

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică**

**Departamentul Ingineria Software și Automatică**

**Admis la susținere**

**Șef dedepartament:**

**Fiodorov I. dr., conf. univ.**

.....  
„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2022

# **Analiza și compararea metodelor construirii inteligenței artificiale in jocuri**

**Teza de master**

**Student:** \_\_\_\_\_ **Jdanov Victor, TI-201M**

**Conducător:** \_\_\_\_\_ **Chirev Pavel, lect.univ, dr.**

**Consultant:** \_\_\_\_\_ **Cojocaru Svetlana, lect. univ.**

**Chișinău, 2022**

## **АННОТАЦИЯ**

В данной работе проводилось исследование существующих на сегодняшний день методов реализации игрового искусственного интеллекта, их теоретическое и практическое сравнение, а также были исследованы проблемы, которые возникают при разработке игрового интеллекта при помощи каждого из методов.

Каждый из исследуемых методов реализации искусственного интеллекта был реализован при помощи игровых движков Unity и Unreal Engine. Было проведено исследование, какие моделям поведения больше подходят конкретные методы реализации, на сколько каждый из методов прост в реализации, на сколько разнообразное поведение агентов игрового интеллекта позволяет реализовать, и ресурсозатраность вычислительных мощностей компьютера.

## **REZUMAT**

Această lucrare a cercetat metodele existente de implementare a inteligenței artificiale a jocurilor, compararea teoretică și practică a acestora și a investigat, de asemenea, problemele care apar la dezvoltarea inteligenței jocurilor folosind fiecare dintre aceste metode.

Fiecare dintre metodele investigate de implementare a inteligenței artificiale a fost implementată cu ajutorul motoarelor de joc Unity și Unreal Engine. A fost realizat un studiu, care comportamente sunt mai potrivite pentru anumite metode de implementare, cât de ușor este de implementat fiecare metodă, cât de diverse comportamente ale agenților de inteligență a jocurilor pot fi implementate și consumul de resurse de putere de procesare a computerului.

## **ABSTRACT**

This paper researched the existing methods of implementation of game artificial intelligence, their theoretical and practical comparison, and also investigated the problems that arise when developing game intelligence using each of the methods.

Each of the investigated methods of implementation of artificial intelligence was implemented using Unity and Unreal Engine game engines. A study was conducted, which behaviours are better suited to the particular implementation methods, how easy each method is to implement, how diverse behaviour of game intelligence agents can be implemented and the resource consumption of computer processing power.

## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>8</b>
<b>1 Общие вопросы игрового искусственного интеллекта .....</b>	<b>9</b>
1.1 Зарождение игрового искусственного интеллекта .....	9
1.2 Академический ИИ против игрового ИИ .....	11
<b>2 Исследование и сравнение принципов и особенностей построения игрового искусственного интеллекта .....</b>	<b>13</b>
2.1 Конечный автомат (Finite-state machine).....	13
2.2 Дерево состояний (Behavior tree).....	17
2.3 Нечёткая логика (Fuzzy logic).....	25
2.4 Планирование действий, ориентированное на достижение целей (GOAP).....	30
2.5 Нейронные сети.....	36
2.6 Выводы и обоснование выбора темы исследования.....	43
<b>3 Практический анализ методов реализации искусственного интеллекта.....</b>	<b>44</b>
3.1 Анализ реализации искусственного интеллекта при помощи конечного автомата .....	44
3.2 Анализ реализации искусственного интеллекта при помощи дерева состояний.....	49
3.3 Анализ реализации искусственного интеллекта при помощи нечёткой логики .....	54
3.4 Анализ реализации искусственного интеллекта при помощи GOAP.....	59
3.5 Реализация игрового искусственного интеллекта при помощи нейронных сетей.....	66
3.6 Выводы практического анализа методов реализации искусственного интеллекта.....	67
Список использованных источников.....	75

## **ВВЕДЕНИЕ**

Большинство видеоигр - будь то игры с гоночными автомобилями, шутеры или стратегии - все они имеют различные компоненты, которые управляются искусственным интеллектом или соответствующими приложениями. Например, вражеские боты или нейтральные персонажи. Основная цель использования ИИ в играх - обеспечить реалистичный игровой опыт для игроков, чтобы они могли сражаться друг с другом в виртуальной реальности. Кроме того, ИИ в играх также помогает повысить интерес и удовлетворенность игрока в течение длительного периода времени.

Мы можем понимать искусственный интеллект как технологию, которая, посредством так называемого машинного обучения, позволяет машине, системе или программному обеспечению научиться анализировать определенную информацию из окружающей среды, чтобы добиться более человеческого поведения. И хотя несколько лет назад это могло показаться афоризмом, взятым из одного из произведений Азимова, это реальность, которая в конечном итоге достигла нас как людей и которая больше не относится к области научной фантастики и спекуляций.

В мире видеоигр мы могли бы обобщить и определить искусственный интеллект как методы, используемые разработчиками для проектирования поведения NPC (неиграбельных персонажей). Однако это определение становится все более богатым перед лицом технологии, которая развивается вместе с самой индустрией видеоигр и которая теперь не только фокусируется на определении поведения противников, но и способна разрабатывать все более сложные карты, уровни и испытания для игроков.

Область искусственного интеллекта видеоигр, которая в значительной степени заимствует концепции машинного обучения, такие как теория управления, процедурная генерация контента, поиск данных и методы обучения на ходу, в последнее время набирает популярность. Однако эти технологии используются уже более 40 лет. Только они не назывались "ИИ" в прямом смысле этого слова, а включали в себя различные техники, которые сегодня используются программистами ML (machine learning).

Однако и сегодня в "игровом ИИ" открываются новые горизонты, которые находят применение в реальных ситуациях. Различные компании также используют сложные игры для

тестирования своих моделей ИИ. Некоторые компании, такие как NVIDIA, также занялись исследованиями в области ИИ.

Эта область выросла из чего-то, вызванного потребностью в более сложных задачах, в науку, функционирующую на стыке психологии и ИИ.

Целью работы являются анализ и сравнение существующих реализаций искусственного интеллекта в играх. Выбрана данная работа для выявления оптимального и лучшего решения в плане разнообразия работы ИИ и использования ресурсов. Для достижения поставленной цели будут рассмотрены следующие разделы:

- Анализ и сравнение методов построения игрового искусственного интеллекта;
- Определение плюсов и минусов каждой реализации, сложности и актуальности;
- Реализация некоторых видов искусственного интеллекта на практике с помощью инструментов Unreal Engine / Unity.

## **1 Общие вопросы игрового искусственного интеллекта**

### **1.1 Зарождение игрового искусственного интеллекта**

Видеоигры появились на свет без искусственного интеллекта. Первая в истории игра была создана в 1958 году Уильямом Хигинботэмом, работавшим в Брукхейвенской национальной лаборатории. Игра называлась "Теннис на двоих" и была создана путем подключения осциллографа к аналоговому компьютеру. Первой игрой, запущенной на компьютере, была Spacemar Стива Рассела из Массачусетского технологического института. Spacemar считается первой компьютерной игрой, поскольку она была сделана на мейнфреймовом компьютере PDP-1. Ни в одной из этих двух игр не было искусственного интеллекта. На ранних этапах развития видеоигр ИИ не был характерной чертой. Это объясняется тем, что те игры были относительно простыми, и большую часть времени они были посвящены процессу игры между реальными людьми. В игру не добавлялся компьютерный противник.

В 1970 году компания Atari выпустила первую аркадную видеоигру "Computer Space". И только тогда разработчики игр начали предпринимать первые попытки включить искусственный интеллект в свои игры. ИИ был разработан в первую очередь для аркадных игр, чтобы люди продолжали тратить деньги в игровых автоматах, ведь каждая новая попытка

стоила денег. Pong, Space Invaders и Donkey Kong были одними из основополагающих игр. В этих играх действовали очень простые правила и сценарии действий. У агентов не было возможности принимать решения. Иногда решения принимались случайным образом, чтобы поведение выглядело более непредсказуемым. Таким образом, так называемый интеллект был фактически закодирован в игре и не мог действовать во время выполнения. Ранний ИИ появился в виде сохраненных шаблонов. Примером такого жестко закодированного ИИ является дизайн пришельцев в игре "Space Invaders". В этой игре игрок должен стрелять в пришельцев до того, как они достигнут нижней части экрана. То, как эти инопланетяне двигаются, было заранее закодировано в игре. Они были сохраненным шаблоном.

На основе этого типа ИИ было создано еще больше игр, но эволюция ИИ только начиналась. Появление компьютерного противника в игре "Pong" заставило людей поверить, что компьютер мыслит. Он также считался самым ранним настоящим искусственным интеллектом в играх. То, как протекает игра Pong, сделало невозможным сценарий поведения нечеловеческих объектов. Лопасты должны принимать решения, основанные на действиях игроков-людей. Решения, возможно, не так сложно принимать — это простой расчет того, куда нужно направить весла, но это заставляло людей испытывать те же ощущения, что и при игре против настоящего игрока-человека. (Векслер)

Но появлялись новые жанры компьютерных игр, и требования к искусственному интеллекту повышались. Например, среди новых типов игр стратегические игры стимулировали развитие игрового ИИ в наибольшей степени благодаря высоким требованиям к качеству ИИ. Относительно, ИИ более важен для стратегических игр и вносит больший вклад в содержание игры по сравнению с другими типами игр, такими как головоломки или ролевые игры. Стратегические игры в реальном времени (RTS) появились в конце 1980-х годов как новый жанр. Высококомпетентный и интересный искусственный интеллект — вот что означал для игроков этот жанр игр. Такой ИИ был сложным, и к нему предъявлялись высокие требования. С тех пор разработка ИИ в играх RTS стала выдающейся и развивалась как новая область исследований.

Дизайн ИИ в других типах игр также получил свое развитие. Half-Life от Valve Software получила высокую оценку за дизайн ИИ в шутере от первого лица. SimCity первой доказала потенциал подходов искусственной жизни ("A-LIFE"). Дизайн ИИ в спортивных и гоночных играх также разрабатывает свои стили и стандарты.

Мы все еще находимся в процессе эволюции игрового ИИ. Видеоигры прошли долгий путь с 1950-х годов, как и методы искусственного интеллекта, которые им сопутствуют. В последние несколько лет появляется все больше новых идей, а методы игрового ИИ входят в процесс разработки игр.

### **1.2.1 Академический ИИ против игрового ИИ**

Как правило, программисту ИИ не требуется значительный объем знаний в области искусственного интеллекта из академической области, чтобы создать высококачественный игровой ИИ. Причина кроется в двух фактах. Во-первых, искусственный интеллект — это большая ветвь компьютерной науки. Нелегко перенести сложные модели в игры. Во-вторых, основная цель игрового ИИ в настоящее время - развлечь людей. Существуют трюки или другие легкие способы идеально решить задачи. Людей не будет интересовать, как работает ИИ в игре. Они не будут покупать игры только из-за того, что дизайнер применил сложные алгоритмы для идеального решения математической задачи. На самом деле в большинстве случаев то, что дизайнеры использовали для игрового ИИ, — это не то, о чем идет речь в академическом ИИ. Но прежде, чем исследовать методы ИИ в играх, целесообразно разобраться в концепциях ИИ в академической области.

Концепции искусственного интеллекта существовали задолго до того, как этот термин был впервые использован. В 5 веке до нашей эры Аристотель впервые изобрел силлогистическую логику. Он также дал первое определение интеллекта: способность объединять вещи в категории. Но только в современной истории исследования в области искусственного интеллекта стали более зрелыми. В 1950 году А.М. Тьюринг опубликовал книгу "Вычислительная техника и интеллект", в которой представил тест Тьюринга как способ проверки интеллектуального поведения. В его иллюстративном примере человек ведет беседу на естественном языке с машиной, созданной для получения результатов, неотличимых от человеческих. Концепции, которые привел Тьюринг, кажутся очевидными, но они сформировали важнейшую концепцию в философии искусственного интеллекта. Для видеоигр эта концепция также рассматривается как цель проектирования игрового ИИ.

В 1956 году впервые появился термин "искусственный интеллект". Его придумал ученый-компьютерщик Джон Маккарти. В то время еще не было видеоигр. Однако игры, занимающиеся исследованием искусственного интеллекта в академических областях, уже

существовали. В 1950 году Клод Шеннон опубликовал свою работу о том, как компьютер играет в шахматы. В ней впервые ИИ был использован для создания виртуального соперника. С тех пор шахматы стали основным компонентом в исследованиях ИИ. Спустя примерно полвека в 1997 году компьютер DEEP BLUE выиграл в матче из 6 партий у гроссмейстера Гари Каспарова. DEEP BLUE смог оценить 200 миллионов позиций в секунду по сравнению с 2 позициями в секунду у человека. Это достижение продемонстрировало успех исследований в области ИИ.

Однако это не способствовало развитию игровой индустрии. Даже если цифровые шахматные игры доступны игрокам, значение шахматного ИИ в области исследований гораздо важнее, чем то, как он применяется для развлечения игроков. Для игровой индустрии будет катастрофой, если игроки, прежде чем купить игру, начнут задумываться о том, сможет ли он достичь определенного уровня, чтобы получить шанс победить компьютерного противника. Чаще всего люди играют в игры для удовольствия. Поэтому ИИ должен позволить игроку победить, но в развлекательной форме.

С другой стороны, вкладывать слишком много средств в игровой ИИ, чтобы поднять его до академического уровня, нереально. Еще со времен появления аркадных игр разработчикам было трудно внедрить даже простой ИИ в игры из-за нехватки оперативной памяти. Даже в наши дни процент циклов процессора, остающихся для обработки игрового ИИ, все еще ограничен, и это расстраивает многих академических исследователей ИИ, которые могут быть заинтересованы в разработке ИИ для игровой индустрии. Но именно по этой причине игровой ИИ не должен быть так же хорош, как академический: ИИ в видеоиграх не обязательно должен быть глубоким. Дизайн Pac Man является доказательством того, что дизайн может и не быть настолько сложным, насколько это возможно. Способ, которым работает Pac Man, заключается в том, чтобы добавить случайность в решение, когда призраки подходят к перекрестку, что гарантирует, что призраки не будут каждый раз идти по одному и тому же маршруту. Речь идет о вариации одного и того же алгоритма поиска пути, и программистам не нужно усложнять алгоритм, чтобы добиться такого эффекта. ИИ во многих играх успешен, не будучи глубоким.

Поэтому высоты, которых добился игровой ИИ, гораздо меньше, чем академический ИИ. Но с развитием игрового ИИ все больше и больше методов применяется для решения

проблем из академической области ИИ. Дело в том, что игровой ИИ в полной мере использует некоторые основные теории и методы реального ИИ. Такие методы, как конечные автоматы (FSM), деревья решений и прочие методы, являются простыми, но мощными инструментами и широко используются для моделирования агентов ИИ в играх.

## **2 Исследование принципов и особенностей построения игрового искусственного интеллекта**

### **2.1 Конечный автомат (Finite-state Machine)**

Автомат конечных состояний — это модель, используемая для представления и управления потоком выполнения. Он идеально подходит для реализации искусственного интеллекта в играх, давая отличные результаты без сложного кода.

Автомат конечных состояний, или сокращенно FSM, — это модель вычислений, основанная на гипотетической машине, состоящей из одного или нескольких состояний. Одновременно активным может быть только одно состояние, поэтому для выполнения различных действий машина должна переходить из одного состояния в другое.

Наверное, самый известный пример FSM— это светофор. Он может быть зеленым, желтым или красным, но никогда не более одного одновременно. Когда прохожий нажимает на кнопку (вход), он переключается с зеленого на желтый, а затем с желтого на красный. Через некоторое время он вернется к зеленому, завершив цикл.

Вероятно, наиболее очевидной и широко используемой реализацией FSM в индустрии видеоигр является создание рудиментарного эффективного искусственного интеллекта. Конечное состояние может быть использовано для определения определенного поведения неигрового персонажа (NPC), такого как атака, перемещение или бег. Например, "мозг" врага может быть реализован с помощью FSM: каждое состояние представляет собой действие, например, атаку или уклонение.

Пример схемы FSM представлен на рис. 2.1.1.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Guy W. Lecky-Thompson. AI and Artificial Life in Video Games, 2014 – 1200 с.
2. Sebastiano M. Cossu. Beginning Game AI with Unity: Programming Artificial Intelligence with C#, 2015 - 800 с.
3. Aung Sithu Kyaw. Unity 4.x Game AI Programming, 2009 - 1000 с.
4. Peter L. Newton. Unreal Engine 4 AI Programming Essentials, 2011 – 410 с.
5. Арам Куксон. Разработка игр на Unreal Engine 4 за 24 часа, 2014 – 560 с.
6. Steve Rabin. AI Game Programming Wisdom 2, 2015 – 1320 с.
7. Dave Mark. Behavioral Mathematics for Game AI, 2019 – 710 с.
8. Mat Buckland. Programming Game AI By Example, 2018 – 540 с.
9. Steven Rabin. Game AI Pro: Collected Wisdom of Game AI Professionals, 2017 – 832 с.
10. Steven Rabin. Game AI Pro 2: Collected Wisdom of Game AI Professionals, 2015 – 932 с.
11. Ray Barrera. Unity AI Game Programming, 2015, 732 с.
12. Patrick Felicia. Unity from Proficiency to Mastery: Artificial Intelligence: Implement Challenging AI for FPS and RPG Games, 2020, 542 с.