if m.FromX == x && m.FromY == y {

            availableMoves = append(availableMoves, m)

        }

    }

    return availableMoves

}

func (app \*ChessApp) isCheckmate(color board.Color) bool {

    moves := move.GenerateMoves(app.currentBoard, color)

    if len(moves) == 0 {

        if move.IsKingInCheck(app.currentBoard, color) {

            return true

        }

        return true

    }

    return false

}

func (app \*ChessApp) updateBoard() {

    app.grid = app.createBoardGrid()

    go func() {

        fyne.DoAndWait(func() {

            app.window.SetContent(container.NewBorder(nil, container.NewVBox(app.infoLabel, container.NewMax(canvas.NewRectangle(color.RGBA{R: 30, G: 30, B: 30, A: 255}), app.logText)), nil, nil, app.grid))

            app.window.Content().Refresh()

        })

    }()

}

func (app \*ChessApp) createBoardGrid() \*fyne.Container {

    grid := container.NewGridWithColumns(8)

    for i := 7; i >= 0; i-- {

        for j := 0; j < 8; j++ {

            cell := app.createCell(i, j)

            grid.Add(cell)

        }

    }

    return grid

}

// Консольные команды

func (app \*ChessApp) PrintLastMoveEval() {

    if app.moveCount == 0 {

        log.Println("Нет ходов для оценки")

        return

    }

    score := evaluation.Evaluate(app.currentBoard)

    log.Printf("Оценка позиции: %d (положительно для белых)", score)

}

func (app \*ChessApp) Pause() {

    if app.aiThinking {

        log.Println("Невозможно поставить на паузу. ИИ делает ход")

        return

    }

    app.paused = !app.paused

    if app.paused {

        log.Println("Игра приостановлена")

        go func() {

            fyne.DoAndWait(func() {

                app.infoLabel.SetText("Игра приостановлена")

            })

        }()

    } else {

        log.Println("Игра возобновлена")

        go func() {

            fyne.DoAndWait(func() {

                app.infoLabel.SetText("Ваш ход. Выберите фигуру.")

            })

        }()

    }

}

func (app \*ChessApp) SetAIDepth(depth int) {

    app.aiDepth = depth

    log.Printf("Глубина поиска ИИ установлена на %d", depth)

}

func (app \*ChessApp) Reset() {

    app.currentBoard = board.NewBoard()

    app.selectedX, app.selectedY = -1, -1

    app.positions = make(map[string]int)

    app.positions[boardToString(app.currentBoard)] = 1

    app.gameOver = false

    app.aiThinking = false

    app.moveCount = 0

    app.paused = false

    app.updateBoard()

    app.infoLabel.SetText("Игра сброшена. Ваш ход.")

    log.Println("Игра сброшена")

}

func (app \*ChessApp) Exit(flag int) {

    if flag == 0 {

        fyne.DoAndWait(func() {

            app.window.Close()

        })

        return

    } else {

        search.SaveData()

        fyne.DoAndWait(func() {

            app.window.Close()

        })

    }

}

func (app \*ChessApp) GetAiDepth() int {

    return app.aiDepth

}

Приложение A.10

Файл popcount.go

package util

// PopCount возвращает количество единичных битов в x

func PopCount(x uint64) int

Приложение A.11

Файл popcount.s

// popcount.s

#include "textflag.h"

// func PopCount(x uint64) int

TEXT ·PopCount(SB), NOSPLIT, $0-16

MOVQ x+0(FP), AX // Загружаем аргумент x (uint64) в регистр AX

POPCNTQ AX, AX // Используем инструкцию POPCNT для подсчета битов

MOVQ AX, ret+8(FP) // Сохраняем результат в возвращаемое значение

RET

# **Приложение B**

## **Приложение B.1**

**Схема данных**

**Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, План

Содержимое, созданное искусственным интеллектом, может быть неверным.**

## **Приложение B.2**

**Иерархическая структура приложения**

**переделать**

1. файл с записями о событиях в хронологическом порядке, простейшее средство обеспечения журналирования. [↑](#footnote-ref-1)
2. совершенно новая копия исходного объекта вместе со всеми вложенными объектами, которые он содержит [↑](#footnote-ref-2)
3. ситуация, при которой поиск останавливается на позиции, которая кажется стабильной, но на самом деле может быть нестабильной из-за потенциальных тактических угроз. [↑](#footnote-ref-3)
4. заготовка, готовая модель в программировании для быстрой разработки, на основе которой можно дописать собственный код [↑](#footnote-ref-4)
5. графический пользовательский интерфейс [↑](#footnote-ref-5)
6. протокол языкового сервера, набор правил, по которому среда программирования связывается с сервером и получает от него инструкции. Протокол нужен, чтобы программы для разработки могли автоматически подставлять данные в код [↑](#footnote-ref-6)