

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

ТРУХОВ АРТЕМ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 004.21

**МАРШРУТИЗАЦІЯ ДРОНУ НА ПЕРЕСІЧЕНІЙ МІСЦЕВОСТІ З
ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

(124 – Системний аналіз)

Автореферат
магістерської кваліфікаційної роботи на здобуття освітньої кваліфікації
«Магістр системного аналізу»

Миколаїв – 2021

Магістерська кваліфікаційна робота є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем

Науковий керівник: завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем, д-р техн. наук, проф. Кондратенко Юрій Пантелійович

Рецензент: д.т.н., професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення Фісун Микола Тихонович

Захист відбудеться «25» лютого 2021 р. о 9³⁰ год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

З магістерською кваліфікаційною роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

Автореферат представлений «16» лютого 2021 р.

Секретар
екзаменаційної комісії,
к.пед.н., доцент

Н. М. Болубаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження полягає у створенні альтернативної системи маршрутизації дрона з використанням методів машинного навчання, яка забезпечить стабільне керування безпілотним літальним апаратом для виконання певного завдання. Адже потенціал використання безпілотних літальних апаратів обмежений тим, що на сьогоднішній день керування польотом дрону здійснюється в напівавтоматичному режимі по командам оператора, або в дистанційному режимі з використанням пульта керування.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є забезпечення ефективної маршрутизації безпілотного літального апарату у просторі, що дозволить з більшою точністю переміщатися визначеним маршрутом та підвищить стабільність польоту.

Об'єктом дослідження є процес автопілотування безпілотного літального апарату.

Предметом дослідження є система керування дроном з використанням методів машинного навчання.

Практичне значення даної магістерської кваліфікаційної роботи полягає у можливості застосування методів машинного навчання в багатьох задачах автопілотування безпілотного літального апарату.

Результати даної магістерської кваліфікаційної роботи було надруковано у тезах XXIII Всеукраїнської науково-методичної конференції «Могилянські читання – 2021» у секції Комп'ютерні науки.

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг роботи складає 136 сторінки, 52 рисунків, 5 таблиць та 46 посилань на літературні джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі магістерської кваліфікаційної роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено предмет та об'єкт дослідження.

У першому розділі було проаналізовано призначення сучасних безпілотних літальних апаратів та особливості їх платформи для кожної цілі. Було досліджено основні інтелектуальні режими та можливості дронів, визначено, що штучний інтелект є сенс використовувати в якості механізму прийняття рішень. Було розглянуто можливість програмування сучасних дронів та сформовано вимоги до моделі штучної нейронної мережі для вдалого завантаження та використання на безпілотному літальному апараті. Розроблено постановку задачі, основне завдання якої розробити модель штучної нейронної мережі для використання в кросплатформеному середовищі в якості оператора дрону.

У другому розділі було розглянуто основні методи машинного навчання, їх переваги та недоліки. Порівняно алгоритми та підходи між собою, описано різницю алгоритмів SARSA та Q-навчання.

Машинне навчання (ML) – це вивчення комп'ютерних алгоритмів, які автоматично поліпшуються з урахуванням досвіду. Розглядається як частина штучного інтелекту. Алгоритми машинного навчання створюють модель на основі вибіркового даних, відомих як навчальні дані, щоб робити прогнози або рішення, не будучи явно запрограмованими на це.

Алгоритми машинного навчання використовуються в різних додатках, таких як фільтрація електронної пошти і комп'ютерний зір, де складно або неможливо розробити традиційні алгоритми для виконання необхідних завдань. Підмножина машинного навчання тісно пов'язана з обчислювальною статистикою, яка фокусується на прогнозуванні з використанням комп'ютерів. Вивчення математичної оптимізації надає методи, теорію і прикладні області в області машинного навчання. Інтелектуальний аналіз даних – це суміжна область дослідження, в якій основна увага приділяється дослідному аналізу даних за

допомогою навчання без учителя. У застосуванні до бізнес-завдань машинне навчання також називається прогновною аналітикою.

Машинне навчання передбачає, що комп'ютери визначають, як вони можуть виконати завдання, не будучи явно запрограмованими на це. Воно включає в себе навчання комп'ютерів за заданими даними для виконання певних завдань. Для простих завдань, можна запрограмувати алгоритми, що повідомляють машині, як виконувати всі кроки, необхідні для вирішення даної проблеми, з боку комп'ютера ніякого навчання не потрібно. Для більш складних задач людині може бути складно вручну створити необхідні алгоритми. На практиці може виявитися більш ефективним допомогти машині розробити свій власний алгоритм, ніж змушувати програмістів вказувати кожен необхідний крок.

Сучасне машинне навчання переслідує дві мети: перша – класифікувати дані на основі розроблених моделей, друга – робити прогнози майбутніх результатів на основі цих моделей.

Підходи до машинного навчання традиційно діляться на три широкі категорії в залежності від характеру «сигналу» або «зворотного зв'язку», доступного системі навчання:

- навчання з вчителем: комп'ютеру надаються приклади вхідних даних і бажані вихідні дані, що даються «вчителем»; мета полягає в тому, щоб засвоїти загальне правило, яке зіставляє вхідні дані з вихідними;
- навчання без вчителя: алгоритму навчання не надаються вихідні мітки, і він сам мусить знайти структуру у вхідних даних; навчання без вчителя може бути виявленням прихованих закономірностей в даних або засобом досягнення мети;
- навчання з підкріпленням: комп'ютерна програма взаємодіє з динамічним середовищем, в якій вона повинна виконувати певну мету, наприклад, керувати транспортним засобом або грати в гру з противником; при переміщенні по проблемному простору програма отримує зворотний зв'язок, аналогічну винагородам, які вона намагається максимізувати.

SARSA (стан - дія - нагорода - стан - дія) – це алгоритм навчання, що використовується в області машинного навчання з підкріпленням. Було

запропоновано Раммері і Ніранджаном в технічній замітці під назвою «Modified Connectionist Q-Learning» (MCQ-L).

Ім'я алгоритму відображає той факт, що основна функція для максимізації значення Q залежить від поточного стану агента S , дії, яку агент обирає A , нагороди R , яку агент отримує за вибір дії, стан S_2 , в який агент переходить після виконання цієї дії, і, нарешті, наступна дія A_2 , яку агент обирає в своєму новому стані.

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha[r_t + \gamma Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)]$$

Агент SARSA взаємодіє з середовищем і оновлює політику на основі виконаних дій. Значення Q для певної дії та стану оновлюється альфа оцінкою, тобто швидкістю навчання. Значення Q представляє можливу винагороду, отриману на наступному часовому кроці за виконання дії A в стані S , плюс майбутня винагорода, отримана при наступному спостереженні за дією стану.

Q-навчання – це алгоритм навчання, що використовується в області машинного навчання з підкріплення. Він не вимагає навколишнього середовища, і він вирішує проблеми зі стохастичними переходами та винагородами, не вимагаючи адаптації.

Для будь-якого кінцевого марковського процесу прийняття рішень (FMDP) Q-навчання знаходить оптимальну політику в сенсі максимізації очікуваного значення загальної винагороди для всіх без винятку послідовних кроків, починаючи з поточного стану. Q-навчання може визначити оптимальну політику вибору дій для будь-якого даного FMDP, враховуючи нескінченний час дослідження і частково випадкову політику. Q позначає функцію, яку алгоритм обчислює з максимальною очікуваною винагородою за дію, виконану в даному стані.

Навчання з підкріпленням включає в себе спосіб, набір станів і набір дій в стані. Виконуючи дію, агент переходить зі стану в стан. Виконання дії в певному стані забезпечує агенту винагороду.

Мета агента - максимізувати загальну винагороду. Він робить це, накопичуючи винагороду, отриману з майбутніх станів, до винагороди за досягнення поточного стану, ефективно впливаючи на поточну дію за допомогою потенційної майбутньої винагороди. Ця потенційна винагорода являє собою зважену

суму очікуваних значень винагород за всі майбутні кроки, починаючи з поточного стану.

Q-навчання використовує функцію дія-значення (action-value) для стратегії π .

$$Q^\pi(s, a) = E[R | s^t = s, a^t = a]$$

Q-навчання можна комбінувати з наближенням функцій до певного значення. Це дозволяє застосовувати алгоритм до більших завдань, навіть коли простір станів безперервний. Одне з рішень - використовувати адаптовану штучну нейронну мережу в якості апроксиматора функцій. Апроксимація функцій може прискорити навчання в кінцевих завданнях через те, що алгоритм може узагальнити попередній досвід на раніше невидимі стани.

Генетичний алгоритм (ГА) - це алгоритм пошуку і евристичний метод, який імітує процес природного відбору, використовуючи такі методи, як мутація і кросовер, для створення нових генотипів в надії знайти хороші вирішення даної проблеми. У машинному навчанні генетичні алгоритми почали використовуватися ще в 1980-х. І навпаки, методи машинного навчання використовуються для підвищення продуктивності генетичних і еволюційних алгоритмів [26].

У генетичному алгоритмі, населення з варіантів рішення до задачі оптимізації еволюціонує до кращих рішень. Кожне рішення-кандидат має набір властивостей (його хромосоми або генотип), які можна мутувати і змінювати. Традиційно рішення представлені в двійковому форматі у вигляді рядків з нулів і одиниць, але можливі й інші кодування.

Еволюція зазвичай починається з популяції випадково згенерованих особин і являє собою ітеративний процес, при якому популяція на кожній ітерації називається поколінням. У кожному поколінні оцінюється пристосованість кожної особи в популяції; придатність зазвичай являє собою значення цільової функції в розв'язуваній задачі оптимізації. Найбільш підходящі особини випадковим чином відбираються з поточної популяції, і гени кожного індивідуума модифікуються, щоб сформувати нове покоління. Нове покоління можливих рішень потім використовується в наступній ітерації алгоритму. Зазвичай алгоритм завершується,

коли було вироблено максимальну кількість поколінь, або був досягнутий задовільний рівень придатності для популяції.

Визначено, що генетичні алгоритми можуть ускладнити процес навчання, адже мають більш випадковий характер, ніж алгоритми навчання з підкріпленням, де є фіксована оцінка, а винагороди видаються лише за правильну поведінку агента в середовищі. Також алгоритми навчання з підкріпленням мають широкий спектр налаштувань, що дозволяє контролювати поведінку агента та визначати правильні цілі навчання, наприклад, нехтувати короткостроковою нагородою заради довгострокової, що важливо для вирішення конкретної задачі. До того ж модель, при навчанні якої були використані алгоритми навчання з підкріпленням є більш універсальною та добре адаптується в динамічному середовищі.

В третьому розділі досліджено наявні фреймворки для створення штучних нейронних мереж та впровадження їх у проект, виявилось, що CNTK та Acord.Net не підтримують мобільні пристрою, що не відповідає вимогам завдання про кросплатформеність розробленої системи. Розглянуто Unity-machine-learning-agents, який використовує всі плюси популярної бібліотеки TensorFlow при цьому має полегшену інтеграцію у проект. Імпортовано плагін в проект та створено скрипти для навчання.

Створено фізичне середовище для навчання нейронної мережі. Встановлені спеціальні орієнтири для позиціонування агенту. Розроблена та оптимізована модель агенту для роботи з середовищем. Визначена стратегія для навчання, вхідні та вихідні данні, стратегія розміщення векторів для оцінки навколишнього середовища. Розглянуто послідовність навчання агенту. Докладно розібрано параметри навчання нейронної мережі та їх вплив на кінцевий результат. Запропоновано структуру власної нейронної мережі, яка містить 19 нейронів у вхідному шарі, по 128 нейронів у 2 повнозв'язних шарах та 4 нейрони у вихідному шарі. Навчену модель збережено окремим файлом у відкритому форматі ONNX.

У четвертому розділі розділі було проведено тестування розробленої та навченої моделі, було перевірено здатність агента орієнтуватися у просторі,

виконувати всі базові рухи по 4 осям, досягти кінцевої точки та огинати перешкоди в різних середовищах.

Описано програмні засоби, які потрібно встановити, щоб розроблена система працювала та виконувала свої функції. Зазначено дії, які необхідно зробити, щоб оптимізувати нове середовище до існуючого агента, або навчити власну модель для керування агентом.

Досліджено при яких обставинах може знадобитися донавчання та перенавчання розробленої моделі.

У спеціальній частині магістерської кваліфікаційної роботи з «Охорони праці та безпеки життєдіяльності» розглянуто мікрокліматичні умови праці на робочих місцях на предмет виробничого освітлення та дотримання вимог експлуатації ПК. Було описано, які заходи потрібно зробити для того, щоб дане приміщення відповідало необхідним нормам та було комфортним і безпечним для робітника. Приведені рекомендації щодо організації робочого місця. Створені умови повинні забезпечувати комфортну роботу. В результаті написання спеціальної частини з охорони праці було досягнуто поставленої мети, а саме створення безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, в робочих зонах, у виробничих приміщеннях.

У методичній частині розроблено лабораторну роботу, яка спрямована на швидке засвоєння початкових знань про штучний інтелект: від встановлення популярного фреймворка й підготовки даних до навчання власної моделі нейронної мережі. Лабораторна робота містить приклад виконання с графічними зображеннями та теоретичними відомостями.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи була спроектована система маршрутизації дрону за допомогою методів машинного навчання, яка забезпечує високу ефективність та стабільний політ в умовах пересіченої місцевості.

На сьогоднішній день застосування безпілотних літальних апаратів є перспективним напрямком, адже вони використовуються в найрізноманітніших ситуаціях, від доставки товарів, передачі медикаментів в віддалені зони та організації пошуко-рятувальних операцій до любительської відео та фото зйомки. Будь-яка помилка при пілотуванні пристрою може поставити під загрозу життя та безпеку людей, тому важливо максимально оптимізувати та автоматизувати процес польоту, виключивши людський фактор та даючи можливість оператору зосередитися на виконанні завдання, а не пілотуванні апарату.

Протягом виконання роботи було:

- проведено аналіз сучасного стану предметної галузі;
- досліджено існуючі інтелектуальні режими польоту сучасних дронів;
- досліджено аналоги та технології штучного інтелекту, проведено аналіз існуючих алгоритмів створення штучного інтелекту;
- підібрано стратегію, яка дозволяє вбудувати штучний інтелект, при цьому не навантажуючи апарат обчисленням оптимальної стратегії, використовуючи його лише для прийняття рішень;
- проведено порівняльний аналіз ігрових двигунів та платформ для створення систем штучного інтелекту;
- створено середовище для навчання нейронної мережі;
- розроблено архітектуру нейронної мережі;
- створено систему відслідковування спостережень агенту, механізм опрацювання його дій та врахування реакції середовища;
- виконано навчання агенту.

Результатом роботи є комплексна система, яка дозволяє виконувати навчання нейронної мережі з користувацькими параметрами для своїх цілей або

використовувати вже навчену та розроблену модель штучного інтелекту, яка за замовчуванням надається разом з моделлю дрона.

У методичному розділі розроблено лабораторну роботу, яка спрямована на швидке засвоєння початкових знань про штучний інтелект: від встановлення популярного фреймворка й підготовки даних до навчання власної моделі нейронної мережі. Лабораторна робота містить приклад виконання с графічними зображеннями та теоретичними відомостями, тож її виконання не потребує спеціальних знань чи спеціальної підготовки.

У розділі з охорони праці були викладені вимоги до робочого місця розробника програмного забезпечення. Було описано, які заходи потрібно зробити для того, щоб дане приміщення відповідало необхідним нормам та було комфортним і безпечним для робітника. Приведені рекомендації щодо організації робочого місця. Створені умови повинні забезпечувати комфортну роботу. В результаті написання спеціальної частини з охорони праці було досягнуто поставленої мети, а саме створення безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, в робочих зонах, у виробничих приміщеннях.

АНОТАЦІЯ

Трухова Артема Сергійовича. Маршрутизація дрону на пересіченій місцевості з використанням методів машинного навчання. – На правах рукопису.

Магістерська кваліфікаційна робота на здобуття освітньої кваліфікації «Магістр системного аналізу». – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2021.

Актуальність роботи полягає у створенні альтернативної системи маршрутизації дрона з використанням методів машинного навчання, яка забезпечить стабільне керування безпілотним літальним апаратом для виконання певного завдання. Адже потенціал використання безпілотних літальних апаратів обмежений тим, що на сьогоднішній день керування польотом дрону здійснюється в напівавтоматичному режимі по командам оператора, або в дистанційному режимі з використанням пульта керування. Така система є нестійкою до людського фактору, адже повністю залежить від оператора. До того ж часто дрони використовуються в ситуаціях, де фізично мало місця для комфортного пілотування, і незначна помилка з боку людини може призвести до зіткнення з певним предметом, і як наслідку поломки апарату.

Об'єктом дослідження є процес автопілотування безпілотного літального апарату.

Предметом дослідження є система керування дроном з використанням методів машинного навчання.

Метою дослідження є забезпечення ефективної маршрутизації безпілотного літального апарату у просторі, що дозволить з більшою точністю переміщатися визначеним маршрутом та підвищить стабільність польоту.

В результаті виконання роботи було досліджено основні методи машинного навчання, а саме навчання з підкріпленням, визначені основні їх переваги та недоліки, розроблено систему, яка дозволяє виконувати навчання нейронної мережі з користувацькими параметрами для своїх цілей або використовувати вже навчену та розроблену модель штучного інтелекту.

Дана робота складається з шести розділів. Кожен розділ відповідно присвячений: аналізу предметної області, підходам та методам машинного навчання, використаним у магістерській роботі, моделюванню і навчанню моделі штучного інтелекту, тестуванню та створення документації для розробленої системи, методичній частині магістерської роботи, охороні праці і безпеці життєдіяльності.

Загальний обсяг роботи – 136 сторінок. Магістерська робота містить два додатки, 52 рисунків, 5 таблицю і посилання на 46 джерел.

Ключові слова: задача маршрутизації транспорту, безпілотні літальні апарати, Q-навчання, методи машинного навчання, штучний інтелект.

ABSTRACT

Trukhov Artem. DRONE ROUTING ON ROUGH TERRAIN USING MACHINE LEARNING METHODS – On the rights of the manuscript.

Master's qualification work for obtaining an educational qualification "Master of Systems Analysis". – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2021.

The relevance of the work is to create an alternative system for drone routing using machine learning methods, which will provide stable control of the unmanned aerial vehicle to perform a specific task. After all, the potential use of unmanned aerial vehicles is limited by the fact that today the control of drone flight is carried out in a semi-automatic mode on the operator's commands, or in remote mode using a control panel. Such a system is unstable to the human factor, because it depends entirely on the operator. In addition, drones are often used in situations where there is little room for comfortable piloting, and a small mistake on the part of a person can lead to a collision with a certain object, and as a consequence of the breakdown of the device.

The object of research is the process of autopiloting an unmanned aerial vehicle.

The subject of the study is a drone control system using machine learning methods.

The purpose of the study is to ensure effective routing of unmanned aerial vehicles in space, which will allow more accurate movement of a certain route and increase flight stability.

As a result of the work the main methods of machine learning were studied, namely reinforced learning, their main advantages and disadvantages were identified, a system was developed that allows to perform neural network training with user parameters for their purposes or to use already trained and developed model of artificial intelligence.

This work consists of six sections. Each section is devoted to: analysis of the subject area, approaches and methods of machine learning used in the master's thesis, modeling and training of artificial intelligence models, testing and creation of documentation for the developed system, methodical part of the master's thesis, labor protection and safety.

The overall scope of the work is 136 pages. The master's thesis contains two appendices, 52 figures, 5 tables and references to 46 sources.

Key words: *transport routing problem, unmanned aerial vehicles, Q-training, machine learning methods, artificial intelligence.*