Оглавление

[1. Введение 3](#_Toc19276309)

[1.1 Недостатки существующих решений и предлагаемые решения 3](#_Toc19276310)

[1.2 Постановка задачи 4](#_Toc19276311)

[1.3 Научная новизна 4](#_Toc19276312)

[2. Аналитическая часть 6](#_Toc19276313)

[2.1 Обзор исследований 6](#_Toc19276314)

[2.1.1 Бот компании OpenAI игры Dota 2 6](#_Toc19276315)

[2.1.2 Бот компании OpenAI играющий в сумо и футбол 6](#_Toc19276316)

[2.1.3 Per-Arne Andersen, Morten Goodwin, Ole-Christoffer Granmo «Deep RTS: A Game Environment for Deep Reinforcement Learning in Real-Time Strategy Games» 7](#_Toc19276317)

[2.1.4 Kun Shao, Yuanheng Zhu, Member, IEEE and Dongbin Zhao, Senior Member «StarCraft Micromanagement with Reinforcement Learning and Curriculum Transfer Learning» 10](#_Toc19276318)

[Метод обучения в микроменеджменте 17](#_Toc19276319)

[Hendrik Baier, Peter I. Cowling «Evolutionary MCTS for Multi-Action Adversarial Games» 17](#_Toc19276320)

[AlphaStar: Mastering the Real-Time Strategy Game StarCraft II 17](#_Toc19276321)

[Конструкторская часть 21](#_Toc19276322)

[Используемые методологии разработки и технологии 21](#_Toc19276323)

[Test-driven development 21](#_Toc19276324)

[C4Model 23](#_Toc19276325)

[Нотация ER-диаграмм Crow’s foot 27](#_Toc19276326)

[UML 31](#_Toc19276327)

[Используемые программные продукты и языки программирования 38](#_Toc19276328)

[Язык JavaScript 38](#_Toc19276329)

[Список литературы 40](#_Toc19276330)

[Приложение А. Техническое задание. 43](#_Toc19276331)

[Введение 43](#_Toc19276332)

[Назначение разработки 43](#_Toc19276333)

[Основание для разработки 43](#_Toc19276334)

[Требования к программе или программному изделию 43](#_Toc19276335)

[Требования к программной документации 44](#_Toc19276336)

[Стадии и этапы разработки 44](#_Toc19276337)

[Порядок контроля и приемки 44](#_Toc19276338)

[Приложение Б. Программная спецификация. 45](#_Toc19276339)

[Документация 45](#_Toc19276340)

[Компоненты 45](#_Toc19276341)

[Приложение В. Программная документация. 46](#_Toc19276342)

[Диаграмма контекста 46](#_Toc19276343)

# Введение

Адекватный игровой искусственный интеллект имеет большое значение в современных военных стратегиях, т.к. зачастую игроку очень сложно найти другого игрока для долгой совместной игры.

Ещё большую сложность представляет разработка ИИ, способного адекватно управлять армией из разнородных юнитов, передвигающихся по графу реальных дорог, учитывая множество условий: рельеф местности, ландшафт, время суток и время года, тактико-технические характеристики техники и вооружений, снабжение по дорогам и т. д. Программирование поведения армии, способной нанести поражение игроку-человеку без численного перевеса на основе жёстко заданных алгоритмов сложная задача, кроме того к такому виду ИИ гораздо проще подобрать стратегию, с помощью которой можно всегда выигрывать, такие стратегии называются доминантными.   
 Перспективным видится использование ИНС, способных к «самообучению». Искусственная нейронная сеть(ИНС, в тексте используется сокращение нейросеть) - математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. ИНС представляет из себя набор нейронов, которые представляют из себя функции с несколькими входными переменными, которые передают полученный результат следующему нейрону или наружу. ИНС является ИИ, который представляет из себя самообучающуюся программу. Программы такого типа разрабатываются в рамках машинного обучения.

Реализация игрового интеллекта на базе такой технологии в теории позволит обучить программу не только на играх с человеком (что очень медленно), а на множестве ускоренных по времени играх с самим собой. Также при достаточно длительном обучении можно получить ИИ к которому не удастся подобрать доминантную стратегию и поэтому игроку придётся лучше думать, но это также не означает что будет создан непобедимый ИИ.

## 1.1 Недостатки существующих решений и предлагаемые решения

Рассмотренные далее, решения хорошо справляются с задачей управления на графах похожих на «шахматную доску», но они не могут работать с графом дорог(картой дорог). Графы вида «шахматная доска» похожи на графы дорог, но главное отличие в том, что они не такие плотные и разветвлённые, и в качестве вершин у них клетки вместо мест стыковок дорог.

## 1.2 Постановка задачи

Целью данной работы является разработка нейронной сети, которая будет управлять различными видами войск на дорожном графе в игре «WarOnMap», ранее созданной студентами ПГТУ.

Цель нейросети: победить игрока (человека или ИИ). Для этого она будет управлять следующими типами войск: пехота, артиллерия, мотострелковые подразделения, танки и поезда для переброски на дальние расстояния. У каждого подразделения имеется запас сил, боеприпасов, еды, воды, кроме этого при ведении боя необходимо учитывать боевые характеристики: боевой дух, боевой опыт, дальность атаки, скорость передвижения. Все эти характеристики и особенности графа дорог(множество путей, разветвлённость и плотность дорог) должны приниматься во внимание нейронной сетью при достижении цели.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Исследовать применение технологий машинного обучения в играх
2. Добавить возможность играть против ИИ в игру «WarOnMap»
3. Создать ИИ-сервер, который будет создавать и управлять экземплярами нейросетей связанных с играми сокетами.
4. Сформировать критерии эффективности для нейронной сети.
5. Спроектировать нейросеть, которой на вход будет подаваться список юнитов(войск), на выходе команды для игрового сервера, которые будут применены к юнитам.
6. Создать нейросеть
7. Обучить нейросеть на самой себе или реальных игроках
8. Протестировать нейросеть на реальных игроках

## 1.3 Научная новизна

Разработанная нейронная сеть будет первой нейронной сетью решающая задачу на дорожном графе. Результаты эффективности полученной нейронной сети позволят понять возможности «обучения с подкреплением» в задачах на дорожном графе, что поможет использовать «обучения с подкреплением» в других, возможно более сложных, задачах на дорожных графах.

# 2. Аналитическая часть

## 2.1 Обзор исследований

В рамках ВКР был проведён обзор последних исследований в применении машинного обучения в играх, в том числе и игр жанра стратегий реального времени.

### 2.1.1 Бот компании OpenAI игры Dota 2

Компания OpenAI в 2019 году создала бота для игры Dota 2. Представленный бот обучался с нуля на самом себе, без имитационного обучения и поиска по дереву. [id\_2\_1\_1\_\_1]

Dota 2 — компьютерная многопользовательская командная игра в жанре многопользовательская онлайн арена(multiplayer online battle arena, сокр. MOBA), разработанная Valve Corporation. Игра представляет из себя сражение на карте, где в каждом матче участвуют две команды по пять игроков, управляющих «героями» — персонажами с различными наборами способностей. Для победы в матче команда должна уничтожить особый объект-«крепость», принадлежащий вражеской стороне, и защитить от уничтожения собственную «крепость».[id\_2\_1\_1\_\_2]

Dota 2 в режиме 1 на 1 — это сложная игра со скрытой информацией. В процессе обучения бот смог научиться планировать, атаковать, устраивать засады для своих противников, благодаря чему смог обыграть профессиональных игроков.

### 2.1.2 Бот компании OpenAI играющий в сумо и футбол

Также компания OpenAI разработала бота играющего в сумо и футбол. При разработке бота использовалось трансферное обучение(transfer learning). Суть трансферного обучения заключается в том, что для создания нового слоя нейронов мы берём копию другого слоя, который выполнял похожую задачу, и обучаем его.

Применение этого метода позволило быстрее обучить бота выполнению похожих задач. Авторы данного исследования сначала обучили сумо-бота, затем поставили ему вместо реального противника «ветер», который «дул» со случайной стороны. Даже несмотря на то, что с ветром сумо-бот никогда до этого не сталкивался, он хорошо справился со своей новой задачей.[id\_2\_1\_2\_\_1]

Также исследователями было придумано решение проблемы переобучения. Чтобы бот не переобучился в процессе игры с одним видом противников, ему давали разных противников с различными стратегиями. Каждый из этих ботов противников обучался параллельно. Получившийся бот вырабатывал общие стратегии поведения, не заточенные под конкретного противника.

### 2.1.3 Per-Arne Andersen, Morten Goodwin, Ole-Christoffer Granmo «Deep RTS: A Game Environment for Deep Reinforcement Learning in Real-Time Strategy Games»

В статье обозреваются среды для исследовании технологий машинного обучения. Были рассмотрены следующие среды(в скобках будет указана игра, на которой тестировались технологии машинного обучения)[id\_2\_1\_3\_\_1]:

* Stratagus(Warcraft 2)
* Arcade Learning Environment(Atari 2600)
* microRTS(собственная игра)
* TorchCraft(Starcraft)
* Malmo(Minecraft)
* ViZDoom(Doom)
* DeepMind Lab(головоломки и 3D-навигация)
* OpenAI Gym – набор инструментов для развития и сравнения алгоритмов машинного обучения.
* OpenAI Universe – платформа для исследования алгоритмов машинного обучения, имеет ограниченное количество сред для тестирования
* Extensive Lightweight Flexible (ELF) – первая из сред которая предназначена для игр жанра стратегий в реальном времени.
* StarCraft II Learning Environment(SC2LE)

Все перечисленные среды используют только обучение с подкреплением в качестве основной технологии машинного обучения, так же как и Deep RTS. Авторы также рассмотрели несколько наиболее успешных разработок в этой области:

* TD-Gammon – ИИ, который играет в нарды. Он был разработан Джеральдом Тесоро в 1992 в Научно-исследовательском центре Томаса Дж. Уотсона IBM[id\_2\_1\_3\_\_2, id\_2\_1\_3\_\_3]. TD-Gammon состоит из искусственной нейронной сети (ИНС) с тремя слоями и обучается с помощью метода обучения с подкреплением под названием TD-лямбда. TD-лямбда является алгоритмом учитывающим разницу во времени(TDLambda is a temporal difference learning algorithm), который был изобретен Ричардом С. Саттоном [id\_2\_1\_3\_\_4]. ИНС перебирает все возможные шаги и оценивает вознаграждение за конкретное движение, затем выбирает действие с самым высоким вознаграждением. TD-Gammon - первый ИИ, который обучается на самом себе.
* AlphaGO – первый ИИ, который победил профессионального игрока в Go. AlphaGO является фреймворком обучения с подкреплением, который использует дерево поиска Монте-Карло и две глубоких нейронных сети стоимости и стратегическую оценку.[id\_2\_1\_3\_\_5]
* DeepStack - ИИ, который играет в Техасский Холдем покер. Этот ИИ использует дерево поиска вместе с нейронными сетями для решения проблем с неполной информацией(imperfect information)[id\_2\_1\_3\_\_6]
* Бот для Dota 2. Он рассматривался ранее (см. главу «2.1.1 Бот компании OpenAI игры Dota 2»)

Игровая среда Deep RTS позволяет проводить исследования на разных уровнях сложности в планировании, реагирования и контроле. Deep RTS имеет несколько конфигурации, при этом они являются детерминированными и недолговечными. Действия в недолговечной конфигурации непосредственно применяются к среде в течение нескольких игровых кадров, что делает корреляцию между действием и вознаграждением более наблюдаемой. Авторы решили не использовать долговременные конфигурации, так как они значительно усложняют пространство состояний и время обучения.

Цель игры в Deep RTS состоит в следующем: уничтожить базу другого игрока. В распоряжении игрока один рабочий, который может построить ратушу, казарму и ферму. Ратуша является местом доставки ресурсов и позволяет создавать новых рабочих. В казармах создаются воины, которые более эффективны в бою, чем рабочие. Фермы нужны для повышения максимального количества юнитов.

Все действия в игре сводятся к трём задачам: сбор ресурсов, нападение и оборона. Это позволяет сократить количество игровых состояний, что ускоряет разработку и обучение ИИ. Deep RTS имеет несколько сценариев и позволяет создавать собственные. Представленные сценарии отличаются друг от друга количеством игроков, используемой стратегией поведения и размером карты.

Также Deep RTS имеет настраиваемый игровой таймер, который позволяет ИИ обучаться с минимальной задержкой. Это возможно благодаря тому что, можно настраивать количество тиков в секунде и каждое действие выполняется за определённое количество тиков, а не секунд. Например, для перемещения на 1 клетку нужно 10 тиков, для постройки здания 300 тиков. Также в игру был добавлен специальный алгоритм поиска путей, который называется jump-point-search, с его помощью удалось достичь почти мгновенного нахождения пути.

Поведение юнитов в Deep RTS определяется конечным автоматом. После создания юнита, он находится в состоянии ожидания, и из этого состояния он может перейти в нужное игроку или ИИ состояние.

Deep RTS управляет боевыми единицами с помощью действий, множество которых разделено на 2 абстрактных уровня:

* Первый уровень - это действия, которые непосредственно влияют на среду, например, щелчок правой кнопкой мыши, щелчок левой кнопкой мыши, перемещение влево или выбор юнита.
* Второй уровень абстракции - это действия, объединяющие действия предыдущего уровня, например, select-unit → right-click → right-click → move-left. Преимущество этой абстракции состоит в том, что алгоритмы могут фокусироваться на определенных областях внутри игрового состояния и позволяют создавать иерархические модели, каждая из которых специализируется на определённом виде задач (постройка новой базы, оборона, нападение).

Deep RTS, на момент написания статьи, была одной из самых производительных сред. Deep RTS могла обновлять игру 7 000 000 раз в секунду (на самой маленькой карте 10 на 10 клеток), тогда как ELF только 36000[id\_2\_1\_3\_\_6] и microRTS 11500[id\_2\_1\_3\_\_7]. Таких выдающихся результатов в производительности удалось достичь благодаря настраиваемому таймеру и специальному алгоритму поиска путей jump-point-search.

Среда Deep RTS хорошо справляется со своей задачей, но у неё есть недостаток – не может работать с дорожным графом.

### 2.1.4 Kun Shao, Yuanheng Zhu, Member, IEEE and Dongbin Zhao, Senior Member «StarCraft Micromanagement with Reinforcement Learning and Curriculum Transfer Learning»

В данной статье авторы используют технологии машинного обучения для управления армией в игре Starcraft. Разработанный ИИ управлял группой одинаковых юнитов на определённой местности.

#### Постановка задачи и предпосылки

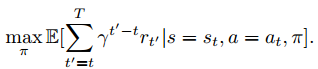
Боевой сценарий с несколькими юнитами аппроксимируется как игра Маркова, мультиагентным расширением марковских процессов принятия решений (Markov decision processes, MDP) [Id\_2\_4\_1], [Id\_2\_4\_2], [Id\_2\_4\_3]. В марковской игре с N агентами, набор состояний S используется для описания свойств всех агентов, и среды, а также набора действий A1, ..., AN и наблюдений O1, ..., ON для каждого агента.

В бою юниты c каждой стороны должны взаимодействовать друг с другом. Разработка модели обучения для нескольких подразделений является сложной задачей в микроуправлении. Чтобы поддерживать гибкую структуру и управлять произвольным количеством юнитов, авторы сделали так, что каждый юнит имеют доступ к пространству состояний S из собственного наблюдения за текущим боем, рассматривая других юнитов как часть среды S → Oi(где i – индекс текущего юнита). Каждый юнит взаимодействует в бою исходя из своих наблюдений и действий. S×A1 ×, ..., × AN → S′ обозначает переход из состояния S в следующее состояние S′ с действиями всех подразделений, а R1 ... RN - сгенерированные вознаграждения каждого юнита. Что касается много-агентной кооперации, эта политика распространяется среди всех юнитов. Цель каждого юнита - максимизировать его общий ожидаемый результат.

Чтобы решить проблему мультиагентного управления в микроменджменте StarCraft, авторы использовали обучение с подкреплением(reinforcement learning, RL). Обучение с подкреплением - это тип алгоритмов машинного обучения, в котором агенты учатся методом проб и ошибок и определяют идеальное поведение на основе своего собственного опыта работы с окружающей средой [24].

Процесс взаимодействия агент-среда в RL сформулирован как процесс принятия решений Маркова. Агент в состоянии **S** выполняет действие **A** согласно политике **π**.

Такое поведение применяет вознаграждение **r** и переводит в новое состояние **S0**. Далее определяется будущий дисконтированный результат в момент времени **t** как , где **T** - конечный временной шаг, а **γ** ∈ [0, 1] - коэффициент дисконтирования, который определяет важность будущих вознаграждений. Цель модели RL состоит в том, чтобы изучить оптимальную политику **π**, которая определяет вероятность выбора действия **a** в состоянии **s**, чтобы сумма всех дисконтированных вознаграждений была максимизирована, как показано

(1)

Далее авторы провели обзор имеющихся на тот момент технологий обучения с подкреплением:

1. RL алгоритм «обучение с разницей во времени» ( temporal difference (TD) learning), который представляет из себя комбинацию метода Монте-Карло и метода динамического программирования. TD алгоритм может учиться на основе необработанного опыта без модели среды и обновлять оценки на основе части последовательности, не дожидаясь окончательного результата [25]. Наиболее широко известными алгоритмами обучения TD являются Q-learning и Sarsa:
   1. Q-learning. Он оценивает ценность совершения действия в данном состоянии и итеративно обновляет оценку Q-значения в соответствии с наблюдаемым вознаграждением. Ошибка TD δt в Q-обучении вычисляется как δt = r t+1 + γ max Q (st+1, a) - Q (st, at) (2). Q-learning - это метод обучения вне политики, это означает, что он изучает различные политики сравнивая с одним выбранным действием.
   2. Sarsa - это метод, основанный на политике, что означает, что политика используется как для выбора действий, так и для обновления предыдущего значения Q [24]. Правило обновления Sarsa демонстрируется как

δt = rt+1 + γQ(s t+1, a t+1) − Q(st , at) , (3a)

Q(st+1 , at+1) = Q(st , at) + αδt , (3b)

где α - скорость обучения.

1. Обучению с подкреплением с глубокой нейронно-сетевой(deep neural networks, DRL) функцией апроксиматора. DRL предоставляет возможность обучить одного агента для решения ряда задач на уровне человека сквозным способом [30] [31]. Как самый известный алгоритм DRL, глубокая Q-сеть (deep Q-network(DQN)) использует технику воспроизведения опыта и целевую сеть для удаления корреляций между выборками и стабилизации процесса обучения [5]. За последние несколько лет мы стали свидетелями большого числа улучшений DQN, включая двойное DQN [32], приоритетное DQN [33], дуэльное DQN [34], распределенное DQN [35] и асинхронное DQN [36].

Помимо основанных на значениях методов DRL, таких как DQN и его вариантов, методы DRL на основе политики используют глубокие сети для параметризации и прямой оптимизации политики [37]. Глубокий детерминированный градиент политики (Deep deterministic policy gradient, DDPG) - это непрерывный аналог DQN, который использует критику для оценки ценности текущей политики и актёра для обновления политики [38]. Методы DRL на основе политик играют важную роль в непрерывном контроле, включая асинхронно преимущественная критика актёра (asynchronous advantage actor-critic (A3C)) [36], оптимизацию политики в области доверия (trust region policy optimization , TRPO) [39], оптимизацию проксимальной политики (proximal policy optimization, PPO) [40] и так далее.

Традиционные DRL методы имеют слишком высокую сложность, из-за чего они не применимы в реальных приложениях. Тем не менее они широко используются в сенсомоторном управлении.

1. Поиск руководствующих политик (GPS) использует контролируемый алгоритм обучения для тренировки политике и алгоритм RL генерирует руководящие распределения(guiding distributions), что позволяет эффективно обучать глубоким политикам [41]. Исследователи также предложили некоторые другие основанные на модели методы DRL, такие как нормализованные функции (normalized advantage functions, NAF) [42] и встраивание в контроль (embed to control, E2C) [43].

Многоагентное обучение с подкреплением тесно связанно с областью работы авторов исследования[44]. Многоагентная система включает несколько агентов, взаимодействующих в одной среде [45] [46]. Недавно были предложены некоторые алгоритмы обучения с многоагентным подкреплением с глубокой нейронной сетью для обучения коммуникации [47], кооперативно-конкурентному поведению [23] и несовершенной информации [48]. Авторы используют многоагентный метод обучения с подкреплением с политикой разделения между агентами для изучения кооперативного поведения. Агенты разделяют параметры централизованной политики и одновременно обновляют политику в соответствии с собственным опытом. Этот метод может обучать гомогенных агентов более эффективно [49].

Для более быстрого обучения похожим задачам, авторы использовали трансферное обучение(transfer learning, TL). Суть трансферного обучения заключается в том, берётся слой нейронов выполняющий определённую задачу, этот слой копируется (вместе со всеми весами), далее копия будет выполнять другую, но похожую задачу. Применение этого метода позволяет гораздо быстрее обучать нейросеть новым задачам чем, если бы нейросеть обучалась с нуля.

Также авторами был использован метод обучения по плану (curriculum learning). Согласно этому методу нейросеть сначала обучается более простым задачам, которые необходимо выполнить для достижения конечной цели[53]. Авторы статьи приняли решение использовать комбинацию двух предыдущих методов под названием плановое трансферное обучение(curriculum transfer learning , CTL), который хорошо себя показал на практике[54], [55], [56]

Наиболее удобный метод использования CTL - это сначала освоение простых сценариев, а затем решение сложных сценариев на основе полученных знаний. Изменяя количество и типы юнитов, можно контролировать сложность микроуправления. Таким образом, авторы исследования использовали CTL для обучения юнитов с помощью последовательности постепенно усложняющихся сценариев.

#### Представление состояния игры

Представление состояний игры в StarCraft остается открытой проблемой без универсального решения. Оно строится из входных данных из игрового движка, которые имеют разные типы данных и разные степени свободы, как показано в таблице 1. Чтобы решить эту проблему авторы предлагают собственный метод решения. Предложенный метод представления состояния эффективен и не зависит от количества юнитов в бою. Таким образом, представление состояния состоит из трех частей: информация о состоянии текущего шага, информация о состоянии последнего шага и действия последнего шага.(см. рис. 1)

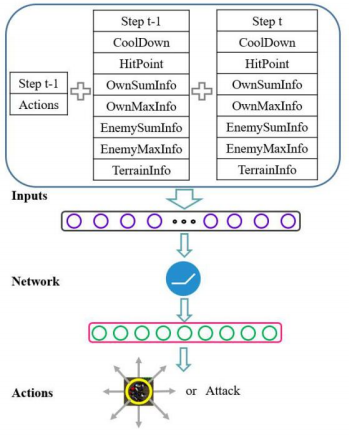


Рисунок 1. Представление модели обучения одного юнита в сценарии микроуправления StarCraft. Представление состояния состоит из трех частей и нейронная сеть используется как аппроксиматор функции. Сеть выводит вероятности движения в 8 направлениях и атаки.

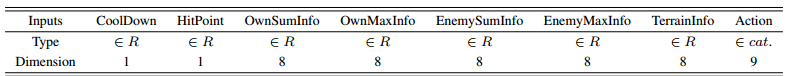


Таблица 1. Типы данных и размерность модели. R – число с плавающей запятой, cat – категория действия, является одним из 8 направлений движения или атакой

Информация о текущем шаге состояния включает в себя: время перезарядки оружия(CoolDown), количество очков здоровья(HitPoint), информацию о расстояниях до своих юнитов, информацию о расстоянии до вражеских юнитов и информацию о расстоянии объектов местности. Информация о состоянии последнего шага совпадает с текущим шагом(если обучение только началось). К сведению принимается последнее действие, которое оказалось полезным для процесса обучения.

Все входы с типом «число с плавающей точкой» нормированы по их максимальным значениям. Среди них CoolDown и HitPoint имеют 1 степень свободы для каждого. Авторы делят боевую карту на 8 секторов в среднем и вычисляют информацию о расстояниях в каждой области. Информация о расстоянии между единицами указана следующим образом:

* OwnSumInfo: расстояния между собственными юнитами суммируются в каждой области;
* OwnMaxInfo: расстояния между собственными подразделениями максимизированы в каждой области;
* EnemySumInfo: расстояния между вражескими подразделениями суммируются в каждой области;
* EnemyMaxInfo: расстояния между вражескими подразделениями максимизированы в каждой области.

Если юнит находится вне зоны видимости центрального юнита D, значение расстояния юнита устанавливается на 0,05. В противном случае значение является линейным с d, расстояние до центрального юнита, как показано в уравнении (4).



Кроме того, значение расстояния до объектов местности рассчитывается также в 8 секторах. Если препятствие находится вне зоны видимости центрального юнита, значение устанавливается равным 0. В противном случае значение также является линейным с расстоянием до центрального юнита, как показано в уравнении (5).



Таким образом, информация о состоянии текущего шага имеет 42 измерения. Действие последнего шага имеет 9 измерений, причем для выбранного действия задано значение 1, а для других действий - 0. В общем, в представление состояния в нашей модели встроено 93 измерения.

#### Определение действия

В сценариях микроуправления StarCraft исходное пространство действий очень велико. На каждом временном шаге каждый юнит может перемещаться в произвольных направлениях и с произвольными расстояниями на карте. Когда юнит атакует, он может выбрать любого вражесого юнита в радиусе действия своего оружия. Чтобы упростить пространство действий, авторы решили ограничить передвижение юнита 8-ю направлениями с фиксированным расстоянием и при атаке выбирать только самых слабых Когда выбрано передвижение в определённом направлении, юнит повернётся в одно из 8 направлений: вверх, вниз, влево, вправо, вверху слева, вверху справа, внизу слева, внизу справа и переместится на фиксированное расстояние. Когда выбрана атака, юнит остановится и будет атаковать врагов. Авторы решили в качестве цели выбирать цель с самым низким уровнем здоровья в радиусе действия оружия. Согласно результатам эксперимента, этих действий достаточно, чтобы эффективно управлять юнитами в игре.

#### Архитектура нейросети

Поскольку опыт наших юнитов имеет ограниченное подмножество большого пространства состояний, и большинство тестовых состояний никогда не исследовались заранее, будет трудно применить таблицу обучения с подкреплением для изучения оптимальной политики. Чтобы решить эту проблему, мы используем нейронную сеть, параметризованную вектором θ, для аппроксимации значений действия состояния для улучшения обобщения нашей модели RL.

Ввод сети - тензор с 93 измерениями из представления состояния игры. Нейросеть авторов имеет 100 нейронов в скрытом слое, где используется функция активации «усеченное линейное преобразование» (rectified linear unit, ReLU) для нелинейности сети, которая выражается формулой

f(z) = max (0, z), (6)

где z - выход скрытого слоя. Авторы исследования решили использовать функцию ReLU, а не функцию sigmoid или tanh, потому что функция ReLU не имеет проблемы градиентного спуска, что может гарантировать эффективное обучение модели [59]. В отличие от этих насыщающих функций нелинейности, таких как sigmoid или tanh, функция ReLU является ненасыщенной нелинейной функцией. С точки зрения времени обучения с градиентным спуском ненасыщенная нелинейная намного быстрее [60].

Выходной слой нейронной сети имеет 9 нейронов, который выдаёт вероятность движения в 8 направлениях и атаки. Модель обучения одного юнита в сценариях микроуправления StarCraft, включает представление состояния, архитектуру нейронной сети и выходные действия, изображенные на рис. 1.

#### Метод обучения в микроменеджменте

В этой рассматриваемой статье авторы формулируют задачу микроуправления как многоагентную модель обучения с подкреплением. Предлагается метод многоагентного градиентно-спуска Сарса (λ)с разделением параметров(parameter sharing multi-agent gradient-descent Sarsa, PS-MAGDS) для обучения модели, и конструируется функцию вознаграждения в качестве внутренней мотивации для продвижения процесса обучения. Вся схема PS-MAGDS обучения с подкреплением изображена на рис. 2.

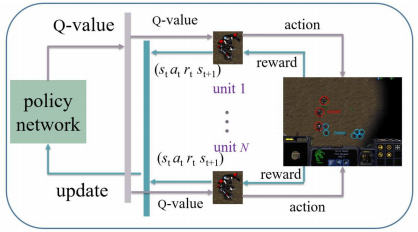


Рис. 4. Диаграмма обучения с подкреплением PS-MAGDS в сценариях микроуправления StarCraft.

#### Parameter Sharing Multi-agent Gradient-Descent Sarsa(λ)

Авторы предлагают RL-алгоритм с несколькими агентами, который расширяет традиционный Сарса алгоритм (λ) до нескольких единиц, разделяя параметры сети политики между нашими юнитами. Чтобы ускорить процесс обучения и решить проблему отсроченных вознаграждений, используются приемлемые черты(eligibility traces) в обучении с подкреплением. В качестве основного механизма в RL, приемлемые черты используются для назначения временного вознаграждения, который учитывает набор ранее испытанных переходов [61].

Алгоритм учитывает не только значение последней пары состояние-действие, но и уже посещенных. С помощью этого метода мы можем решить проблему отсроченного вознаграждения в игровой среде. Сарса с приемлемыми чертами, называемая Сарса (λ), является одним из способов усреднения резервных копий(backups), сделанных после нескольких шагов. λ является фактором, который определяет вес каждой резервной копии.

В реализации Sarsa (λ) для битв нескольких юнитов, используется нейронная сеть в качестве аппроксиматора функции, и параметры сети разделяются между всеми юнитами. Хотя есть только одна сеть для обучения, подразделения могут вести себя по-разному, потому что каждый юнит получает разные наблюдения и действия в качестве входных данных.

Для эффективного обновления политик сети авторы статьи используют метод градиентного спуска для обучения модели обучения с подкреплением Сарса (λ). Обновление модели с градиентным спуском продемонстрировано в уравнении (7),

δt = rt+1 + γQ(st+1, at+1; θt) − Q(st, at; θt) (7a)

θt+1 = θt + αδtet (7b)

et = γλet−1 + ∇θtQ(st, at; θt), e0 = 0 (7c)

### Hendrik Baier, Peter I. Cowling «Evolutionary MCTS for Multi-Action Adversarial Games»

### AlphaStar: Mastering the Real-Time Strategy Game StarCraft II

Машинное обучение успешно применяется в играх разных жанров. Например, компания OpenAI создала бота для игры Dota 2[1], который победил профессиональных игроков. Представленный бот обучался с нуля, играя сам с собой, постепенно он смог научиться адекватно реагировать на нестандартные ситуации, что и помогло ему обыграть профессиональных игроков.

Кроме этого бота были разработаны боты для забивания голов, защиты футбольных ворот и игры в сумо[2]. Разработанные боты обучались на агентах с различным поведением, чтобы получить более универсальных ботов, также это позволило избежать переобучения. Авторы также протестировали методику трансферного обучения на сумо-боте, которому дали задачу оставаться в центре ринга при наличии ветра, который дул со случайной стороны и различной силой. Суть трансферного обучения заключается в том, что для создания нового слоя нейронов мы берём копию другого слоя, который выполнял похожую задачу, и обучаем его. В результате сумо-бот хорошо справился с задачей, несмотря на то, что с ветром до этого он не сталкивался.

На данный момент наибольших успехов в применении машинного обучения в задачах управления войсками добились: Per-Arne Andersen, Morten Goodwin, Ole-Christoffer Granmo создав игру Deep RTS для исследования технологий машинного обучения[3]; Kun Shao, Yuanheng Zhu и Dongbin Zhao в своей работе использовали постепенное трансферное обучения для обучения нейросетей управлению боевыми единицами в игре StarCraft[4]; Hendrik Baier, Peter I. Cowling использовали эволюционный вариант алгоритма Монте-Карло для более быстрого обучения нейросети в пошаговой стратегии Hero Academy[5]; компания Deepmind создала нейросеть под названием «AlphaStar» для игры Starcraft 2, которая смогла обыграть двух профессиональных игроков со счётом 5:0[6];

Deep RTS[3] - это высокопроизводительная RTS-игра, созданная специально для исследований в области искусственного интеллекта. В данной стратегии игроку нужно добывать ресурсы, строить базу и армию для победы. Она поддерживает ускоренное обучение, что означает, что она может учиться в 50 000 раз быстрее по сравнению с существующими RTS играми. Такого эффекта разработчики добились за счёт того, что Deep RTS использует краткосрочные конфигурации при обучении и имеет возможность настраивать игровой таймер. Действия в краткосрочной конфигурации непосредственно применяются к среде в течение следующих нескольких игровых кадров. Это делает корреляцию между действием и вознаграждением более наблюдаемой. Долгосрочная конфигурация значительно усложняет пространство состояний, потому что чем больше временной промежуток, тем больше возможных вариантов событий может произойти. Игровой таймер включает в себя множитель, который позволяет регулировать количество тиков, равное секунде, что позволяет, по сути, ускорять или замедлять время в игре, а следовательно и влиять на скорость обучения.

Kun Shao, Yuanheng Zhu и Dongbin Zhao в своей работе[4] использовали комбинацию двух подходов трансферного обучения(Transfer Learning) и постепенного обучения(Curriculum Learning) для более быстрого обучения нейронной сети, которая управляла армией в игре Starcraft. Применение трансферного обучения позволило обучить новые слои нейросетей обучается в 10 раз быстрее, чем если бы они создавали их заново(300 тренировок против 3000). Постепенное обучение представляет из себя обучение определённой последовательности постепенно усложняющихся задач, которые помогут в достижении конечной цели. Совмещение двух подходов позволило разработчикам достаточно быстро обучить нейросеть управлять различными видами боевых единиц и кроме того вероятность победы достаточна высока при произвольном количестве боевых единиц(выше 80%)

Hendrik Baier и Peter I. Cowling в своей работе[5] рассмотрели улучшенный вариант алгоритма поиска дерева решений Монте-Карло(Monte-Carlo tree search, MCTS) — это эволюционный MCTS (evolutionary MCTS, EMCTS). MCTS используется для поиска оптимального решения и регулирования параметров нейронной сети. EMCTS отличается от классического MCTS тем, что он использует эволюционные алгоритмы для более быстрого поиска решения, суть которых заключается в том что выбирается действие давшее больший результат в текущем состоянии. MCTS строит полное дерево решений и только после этого оценивает полезность каждого узла, а EMCTS в процессе построения строит дерево, в котором остаются только те узлы, которые принесли наибольшую выгоду. EMCTS согласно результатам исследования хорошо масштабируется и показывает себя лучше чем MCTS на таких сложных играх как стратегии. EMCTS тестировался только на пошаговой стратегии Hero Academy. Авторы отмечают, что данный алгоритм этот алгоритм может хорошо себя показать в более сложных играх, таких как XCOM или Civilization.

Компания Deepmind создала нейросеть под названием «AlphaStar»[6]. AlphaStar использует мультиагентный процесс обучения с подкреплением. Суть этого подхода в том, что сначала создаётся несколько агентов и они обучаются друг на друге какое-то время, затем на их основе создаются новые. Из новых агентов формируется лига внутри которой они сражаются между собой. Для большего охвата различных стратегий, каждому новому агенту ставили свою цель(например, научиться обыгрывать конкретного агента или группу агентов). Скомбинировав различных агентов с наиболее эффективными стратегиями, которые получились при применении такого подхода, разработчикам удалось добиться победы ИИ над игроками.

# Конструкторская часть

## Используемые методологии разработки и технологии

### Test-driven development

**Test-driven development, или TDD** (**разработка через тестирование)** — техника разработки программного обеспечения, которая предполагает сначала написание теста для нового кода, а затем самого кода с дальнейшем тестированием. [28]

**Цикл разработки** через тестирование:

1. Добавление теста.

Сначала нужно написать тест, в который входит описание ,где указывается какой функционал тестируется и каким должно быть поведение, и проверка.

1. Запуск теста.

Новый тест не должен проходиться, так как функционал не написан. Запуск проводиться для проверки работоспособности тестов.

1. Написание кода.

Далее пишется функциональность, которая была ранее описана.

1. Повторный запуск. Проверка функционала.

Запустив тест, программист убедиться, что нужный функционал работает и соответствует требованиям.

1. Рефакторинг.

На этом этапе можно спокойно править код и, запустив тесты, можно будет убедиться в его работоспособности или неработоспособности.

Важное замечание: написанные тесты не гарантируют, что тест действительно тестирует то, для чего он был разработан. Возможна такая ситуация, что тест проверяет не все ситуации, которые могут возникнуть.

**Плюсы технологии**:

* Этот метод позволяет избежать множества ошибок, особенно на ранних этапах. Также TDD препятствует возникновению дорогостоящих ошибок, которые могут возникнуть на поздних этапах разработки.
* Добавляя новую функциональность, риск испортить старый функционал очень мал. Чтобы этот риск был низким код должен быть полностью покрыт тестами, то есть для каждой функциональной единицы должен быть как минимум один тест. Это позволит при тестировании сразу увидеть, где ошибка.
* TDD способствует разработке более модульного, гибкого и расширяемого кода. Это связано с тем, что при этой методологии разработчику необходимо думать о программе как о множестве небольших модулей, которые написаны и протестированы независимо и лишь, потом соединены вместе. Это приводит к меньшим, более специализированным классам, уменьшению связанности и более чистым интерфейсам.
* Тесты могут использоваться в качестве документации. Хороший код расскажет о том, как он работает, лучше любой документации. Документация и комментарии в коде могут устаревать. Это может сбивать с толку разработчиков, изучающих код. А так как документация, в отличие от тестов, не может сказать, что она устарела, такие ситуации, когда документация не соответствует действительности — не редкость.

**Минусы технологии**:

* Существуют задачи, которые невозможно (по крайней мере, на текущий момент) решить только при помощи тестов. В частности, TDD не позволяет механически продемонстрировать адекватность разработанного кода в области безопасности данных и взаимодействия между процессами. Безусловно, безопасность основана на коде, в котором не должно быть дефектов, однако она основана также на участии человека в процедурах защиты данных. Тонкие проблемы, возникающие в области взаимодействия между процессами, невозможно с уверенностью воспроизвести, просто запустив некоторый код.
* Разработку через тестирование сложно применять в тех случаях, когда для тестирования необходимо прохождение функциональных тестов. Например, разработка интерфейса пользователя или СУБД, в которой работа будет зависеть от конфигурации сети.
* Требуется больше времени на разработку и поддержку
* Большое количество используемых тестов может создать ложное ощущение надежности, приводящее к меньшему количеству действий по контролю качества.
* Тесты сами по себе являются источником накладных расходов. Плохо написанные тесты, например, содержат жёстко вшитые строки с сообщениями об ошибках или подвержены ошибкам, дороги при поддержке. Чтобы упростить поддержку тестов, следует повторно использовать сообщения об ошибках из тестируемого кода.
* Уровень покрытия тестами, получаемый в результате разработки через тестирование, не может быть легко получен впоследствии. Исходные тесты становятся всё более ценными с течением времени. Если неудачные архитектура, дизайн или стратегия тестирования приводят к большому количеству непройденных тестов, важно их все исправить в индивидуальном порядке. Простое удаление, отключение или поспешное изменение их может привести к необнаруживаемым пробелам в покрытии тестами.

Данная технология разработки была выбрана по **следующим причинам**:

* Позволяет избежать ошибок на ранних и последующих этапах. Данный микро-сервис будет разрабатываться на javascript, из-за того что он динамически типизированный могут возникнуть различные ошибки, которые без тестов будут заметны только при запуске системы. Например, опечатки или передача аргумента не того типа, на такие ошибки динамически типизированные языки не обращают внимания.
* TDD способствует разработке более модульного, гибкого и расширяемого кода. Код, разделённый на модули, легче тестировать и эти тесты дают уверенность в том, что когда модули будут объединены в единую систему, то всё заработает.
* Тесты могут использоваться в качестве документации. Это значительно ускорит ознакомление новых программистов с системой.

### C4Model

C4Model представляет из себя несколько диаграмм: диаграмма контекста (Context diagram), диаграмма контейнеров (Container diagram), диаграмма компонентов (Component diagram), диаграмма классов (Class diagram). [29]

1. **Диаграмма контекста**.

**Рассматриваемая область**: программные системы и их взаимодействие, люди, взаимодействующие с разрабатываемой системой.

**Основные элементы**: программные системы, пользователи, взаимодействия пользователей и программных систем.

**Вспомогательные элементы:** Люди и программные системы напрямую связанные с разрабатываемой системой.

**Предполагаемая аудитория**: Все, включая людей, которые не являются разработчиками. Например, заказчик или инвестор.

Диаграмма не должна содержать информацию об используемых технологиях, это будет указано на следующей диаграмме.

На схеме должны быть показаны: программные системы в виде прямоугольников, пользователи в виде человечков, связи с описанием воздействия. Внутри каждого элемента сначала указывается название, затем ниже в квадратных скобках тип элемента(программная система, пользователь и т.д), и в конце описание. Ниже будет приведён пример диаграммы контекста для интернет-банкинга (см. рис 1).



Рисунок 2. Пример диаграммы контекста для интернет-банкинга

1. **Диаграмма контейнеров**

Под контейнером понимается то, что можно развернуть отдельно от других компонентов системы. Например, веб-приложение, база данных.

**Рассматриваемая область**: комплекс взаимодействующих контейнеров и программных систем.

**Основные элементы**: контейнеры в разрабатываемой системе.

**Вспомогательные элементы:** Люди и программные системы, взаимодействующие с контейнерами.

**Предполагаемая аудитория**: Разработчики, архитекторы ПО, вспомогательные сотрудники.

На этой диаграмме в каждом контейнере указывается используемая технология в строке с типом элемента следующим образом: [Container:<Используемая технология>]. На связях указывается способ, технология или при помощи чего будет происходить взаимодействие в виде: <Как взаимодействует>(<При помощи чего>). Ниже показан пример диаграммы контейнеров для интернет-банкинга(см. рис 2).



Рисунок 3. Диаграмма контейнеров для интернет-бакинга

1. **Диаграмма компонентов**

Для каждого контейнера нужно составлять эту диаграмму. На ней будет показано, из каких компонентов состоит контейнер и как они взаимодействуют. Также нужно указать взаимодействия с другими контейнерами.

**Рассматриваемая область**: один контейнер.

**Основные элементы**: компоненты контейнера.

**Вспомогательные элементы:** Люди, программные системы и контейнеры, взаимодействующие с данным контейнером и его компонентами.

**Предполагаемая аудитория**: Архитекторы и разработчики программного обеспечения.

Ниже показан пример диаграммы компонентов для контейнера API Application(см. рис 3).

****

Рисунок 4. Диаграмма компонентов для контейнера API Application

1. **Диаграмма классов**

Затем для каждого компонента строится диаграмма класса. Здесь показывается, как компонент будет выглядеть в коде, для этого можно использовать UML или другую подобную технологию. Я использовал диаграммы классов UML, об этом будет сказано ниже.

**Рассматриваемая область**: один компонент.

**Основные элементы**: Элементы кода (например, классы, интерфейсы, объекты, функции, таблицы базы данных и т. д.) В рамках компонента в области.

**Предполагаемая аудитория**: Архитекторы и разработчики программного обеспечения.

Данная технология разработки была выбрана по следующим причинам:

* Использование этих диаграмм позволяет структурировать информацию о разрабатываемом продукте в виде понятном разработчику, его команде и его заказчику (относится только к диаграмме контекста).
* Эти диаграммы позволяют программистам разных категорий понять суть работы системы, не углубляясь в детали.
* Нарисованные диаграммы позволяют увидеть систему целиком и отдельно рассмотреть какую-то её часть, что очень сложно сделать без диаграмм, просто заглядывая в код.

### Нотация ER-диаграмм Crow’s foot

Существуют две нотации дляER-диаграмм: нотация Чена и нотация Crow’s foot[11]. Далее я опишу обе нотации, и затем объясню, почему была выбрана нотация Crow’s foot.

**Crow’s foot (англ. Воронья лапа)** — нотация диаграмм отношений сущностей, где отношения показываются с помощью линий, с указанием названия связи над линией и количественных отношений на концах линии. Это одна из наиболее распространенных нотаций. [30]

В нотации Crow’s foot есть следующие элементы:

1. **Сущность**(Entity). Объект, который хранит в себе нужные вам данные (строки, числа, даты и так далее). Чтобы показать поле первичным ключом, нужно перед названием поставить звёздочку(\*).
2. **Отношения**(Relationship). Показывают связи между сущностями. На схеме показывается простой линией с названием связи над линией.
3. **Мощность**(Cardinality) и **модальность**(Modality). Под мощностью понимается, что, в сущности, может быть несколько экземпляров другой сущности. Под модальностью понимается, что, в сущности, может быть один или не одного экземпляра другой сущности. Чтобы показать мощность или модальность рисуется линия с указанием количества экземпляров на конце. Если количество сущностей равно 1, то рисуется вертикальная линия, если может быть равным 0, то рисуется кружок. Чтобы показать что количество экземпляров может быть больше одного нужно нарисовать воронью лапу, состоящую из 3 пальцев (поэтому нотация и называется «Вороньей лапой»)

Чтобы было проще понять, как элементы должны выглядеть, ниже будет картинка с примерами.



Рисунок 5. Примеры элементов нотации Crow’s foot

На рисунке будут показаны примеры сущностей и отношений. Рисунок сделан в программе “Visio 2016” и есть отличие в обозначении поля с первичным ключом. В Visio первичный ключ обозначается как квадрат с надписью «PK»(primal key). На картинке слева в прямоугольнике указан тип отношения, справа сущности и связь между ними.Чтобы рисунок не занимал слишком много места, только вначале будет показан пример сущностей со всеми полями, далее будет только сокращённая версия без свойств и полей.

**Нотация Чена(англ. Chen notaion)** — нотация в которой отношения показываются с помощью ромба, соединённого линиями с сущностями. [31]

В нотации Чена есть те же элементы, что и в нотации Crow’s foot, но есть отличия:

1. Сущность. На схеме изображается в виде прямоугольника с названием в центре. К нему подсоединяются свойства, которые показываются как овалы с названиями в центре. В нотации Crow’s foot свойства находятся внутри сущности и разделены линией.
2. Отношения. Изображаются ромбом, соединённым линиями с сущностями, Внутри ромба находится название связи.
3. Мощность и модальность. Указываются на линиях, которые подсоединены к ромбу. Вместо обозначений вроде не закрашенного кружка или «Вороньей лапы» линии используются числовое обозначение.

Помимо этого в рассматриваемой нотации дополнительные элементы, которых нет в Crow’s foot:

1. Есть ещё два вида сущности
   1. Слабая сущность (Weak entity) — объект, который не может быть однозначно идентифицирован только по его атрибутам. Существование слабого объекта зависит от другого объекта, называемого сущностью владельца. Идентификатор слабого объекта представляет собой комбинацию идентификатора объекта владельца и частичного ключа слабого объекта. Обозначается как прямоугольная рамка с названием сущности в центре.
   2. Ассоциативный объект (Associative entity) - объект, используемый в отношении «многие ко многим» (представляет собой дополнительную таблицу). Обозначается как прямоугольник с ромбом в центре, внутри которого находится название сущности.
2. Существует несколько видов атрибутов:
   1. Ключевой атрибут выглядит как обычное свойство, только название внутри подчёркивается.
   2. Атрибут частичного ключа (дискриминатор) (Partial key attribute (discriminator)) - атрибут, который в сочетании с ключевым атрибутом объекта владельца предоставляет уникальную идентификацию для слабого объекта. Этот элемент изображается как обычное свойство, в котором название подчёркивается пунктирной линией.
   3. Многозначный атрибут (multivalued attribute) - атрибут, который может иметь много значений (для него есть много разных значений в одном столбце таблицы). Многозначный атрибут изображается овальной рамкой с названием в центре.
   4. Производный атрибут (или вычисленный атрибут)(derived attribute (or computed attribute)) - атрибут, значение которого вычисляется (выводится) из других атрибутов. Полученный атрибут может или не может быть физически сохранен в базе данных. Данный элемент обозначается овалом, граница которого изображена пунктирной линией)
3. Есть второй вид отношений:
   1. Слабое (идентифицирующее) отношение(weak (identifying) relationship) — отношение, в котором дочерняя сущность зависит от родителя, и первичный ключ взят из родительской сущности.
4. Есть необязательное отношение. На рисунке изображается пунктирной линией.
5. Существует ограничения участия. Сущности могут участвовать в отношении полностью или частично.
   1. Полное участие. Означает, что каждая сущность участвует в отношении. Например, каждого студента обучает преподаватель.
   2. Не полное (частичное) участие. Означает, что не каждая сущность может участвовать в отношении. Например, преподаватель обучает студента, но могут быть преподаватели, которые не имеют учеников.

На следующей странице будут показаны примеры элементов нотации Чена.



Рисунок 6. Примеры элементов нотации Чена

Теперь сравним рассмотренные нотации. Нотация Чена имеет больше видов элементов, что позволит подробнее описать базу данных, но для небольших баз данных это лишнее. ER-диаграмма в нотации Чена будет больше по размеру и выглядеть она будет более сложной для восприятия.

Я выбрал нотацию Crow’s foot, потому что итоговая схема будет более компактной и простой, чем в случае использовании нотации Чена. Также не весь функционал нотации Чена мне будет нужен, и ещё при использовании нотации Чена нужно было бы позаботиться о более-менее красивом расположении свойств, что занимает определённое время, в случае с Crow’s foot таких проблем нет.

### UML

**UML** (англ. Unified Modeling Language — унифицированный язык моделирования) — язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, моделирования бизнес-процессов, системного проектирования и отображения организационных структур. [32]

В этот язык входит множество диаграмм(чтобы не было неоднозначности с названиями в скобках будет указано название на английском языке):

* **Структурные диаграммы(Structure Diagrams):**
  + **Диаграмма классов (Class diagram).** Содержит в себе классы, их методы, поля и взаимосвязи.[33]
  + **Диаграмма компонентов (Component diagram).** Содержит в себе компоненты программной системы. Компонента – всё что можно развернуть (поставить, установить) отдельно от других частей системы (например, модуль, библиотека, веб-приложение и так далее).[34]
  + **Диаграмма композитной/составной структуры (Composite structure diagram).** Данная диаграмма показывает внутреннюю структуру и взаимодействие внутренних элементов класса.[35]
  + **Диаграмма развёртывания (Deployment diagram).** На этой диаграмме показываются компоненты, которые нужно установить, чтобы разрабатываемая система заработала.[36]
  + **Диаграмма объектов (Object diagram).** В этой диаграмме показывают экземпляры классов и отношения между ними в какой-то момент времени.[37]
  + **Диаграмма пакетов (Package diagram).** На этой диаграмме показываются пакеты, связи и зависимости между ними. Пакет – это группа моделей (классов, сущностей, случаев использования и т.д).[38]
* **Диаграммы поведения (Behavior Diagrams):**
  + **Диаграмма деятельности (Activity diagram).** Она отображает действия, которые описаны в диаграмме состояний.[39]
  + **Диаграмма состояний (State Machine diagram).** На данной диаграмме изображается конечный автомат.[40]
  + **Диаграмма вариантов использования (Use case diagram).** На этой диаграмме показываются актёры(люди, исполняющие определённую роль) и их действия на описываемую систему, которые изменяют состояние системы.[41]
  + **Диаграммы взаимодействия (Interaction Diagrams):**
    - **Диаграмма коммуникации/кооперации (Communication diagram)**. Содержит взаимодействия между частями композитной структуры или ролями кооперации. На этой диаграмме указываются отношения между объектами и не указывают время для измерения работы, как на диаграмме последовательности.[42]
    - **Диаграмма обзора взаимодействия (Interaction overview diagram)**. Данная диаграмма представляет из себя комбинацию диаграмм деятельности и диаграмм последовательности. Представляет из себя диаграммы последовательности, разбитые на отдельные диаграммы деятельности. С помощью этой диаграммы можно показать поток управления.[43]
    - **Диаграмма последовательности (Sequence diagram)** . На этой диаграмме показывается прецедент и всё, что нужно для его исполнения (объекты, актёров, жизненный цикл объектов). [44]
    - **Диаграмма синхронизации (Timing diagram)** . В этой диаграмме рассматриваются состояния, и их изменение с течением времени.[45]

Большую часть диаграмм я не использовал, так нет в этом необходимости. Далее будет сказано только про те диаграммы, которые были использованы. Я использовал следующие диаграммы:

* Диаграмма активностей или деятельности(activity diagram) для схемы алгоритма обработки гео-данных и диаграммы классов.
* Диаграмма классов. Она была использована при следовании концепции C4Model.

В UML и C4Model есть диаграмма компонентов, но они сильно отличаются. Диаграмма компонентов из UML показывает интерфейсы компонентов и также отличается содержимое контейнера, в нём нет описания. Подробнее диаграмма компонентов UML будет описана ниже.

**Диаграмма компонентов**

**Диаграмма компонентов** – диаграмма, показывающая компоненты разрабатываемой системы и их взаимодействия. [34]

В диаграмме компонентов изображаются:

* Компоненты. Они рисуются как прямоугольники содержащие:
  + Значок компонентного элемента. Ставится, если данный контейнер является элементом другого контейнера. Значок выглядит как прямоугольник с двумя меньшими прямоугольниками, выступающими с левой стороны.
  + Фраза «Component». Эта фраза указывается, если данный контейнер является стереотипным. Здесь под стереотипом имеется ввиду один из механизмов расширения (в UML есть ещё тэги и ограничения), который является специализированной моделью на основе которой можно создать другие компоненты.
  + Фраза «Subsystem». Указывается вместо прошлой фразы, если данный контейнер является подсистемой. Архитектор сам решает что является подсистемой, в UML это жестко не задано.
  + Интерфейсы. Требуемые интерфейсы показываются линией с полукругом на конце и названием интерфейса над линией. Предоставляемые интерфейсы обозначаются почти также как и требуемые, только вместо полукруга рисуется целый не закрашенный круг. Если один контейнер требует интерфейс «А», а другой его предоставляет, то их линии связи соединяются так, чтобы внутри полукруга требуемого интерфейса был круг предоставляемого интерфейса.
* Отношения
  + Зависимость. Показывается также как и в диаграмме классов. Стрелка зависимости должна выходить из гнезда требуемого интерфейса.

Ниже будут показаны примеры элементов диаграммы коспонентов.



Рисунок 7. Примеры элементов UML диаграммы компонентов

**Диаграмма деятельности**

**Диаграмма деятельности** – диаграмма, показывающая процесс и последовательность действий необходимых для его выполнения. [39]

Данный вид диаграмм очень похож на блок-схемы и имеет ту же функцию. В отличие блок-схем рассматриваемый вид более сложный, но у него больше возможностей:

1. С помощью жирных линий можно показать начало (разветвление) и окончание (схождение) ветвления действий. Это используется для изображения параллельных операций и дальнейшей синхронизации потоков.
2. Можно показать состояния объектов.
3. У каждой сущности участника есть своя дорожка, на которой видно, какое действие выполняет конкретная сущность, и на каком этапе.

Данный вид диаграмм был использован из-за возможности использовать дорожки. В алгоритме обработки гео-данных используются несколько функций, которые нужно было показать в удобном виде. Блок схемы не позволили бы мне этого сделать.

**Диаграмма классов**

**Диаграмма классов** – диаграмма, показывающая классы разрабатываемой системы, их взаимодействия, свойства и методы. [33]

В диаграмме классов изображаются:

1. Сущности (классы) в виде прямоугольников. В прямоугольнике содержится:
   * Название. Находится вверху посередине, выделено жирным шрифтом.
   * Поля и свойства. Находятся под заголовком, отделены чертой. Тип указывается после знака двоеточия, который стоит после названия.
   * Методы. Находятся под полями и свойствами, отделены чертой. После названия следуют скобки, внутри которых указываются аргументы через запятую. Тип возвращаемого значения указывается после двоеточия, которое стоит после скобок.

Поля и свойства могут быть:

* Публичными. Это означает, что к ним могут обратиться другие сущности. Обозначается «+» и ставится перед названием.
* Приватными. Это означает, что они будут недоступны другим сущностям, в том числе и тем, которые наследуют этот метод или свойство. Обозначается «-» и ставится там же, где и прошлый признак.
* Защищёнными. Это означает, что они будут недоступны другим сущностям, но при наследовании они могут быть доступны только наследнику. Обозначается «#» и ставится там же, где и другие признаки.
* Статическими. Это означает что данное поле или метод одинаковый для всех экземпляров данного класса. Название такого элемента подчёркивается.

1. Отношения:
   * Ассоциация – связь между сущностями, которая является общим случаем композиции и агрегации. Показывается обычной стрелкой.
   * Наследование – то же самое что и агрегация, но здесь могут включаться не все методы или поля и уровень доступа может измениться, при включении. Показывается линией с не закрашенным треугольником.
   * Реализация – отношение, при котором один класс реализует метод(ы) другого класса. Показывается пунктирной линией с не закрашенным треугольником.
   * Зависимость – отношение, при котором изменение спецификации класса-поставщика может повлиять на работу зависимого класса, но не наоборот.
   * Агрегация – отношение между классами, при котором один класс включает в себя всё содержимое другого. Показывается линией с пустым ромбом на конце.
   * Композиция – отношение между классами, при котором один класс включает в себя экземпляр другого. Показывается линией с закрашенным ромбом на конце.

При обозначении отношения указывается количественное отношение на концах линий: один к одному, один ко многим, многие ко многим. Ниже будут показаны примеры элементов диаграммы классов.



Рисунок 8. Отношения в диаграммах классов



Рисунок 9. Пример сущностей и связей между ними

## Используемые программные продукты и языки программирования

### Язык JavaScript

**JavaScript** — мультипарадигменный язык программирования. Поддерживает объектно-ориентированный, императивный и функциональный стили. Является реализацией языка ECMAScript.[46]

Данный язык используется в основном для доступа и управления объектами различных приложений. Чаще всего применяется в браузерах в качестве языка сценариев для создания интерактивности на веб-странице.

Возможности языка:

* Динамическая типизация
* Сборщик мусора (автоматическое управление памятью)
* Прототипное программирование
* Функции являются объектами первого класса
* Автоматическое приведение типов
* Встраивание в код веб-страницы

В языке отсутствуют такие полезные вещи, как:

* стандартная библиотека: в частности, отсутствует интерфейс программирования приложений по работе с файловой системой, управлению потоками ввода-вывода, базовых типов для бинарных данных;
* стандартные интерфейсы к веб-серверам и базам данных;
* система управления пакетами, которая бы отслеживала зависимости и автоматически устанавливала их.

JavaScript состоит из нескольких частей:

* ядро (ECMAScript)
* объектная модель браузера (Browser Object Model или BOM (англ.))
* объектная модель документа (Document Object Model или DOM)

**ECMAScript** — это встраиваемый, расширяемый, не имеющий средств ввода-вывода язык программирования. ECMAScript является стандартом и основой для других языков: JavaScript, JScript и ActionScript. [47]

ECMAScript предоставляет пять основных примитивных типов:

1. Число
2. Строка
3. Логический (или булевый (англ. boolean))
4. нулевой (англ. Null)
5. неопределённый (англ. Undefined)

Есть составной тип: объектный (англ. Object).

Также есть стандартные для большинства современных языков инструкции (блок, условие, цикл и другие), операторы («.»(доступ к свойству), «++»(инкремент), «\*»( умножение) и другие).

Функции в JavaScript являются объектами и могут быть использованы как обычные переменные. В ECMAScript имеется два типа функций:

1. внутренние функции (например, parseInt)
2. функции, определённые в тексте программы.

В ECMAScript есть перегрузка функций и рекурсия, как и в других языках.

**Объектная модель документа (Document Object Model или DOM)** — интерфейс для программирования приложений, использующие HTML и XML документы. [46] Согласно DOM, документ может быть представлен в виде дерева объектов, обладающих рядом свойств, которые позволяют производить с ним различные манипуляции:

* генерация и добавление узлов,
* получение узлов,
* изменение узлов,
* изменение связей между узлами,
* удаление узлов.

**Объектная модель браузера (Browser Object Model или BOM (англ.))** — часть JavaScript, позволяющая скрипту управлять поведением веб-страницы. Данная часть JavaScript связывает ядро и DOM. [46, 48]

В качестве языка разработки был выбран JavaScript, потому что система трекинга поездок транспортного средства изначально была написана на нём. Разработка на JavaScript позволит переиспользовать код от разных частей системы трекинга, а также упростит администрирование.

# Список литературы

1. OpenAI and Dota 2 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://openai.com/blog/dota-2/> , свободный
2. Competitive Self-Play [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://openai.com/blog/competitive-self-play/> , свободный
3. Per-Arne Andersen, Morten Goodwin, Ole-Christoffer Granmo «Deep RTS: A Game Environment for Deep Reinforcement Learning in Real-Time Strategy Games» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1808.05032>, свободный
4. Kun Shao, Yuanheng Zhu, Member, IEEE and Dongbin Zhao, Senior Member «StarCraft Micromanagement with Reinforcement Learning and Curriculum Transfer Learning» [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1804.00810.pdf, свободный
5. Hendrik Baier, Peter I. Cowling «Evolutionary MCTS for Multi-Action Adversarial Games» [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjqpb-r-qbgAhWI8ywKHdj5B5YQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fhendrikbaier.jimdo.com%2Fapp%2Fdownload%2F13604570727%2Fevolutionary%2520mcts%2520for%2520multi-action%2520adversarial%2520games.pdf%3Ft%3D1532703212&usg=AOvVaw3M9xX0AbJl4h5uYAy8GBBh, свободный
6. AlphaStar: Mastering the Real-Time Strategy Game StarCraft II [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://deepmind.com/blog/alphastar-mastering-real-time-strategy-game-starcraft-ii/ , свободный
7. G. Tesauro, “TD-Gammon, a Self-Teaching Backgammon Program, Achieves Master-Level Play,” Neural Computation, vol. 6, no. 2, pp. 215–219, 1994. [Online]. Available: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/neco.1994.6.2.215>
8. G. Tesauro, “Temporal difference learning and TD-Gammon,”*Communications of the ACM*, vol. 38, no. 3, pp. 58–68, 1995. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=203330.203343>
9. R. S. Sutton and A. G. Barto, “Chapter 12: Introductions,” Acta Physiologica Scandinavica, vol. 48, no. Mowrer 1960, pp. 57–63, 1960. D. Silver, A. Huang, C. J. Maddison, A. Guez, L. Sifre, G. Van Den Driessche, J. Schrittwieser, I. Antonoglou, V. Panneershelvam, M. Lanctot, S. Dieleman, D. Grewe, J. Nham, N. Kalchbrenner, I. Sutskever, T. Lillicrap, M. Leach, K. Kavukcuoglu, T. Graepel, and D. Hassabis, “Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search,” Nature, vol. 529, no. 7587, pp. 484–489, 2016.
10. M. Moravc ˇ´ık, M. Schmid, N. Burch, V. Lisy, D. Morrill, N. Bard, ´ T. Davis, K. Waugh, M. Johanson, and M. Bowling, “DeepStack: Expert-level artificial intelligence in heads-up no-limit poker,” Science, vol. 356, no. 6337, pp. 508–513, jan 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1701.01724http://dx.doi.org/10.1126/science.aam6960>
11. Y. Tian, Q. Gong, W. Shang, Y. Wu, and C. L. Zitnick, “ELF: An Extensive, Lightweight and Flexible Research Platform for Real-time Strategy Games,” Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 2656–2666, jul 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1707.01067>
12. S. Ontanon, “The combinatorial multi-armed bandit problem and its application to real-time strategy games,” in Ninth Artificial Intelligence and Interactive Digital . . ., 2013, pp. 58–64. [Online]. Available: http://www.aaai.org/ocs/index.php/AIIDE/AIIDE13/paper/viewPaper/7377
13. id\_2\_1\_1\_\_1 Википедия. Dota 2[Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Dota_2> , свободный
14. id\_2\_1\_1\_\_2 OpenAI and Dota 2 [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://openai.com/blog/dota-2/ , свободный
15. id\_2\_1\_2\_\_1 Competitive Self-Play [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://openai.com/blog/competitive-self-play/> , свободный
16. id\_2\_1\_3\_\_1 Per-Arne Andersen, Morten Goodwin, Ole-Christoffer Granmo «Deep RTS: A Game Environment for Deep Reinforcement Learning in Real-Time Strategy Games» [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1808.05032, свободный4
17. id\_2\_1\_3\_\_2 G. Tesauro, “TD-Gammon, a Self-Teaching Backgammon Program, Achieves Master-Level Play,” Neural Computation, vol. 6, no. 2, pp. 215–219, 1994. [Online]. Available: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/neco.1994.6.2.215>
18. id\_2\_1\_3\_\_3 G. Tesauro, “Temporal difference learning and TD-Gammon,”*Communications of the ACM*, vol. 38, no. 3, pp. 58–68, 1995. [Online]. Available: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=203330.203343>
19. id\_2\_1\_3\_\_4 R. S. Sutton and A. G. Barto, “Chapter 12: Introductions,” Acta Physiologica Scandinavica, vol. 48, no. Mowrer 1960, pp. 57–63, 1960. D. Silver, A. Huang, C. J. Maddison, A. Guez, L. Sifre, G. Van Den Driessche, J. Schrittwieser, I. Antonoglou, V. Panneershelvam, M. Lanctot, S. Dieleman, D. Grewe, J. Nham, N. Kalchbrenner, I. Sutskever, T. Lillicrap, M. Leach, K. Kavukcuoglu, T. Graepel, and D. Hassabis, “Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search,” Nature, vol. 529, no. 7587, pp. 484–489, 2016.
20. id\_2\_1\_3\_\_5 M. Moravc ˇ´ık, M. Schmid, N. Burch, V. Lisy, D. Morrill, N. Bard, ´ T. Davis, K. Waugh, M. Johanson, and M. Bowling, “DeepStack: Expert-level artificial intelligence in heads-up no-limit poker,” Science, vol. 356, no. 6337, pp. 508–513, jan 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1701.01724http://dx.doi.org/10.1126/science.aam6960>
21. id\_2\_1\_3\_\_6 Y. Tian, Q. Gong, W. Shang, Y. Wu, and C. L. Zitnick, “ELF: An Extensive, Lightweight and Flexible Research Platform for Real-time Strategy Games,” Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 2656–2666, jul 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1707.01067>
22. id\_2\_1\_3\_\_7 S. Ontanon, “The combinatorial multi-armed bandit problem and its application to real-time strategy games,” in Ninth Artificial Intelligence and Interactive Digital . . ., 2013, pp. 58–64. [Online]. Available: http://www.aaai.org/ocs/index.php/AIIDE/AIIDE13/paper/viewPaper/7377
23. Id\_2\_4\_1 [21] I. Fathy, M. Aref, O. Enayet, and A. Al-Ogail, “Intelligent online case-based planning agent model for real-time strategy games,” in Proceedings of the 2010 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, ISDA’10. IEEE, nov 2010, pp. 445– 450. [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/document/5687225/
24. Id\_2\_4\_2 [22] U. Jaidee and H. Munoz-Avila, “CLASSQ-L: A Q-Learning ˜ Algorithm for Adversarial Real-Time Strategy Games,” pp. 8–13, 2012. [Online]. Available: <http://www.aaai.org/ocs/index.php/AIIDE/> AIIDE12/paper/viewFile/5515/5734
25. Id\_2\_4\_3 [23] B. Lindstrom, I. Selbing, T. Molapour, and A. Olsson, “Racial ¨ Bias Shapes Social Reinforcement Learning,” Psychological Science, vol. 25, no. 3, pp. 711–719, feb 2014. [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1602.01783

Приложение А. Техническое задание.

Введение

На

Назначение разработки

Данный

Основание для разработки

Так

Требования к программе или программному изделию

1. Архитектура

Требования к программной документации

1. Должны
2. Также

Стадии и этапы разработки

1. С

Порядок контроля и приемки

1. П

Приложение Б. Программная спецификация.

Документация

Ранее в основной части использовались перечисленные ниже диаграммы, поэтому здесь тут даны только ссылки на них.

В документацию входят:

* Диаграмма контекста. (см. рис )

Компоненты

При разработке микро-сервиса будут использоваться следующие программные продукты:

* PostgreSQL – база данных

Документация по программным комплексам:

* PostgreSQL – https://www.postgresql.org/docs/

Приложение В. Программная документация.

Диаграмма контекста

Рисунок .