МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп’ютерних наук, фізики та математики
Кафедра комп’ютерних наук та програмної інженерії

Штучний інтелект у музичній освіті: аналіз технологій генерації музики, нотного запису та підтримки навчання гри на інструментах

Кваліфікаційна робота (проєкт)
на здобуття ступеня вищої освіти “бакалавр”

Виконав: здобувач 4 курсу 12-441 групи
Спеціальності 121 Інженерія
програмного забезпечення
Освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Леус Михайло Володимирович
Керівник: доктор педагогічних наук,
професор Співаковський Олександр
Володимирович
Рецензент: фріланс, програміст
Кльонов Д.М.

Івано-Франківськ - 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРІЯ З ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МУЗИЦІ 5
1.1 Огляд літератури та інших джерел з теми дослідження 5
1.2 Визначення та розвиток штучного інтелекту з призми історії 6
1.3 Основні принципи роботи ШІ 8
РОЗДІЛ 2 СТВОРЕННЯ, ОБРОБКА ТА НАВЧАННЯ МУЗИЦІ З ШІ ЧЕРЕЗ СТОРОННІ СЕРВІСИ 11
2.1 Огляд сучасних інструментів для генерації музики та їх порівняння 11
2.2 Аналіз вже існуючих додатків менторування при навчанні грі на інструментах 18
РОЗІЛ 3 СТВОРЕННЯ ВЛАСНОГО СЕРВІСУ ДЛЯ ДОПОМОГИ НАВЧАННЯ ГРІ НА ІНСТРУМЕНТІ 21
3.1 Ідея та причина створення власного сервісу 21
3.2 Обґрунтування вибору технологічного стеку для реалізації інтерактивної системи підтримки музичної освіти 22
3.3 Архітектура роботи сайту 24
3.4 Опис основних функціональних модулів системи 25
ВИСНОВКИ 30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 32

ВСТУП

Актуальність теми полягає в тому, що сучасний розвиток технологій приносить значні трансформації в освітні процеси, а також у музичну діяльність. Штучний інтелект (ШІ) - одна з найдинамічніших і найперспективніших технологій сьогодення, яка входить в освітні процеси, створення аудіоінформації та музичний продакшн. Інструменти штучного інтелекту стали настільки доступними та гнучкими, що ними можуть користуватися як професіонали, так і початківці, які хочуть навчитися грати на музичних інструментах або створювати музику.

Об'єктом дослідження є застосування штучного інтелекту у музичній сфері для розпізнавання нотних записів, акордів і допомоги навання грі для початківців і більш просунутих музикантів.

Предметом дослідження є конкретні додатки та сервіси, що допомагають навчанню грі на інструментах і також інструменти для створення свого сервісу. Дослідження набуває особливого значення, оскільки зростає інтерес користувачів до цифрових платформ, присвячених музичній освіті та створенню музичного контенту. Такі платформи мають значний потенціал як допоміжні інструменти, але їм бракує повної здатності замінити викладачів у їхньому нинішньому вигляді. Детальне вивчення можливостей штучного інтелекту є необхідним, оскільки це допоможе розробити інструмент, який підвищить доступність музичної освіти та забезпечить персоналізований навчальний досвід.

Основна **мета роботи** - дослідити сучасні системи штучного інтелекту для викладання музики, а також можливості створення музичних композицій і розробити систему навчання гри на інструменті зі штучним інтелектом. Дослідити користь цього напрямку навчання.

Для досягнення цієї мети планується виконати наступну роботу:

Завданням роботи є дослідити розвиток штучного інтелекту шляхом вивчення його поточного стану та можливих майбутніх застосувань у креативних індустріях.

Дослідження вивчає сучасні цифрові платформи, які генерують музику за допомогою штучного інтелекту, щоб визначити їхні основні переваги та експлуатаційні обмеження.

Провести оцінку додатків, які забезпечують навчання гри на інструментах зі штучним інтелектом.

Створити концептуальну основу та розробити функціональний прототип освітньої платформи, яка дозволить студентам самостійно вивчати музичні інструменти.

Проведена оцінка відмінностей в ефективності між самостійним навчанням за допомогою цифрового інструменту та традиційним навчанням у класі під керівництвом викладача.

Дослідницька робота складається з чотирьох окремих розділів. У першому розділі штучний інтелект розглядається як історичний феномен, який продовжує впливати на сучасну цивілізацію і сьогодні. У другому розділі порівнюються різні інструменти для створення музики за допомогою штучного інтелекту. Дослідження оцінює існуючі освітні програми, які навчають грі на інструментах за допомогою технології штучного інтелекту. У статті демонструється процес розробки, а також пояснюється мій цифровий інструмент для навчання гри на музичних інструментах на основі штучного інтелекту.

РОЗДІЛ 1.
ТЕОРІЯ З ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МУЗИЦІ

1.1 Огляд літератури та інших джерел з теми дослідження

Під час цього дослідження було розглянуто та проаналізовано низьку джерел, що розглядають та аналізують роботу ШІ в сфері музики та освіти. Зокрема, було розглянуто:

- Briot, J.-P., Hadjeres, G., & Pachet, F.-D. (2017). “Deep Learning Techniques for Music Generation – A Survey.”

  Це оглядова стаття, що фокусується на дослідженні машинного навчання та deep learning для генерації музики. Цей огляд детально фокусується на обмеженнях сучасних підходів, що дає цій роботі потужну базу для порівняння різних технологій.
- Herremans, D., et al. (2017). “A Functional Taxonomy of Music Generation Systems.”

  Оглядова стаття, що розбиває на класифікації різні типи генерації музичних композицій. Допомагає зорієнтуватися у багатому різномаїтті наявних підходів, щоб обрати найефективніший у сфері освіти.
- Sturm, B. L., Santos, J. F., Spinath, B., & Korshunova, I. (2016). “Music Transcription Modelling and Composition Using Deep Learning.”

  Дослідницька робота фокусується на принципах обробки аудіо з ціллю автоматичного запису нот і транскрипції загалом. Корисна для подальшої розробки проекту для допомоги студентам в опрацюванні свого навчання.
- Rebelo, A., Fujinaga, I., Paszkiewicz, F., Marcal, A. R. S., Guedes, C., & Cardoso, J. S. (2012). “Optical Music Recognition: State-of-the-Art and Open Issues.”

Робота надає огляд сучасних методів оптичного розпізнавання нот, що включає аналіз алгоритмів, які використовуються для перетворення друкованих музичних партитур у цифрові формати. Праця висвітлює актуальні виклики та перспективні напрями розвитку.

- Tzanetakis, G., & Cook, P. (2002). “Musical Genre Classification of Audio Signals.”

  Класична стаття з аналізу аудіосигналів, що буде використана для розробки систем аналізу та рекомендацій у процесі навчання. Розуміння алгоритмів класифікації музичних характеристик сприятиме розвитку адаптивних навчальних платформ

Наведені джерела забезпечують глибоке теоретичне підґрунтя для дослідження теми застосування штучного інтелекту в музиці. Вони дозволяють не лише краще зрозуміти поточний стан досліджень, а й орієнтуватися в різноманітті сучасних інструментів, що використовуються для генерації та обробки музики. Далі у роботі буде розглянуто, як історично формувалося поняття штучного інтелекту, а також його місце в сучасному технологічному контексті.

1.2 Визначення та розвиток штучного інтелекту з призми історії

Визначення Штучного Інтелекту змінювалось протягом історії постійно. Відомо, що слова та визначення змінюються з ходом історії і по мірі того, як культури еволюціонують. Тисячу років назад люди вкладали одне значення у слово Штучний Інтелект, 100 років назад інше, а зараз взагалі третє. Отже, щодо ШІ, то у різні часи люди уявляли собі цю технологію по різному. Тому важливо визначитися із сучасним “розумінням” цього слова, а також з історією розвитку цієї ідеї.

Сучасне визначення цього терміну буде виглядати приблизно так: Штучний інтелект - це галузь комп'ютерних наук, спрямована на розробку

систем, які виконують завдання людського інтелекту. Спектр завдань ШІ охоплює розпізнавання мови, процеси прийняття рішень і переклад, а також можливості навчання, творчі функції та управління великими обсягами даних. ШІ - це здатність машини відтворювати когнітивні процеси людини або перевершувати їх відповідно до стандартних визначень.

Ідея створення машин з когнітивними здібностями існувала ще з часів античності, але наукове визнання отримала у 20-му столітті. Саме в той час Алан Тьюрінг розробив тест Тьюрінга у своїй публікації «Обчислювальна техніка та інтелект» 1950 року, щоб визначити можливості машинного інтелекту. Під час конференції в Дартмутському коледжі в США в 1956 році він вперше публічно вжив термін «штучний інтелект». Вчені визнають цю подію початком перетворення ШІ на офіційну наукову галузь.

У 1960-1980-х роках розвиток ШІ йшов хвилеподібно: Розвиток ШІ демонстрував фази активного зростання і зазнавав невдач, коли реальні результати не відповідали очікуванням. Ці спадкові етапи отримали назву «зими ШІ». Починаючи з 2010-х років ШІ активно увійшов у повсякденне життя завдяки розвитку технологій великих даних і потужним обчислювальним ресурсам у поєднанні з алгоритмами глибокого навчання.

Сьогодні штучний інтелект використовується в багатьох сферах: Системи штучного інтелекту працюють у багатьох галузях, включаючи медицину та право, а також логістику та креативні індустрії. Застосування штучного інтелекту займає унікальну позицію у сфері музики. Машинне навчання в поєднанні з обробкою аудіо дозволяє сучасним алгоритмам генерувати мелодії та гармонії, створювати музичні аранжування та відтворювати стилі конкретних композиторів. Штучний інтелект перетворив роки навчання на завдання, що вимагає лише кількох кліків мишкою.

Однак важливо пам’ятати, що ШІ - це лише дуже складний алгоритм, який добре вміє симулювати людські думки, мову, творчість тощо. Таким чином, історія розвитку штучного інтелекту - це процес постійного прагнення автоматизації рутинних обов’язків людини, який з часом зміг робити набагато більше ніж ми колись могли собі уявити. І зараз ми спостерігаємо власними очима напевно найбільшу хвилю розвитку цієї технології.

* Ellen Glover, Brennan Whitfield, Jye Sawtell-Rickson. (2024, December 03). *What is Artificial Intelligence (AI)?*

1.3 Основні принципи роботи ШІ

Діяльність штучного інтелекту стає зрозумілою, коли ви досліджуєте його основні типи та підходи. ШІ працює як повна система різних методів і алгоритмів, які адаптуються до конкретних вимог програми або системи. Щоб вивчити процес мислення інструментів штучного інтелекту, потрібно вивчити їх теоретичні основи, перш ніж почати тестувати музичні сервіси за допомогою систем штучного інтелекту.

Технологія AI поділяється на три основні категорії*

1. Найпоширеніша версія ШІ, яка фокусується на виконанні конкретного завдання, являє собою слабкий (вузький) ШІ. Це тип ШІ, з яким ми стикаємося щодня: повсякденні програми ШІ включають голосові помічники, такі як Siri та Google Assistant, а також алгоритми рекомендацій, які використовуються YouTube і Spotify, а також поширюються на чат-ботів і музичні генератори. Їхнє розуміння світу залишається обмеженим конкретними моделями без загального знання.

2. Теоретичний сильний штучний інтелект володіє людською свідомістю та емоціями, а також здатністю розуміти. Потужна система штучного інтелекту може приймати автономні рішення в усіх дисциплінах, не обмежуючись попередньо встановленими рекомендаціями. Потужний штучний інтелект наразі залишається теоретичним, тоді як дослідники та розробники продовжують свої зусилля для його створення.
3. Суперінтелект являє собою теоретичну стадію, на якій машини перевершують людський інтелект за всіма когнітивними функціями. Наукова фантастика досліджує цей передовий рівень ШІ, а експерти обговорюють його вплив на майбутній розвиток штучного інтелекту.

Основні робочі методи, важливі для сучасних рішень ШІ, включають такі підходи:

1. Машинне навчання являє собою техніку, яка дозволяє системам вивчати шаблони з великих наборів даних за відсутності явних інструкцій програмування. Програми для створення музики використовують цю техніку для вивчення великих баз даних пісень і створення оригінальних мелодій на основі їх аналізу.
2. Глибоке навчання працює в рамках машинного навчання за допомогою штучних нейронних мереж. Ці вдосконалені моделі функціонують як структури, подібні до мозку. Ці системи забезпечують можливості обробки музики та розпізнавання зображень і голосів, одночасно створюючи ноти на слух і відтворюючи певні стилі композиторів.
3. Обробка природної мови (NLP) дозволяє системам штучного інтелекту інтерпретувати людську мову, а також створювати та перекладати розмовну мову. За допомогою текстових запитів ви

можете спілкуватися з ШІ, що дозволяє вимагати створення пісні у визначеному жанрі чи стилі.

4. Навчання з підкріпленням являє собою унікальне, але захоплююче явище в музичному ШІ, яке функціонує через самостійне навчання та отримання винагороди за правильні дії. Концепція в першу чергу стосується ігор і робототехніки, але містить інтригуючий потенціал для творчих експериментів.

Важливо усвідомлювати, як складні алгоритми керують кожною простою кнопкою в музичних програмах. Як музикант, я аналізую музику, використовуючи свій слух та емоції, але отримання технічних знань підвищує компетенцію у сучасних досягненнях та дає розуміння на що потрібно фокусувати увагу при подальшій роботі.

Розуміння типів і методів штучного інтелекту дозволяє користувачам приймати кращі рішення при виборі інструментів для створення музики або навчальних ресурсів. Кнопки музичних додатків не діють як магія, а натомість є результатом дуже складної науки, яка поєднує математичні принципи з логічними правилами, статистичними методами та творчим мисленням.

* IBM Data and AI Team. (2023, October 12). *Understanding the different types of artificial intelligence*.

РОЗДІЛ 2
СТВОРЕННЯ, ОБРОБКА ТА НАВЧАННЯ МУЗИЦІ З ШІ ЧЕРЕЗ СТОРОННІ СЕРВІСИ

2.1 Огляд сучасних інструментів для генерації музики та їх порівняння

Сучасні сервіси для автоматичного написання музики по суті працюють таким чином: вони вже “чули” дуже багато музикальних композицій. Окремо інструментів, щоб зрозуміти як генерувати їх, як гітара, скрипка, фортепіано, барабани і т.д. Та також і інструментів разом у цілій композиції, щоб алгоритм міг краще розуміти як воно повинне звучати разом. Адже окремо інструменти, це просто соло, а нам потрібен повноцінний трек.

В сучасному світі вже існує дуже багато прикладів того, як автори на різних платформах використовують різні типи згенерованого контенту. Певно, ви вже бачили очевидні генеративні картинки та відео в соціальних мережах. Але також це стосується і музики, як ви вже могли здогадатися. І найцікавіше, що напевно ви навіть і не здогадувалися, коли на фоні в якихось відео чули звичайну музику, яка просто добре підходить під відео і все що там відбувається. Це і є доказом того, що генеративний-музикальний контент вже існує в нашому житті і ми настільки до цього звикли, що навіть і не помічаємо цей факт. Тому можна зробити висновок, що ШІ вже генерує досить якісну музику, що ми навіть і не помічаємо це у повсякденному житті.

Як виглядає процес генерації музики через подібні сервіси? Щож, це дуже відрізняється в залежності від багатьох факторів, таких як:

- який вже користувач має досвід у написанні музики
- що за результат він хоче досягти
- як швидко хоче зробити свій шедевр
- чи вмієте він вже грати на інструментах чи ні

Тому процесс генерації може відрізнятися від “просто тикнути декілька кнопок” до “насправді писати музику, але з дуже потужними помічниками ШІ”

Останні роки принесли важливий прорив у системах створення музики, які використовують технологію штучного інтелекту для автоматизації. Автоматичне створення музики, яке раніше здавалося науковою фантастикою, стало практичним інструментом, до якого може отримати доступ кожен, хто володіє комп’ютером або смартфоном. Інтернет-ресурси дозволяють кожному за кілька хвилин розробляти мелодії та акомпанемент і запускати цілі музичні твори. Протягом своєї роботи я випробував різні такі інструменти, і тепер хочу обговорити ті, які я вважаю найбільш цінними.

Aiva (Artificial Intelligence Virtual Artist)

Сервіс є одним із найвідоміших сервісів, який також надає найскладніші музичні можливості. Завдяки цьому інструменту ви отримуєте доступ до різноманітних музичних жанрів, які варіюються від симфонічної класичної музики до сучасних саундтреків. Під час роботи з Aiva користувачі можуть керувати темпом, а також стилем і структурою композиції, тому інструмент створюватиме MIDI-дані разом із нотами. Музична логіка реалізована через інструмент, який генерує треки, які звучать не як випадкові колекції нот, а як повні композиції. Кілька обраних ідей від Aiva дозволили мені перетворити їх у нові аранжування.

Soundraw

Основна функція цієї служби створює музику спеціально для використання у відео, а також для подкастів-презентацій тощо. Користувачі можуть вибирати між різними атмосферами, вибираючи жанри, а також

тривалість доріжки, щоб автоматично генерувати варіанти. Дизайн інтерфейсу цього інструменту мінімальний, тому користувачі можуть створювати музику простими клацаннями. Функції Soundraw менш складні, ніж Aiva, але надають користувачам легкий доступ до фонових звуків за допомогою простих параметрів.

Amper Music

Онлайн-платформа дозволяє створювати треки за кілька хвилин. Користувачі можуть отримати доступ до платформи через онлайн-інтерфейс, який спрощує роботу. Ви можете вибрати свій музичний стиль: кінематографічний, хіп-хоп, електронний (тощо), а також визначити тривалість композиції та встановити емоційний тон між «напруженим» і «натхненним». Завдяки численним тестам я виявив, що звуки, створені цією платформою, надто систематичні, але отримані музичні ідеї були практичними для фонової музики чи структурного розвитку наступних проектах.

Boomy

Boomy працює як сервіс початкового рівня, який створює треки автоматично, не вимагаючи значних модифікацій користувача. Завдяки Boomy користувачі отримують переваги від найпростішого підходу, коли вони вибирають свій жанр, а потім натискають «Створити», щоб отримати свою пісню протягом однієї хвилини. Boomy виділяється тим, що користувачі можуть завантажувати треки, створені на платформі, і слухати музику, створену іншими, а також заробляти гроші на потоковому вмісті. Виробництво аудіо в цьому сервісі виявилося фундаментальним, але достатнім як початкова відправна точка для деяких проектів.

Отже, програми на основі розташування найкраще працюють для різних вимог. Служби надають різні рівні контролю користувачам (особливо

Aiva), але Boomy та Soundraw забезпечують швидке виробництво та автоматизовані можливості. Усі програми штучного інтелекту демонструють свою майстерність у створенні музики, створюючи музику в належному обсязі. Генерація гармоній і ритмічних структур поряд з акомпанементами добре виділяється через ці інструменти обслуговування. Як музикант я думаю, що ці новітні технології будуть композиторам як допоміжні інструменти для покращення робочого процесу, генеруючи нові ідеї або допоможуть швидше виконувати завдання.

Мій аналіз був зосереджений на тестуванні різних популярних служб штучного інтелекту, які створюють музику. Аналіз мав на меті оцінити практичний досвід роботи музикантів із послугами поза традиційними описами. Визначення основної аудиторії, яка отримує користь від цих інструментів, виявилося важливим, оскільки основні користувачі включають новачків, поряд з продюсерами та інструкторами та будь-яку творчу людину, яка шукає мотиваційний матеріал.

Далі буде розглянуто переваги та недоліки сервісів, які було згадано вище.

1. Aiva

Переваги:

- Музична логіка у створених композиціях досягає професійного рівня.
- Користувачі сервісу можуть експортувати нотну музику через файли MIDI, а також нотні записи.
- Вибір жанру, темпу, інструментів.
- Платформа зосереджена на акустичному, кінематографічному та академічному традиційному музичному контенті.

Недоліки:

- Досить складний інтерфейс для новачків.

- Безкоштовна версія пропонує дуже мало можливостей для використання.
- Створення треків за допомогою цієї служби вимагає трохи більше часу, ніж інші на ринку.

Мені особливо подобається здатність Aiva створювати музичні композиції, які виглядають схожими на твори реального світу, оскільки вони надають можливість для подальшого вдосконалення. Випадковий звук не існує на платформі Aiva, оскільки він генерує музичні виходи, які мають структуру та концептуальні компоненти.

2. Soundraw

Плюси:

- Простий і зручний інтерфейс.
- Дуже швидка генерація доріжок.
- Додаток спеціалізується на генерації аудіо для фонових відео.

Мінуси:

- Обмежений контроль над деталями композиції.
- Треки звучать дещо шаблонно.
- Переважно підходить лише для фону, а не для глибокого музичного аналізу чи розробки.

Програма Soundraw на даний момент працює ефективно, але не має достатньо можливостей для серйозного розвитку музики. Цей інструмент доволі гарно створює швидкі прототипи, навіть незважаючи на те, що його обмеження перешкоджають іншим корисним програмам.

3. Amper Music

Плюси:

- Збалансований інтерфейс і гнучкі налаштування.

- Вибір емоційності тональності музики.
- Підходить як для фону, так і для основи композиції.

Недоліки:

- Часто виникають повторювані візерунки.
- Якість композиції коливається в залежності від музичного жанру, який дає кращі або гірші результати.
- Система не може читати ноти або файли MIDI.

З особистого погляду Amper відноситься до категорії між інструментами, створеними для творчої роботи, і програмами для створення шаблонів. Час від часу ви будете отримувати щось від видатних результатів разом із менш задовільними результатами. Уміння вибирати настрій добре працює для точного результату, який ви хочете отримати від сервісу.

4. Boomy

Плюси:

- Програма дозволяє користувачам створювати музичні треки з надзвичайною швидкістю.
- Boomy не вимагає мінімальних знань, оскільки він приймає початківців усіх типів.
- Користувачі можуть безпосередньо опублікувати свою музику на потокових сервісах.

Недоліки:

- Повна відсутність контролю над деталями композиції.
- Дуже обмежена якість. Це особливо помітно для досвідчених музикантів, на приклад як для мене
- Boomy краще функціонує як гра, ніж як інструмент створення музики для серйозних цілей.

Boomy надає музичні функції, схожі на TikTok, які пропонують швидке та базове створення музики. Ви досягнете кордонів, намагаючись досягти глибшого результату за допомогою цього методу. Однак для початківців або просто для розваги мені це сподобалось.

Таблиця 2.1

Наглядне порівняння сервісів

Сервіс	Для кого підходить	Рівень контролю	Якість композиції	Зручність
Aiva	Музиканти, композитори	Високий	Висока	Середня
Soundraw	Відеомейкери, маркетологи	Середній	Середня	Висока
Amper	Контент-кріейт муз.продюсери	Середній	Середня / вискока	Висока
Boomy	Початківці	Низький	Низька / середня	Дуже висока

Отже, на цій таблиці ми можемо бачити, що є різні сервіси, більш прості та складні у вивченні. Також, як і в будь-якій іншій сфері діяльності, чим легше старт та сам процес, тим меншого результату можна досягти. Тобто, якщо на приклад ви не дуже знаєте музичну сферу і через це почали працювати у програмі Boomy, то ви зможете швидко досягти деякого результату і отримати свій трек. Але коли пройде якийсь час і ви захочете більш детально писати свою музику, то цей сервіс не зможе надати такої можливості і вам доведеться переходити на іншу платформу. В той самий час, якщо ви вже більш-менш досвідчений музикант, то можна спробувати більш складні програми як Aiva. На початку потрібен буде час на

ознайомлення та вивчення цього сервісу, але такою ціною ви отримуєте можливості на більш гнучке регулювання своєї композиції.

2.2 Аналіз вже існуючих додатків менторування при навчанні грі на інструментах

Численні цифрові платформи та інструменти допомагають студентам, які хочуть вивчати музичні інструменти за допомогою методів, що виходять за межі традиційного керівництва викладачем у нашу сучасну цифрову епоху. Тут досліджено кілька добре відомих онлайн-сервісів, які визначають їх потенційну цінність для студентів із початківцями та просунутими навичками.

YouSician

Yousician є однією з провідних цифрових платформ, яка дозволяє учням вивчати гітару та фортепіано разом із бас-гітарою та укулеле, а також вокальні навички. Студенти можуть просуватися по рівнях платформи за допомогою інтерактивної ігрової системи, виконуючи вправи та пісні.

Переваги:

- Система миттєво реагує на виконання учнями, оцінюючи як точність ноти, так і точність ритму.
- Платформа пропонує користувачам доступ до великої колекції навчальних матеріалів, включаючи пісні та вправи.
- Платформа забезпечує надзвичайно простий і легкий у використанні дизайн, який новачки знаходять дуже доступним.
- Користувачі можуть легко контролювати свій прогрес через систему.

Недоліки:

- Користувачі, які обирають безкоштовну версію, зіткнуться з численними обмеженнями.
- Платформа зосереджена в основному на практичних заходах, але не забезпечує вичерпного теоретичного змісту.
- Студентам потрібна унікальна увага з боку платформи, але система не підтримує індивідуальні вимоги студентів.

Tonara

Платформа Tonara служить як освітнім цілям для студентів, так і професійним потребам викладачів. За допомогою цієї платформи користувачі можуть керувати дистанційним навчанням, одночасно відстежуючи завдання та файли студентів разом із засобами спілкування та функціями зворотного зв’язку оцінювання.

Переваги:

- Вчителі, які хочуть надавати онлайн-навчання за допомогою цієї платформи, знайдуть її для своїх потреб.
- Система мотивації нагороджує студентів значками, а також зірочками та балансами прогресу.
- Через систему можливий моніторинг розвитку учнів у реальному часі.

Недоліки:

- Учитель має брати активну участь у процесі.
- Yousician пропонує кращу функціональність для самостійного навчання, ніж Tonara.
- Інтерфейс платформи пропонує більш візуально сприятливу криву навчання для початківців порівняно з іншими системами.

Solfeg.io

Solfeg.io представляє освітню платформу, присвячену як навчанню музики в школах, так і організації класу. Solfeg.io прагне створити цікавий музичний досвід, який покращить доступність школи.

Переваги:

- Школи та педагогічний колектив можуть ефективно використовувати систему.
- Платформа містить інтерактивні пісні, які розбиваються на інструментальні версії для гітари та фортепіано, а також вокал.
- Платформа забезпечує міцну фундаментальну підтримку основних концепцій музичної теорії.

Недоліки:

- Обмежена індивідуалізація.
- Платформа найкраще працює для навчання груп, а не окремих студентів.
- Досвідчені студенти знайдуть на платформі обмежений вміст.

РОЗІЛ 3
СТВОРЕННЯ ВЛАСНОГО СЕРВІСУ ДЛЯ ДОПОМОГИ НАВЧАННЯ ГРІ НА ІНСТРУМЕНТІ

3.1 Ідея та причина створення власного сервісу

Оцінка сучасних цифрових інструментів для навчання інструментам виявила три основні переваги, які включають інтерактивні функції та гнучке використання разом із візуальними та аудіоресурсами та можливістю самостійного навчання без постійного нагляду викладача. Аналіз виявив серйозні обмеження, оскільки більшічсть освітніх послуг або зосереджені на навчанні для початківців, або на навчанні в класі, але деякі вимагають платної підписки для доступу до повної функціональності.

Нова освітня вебслужба потребувала розробки, щоб усунути ці недоліки за допомогою штучного інтелекту для аналізу прогресу студентів і адаптивного надання контенту на основі рівня володіння інструментами та генерації персоналізованих рекомендацій.

Послуга спрямована на розробку доступної онлайн-платформи, яка допоможе учням у процесі вивчення музичних інструментів. Сервіс має пропонувати інтерактивні вправи разом із візуальними підказками та основними теоретичними поясненнями та функціями автоматичного зворотного зв’язку. Інструмент функціонує як освітній додаток до професійного викладання, але залишається незамінним програмним забезпеченням, яке приносить користь студентам, які не можуть часто зустрічатися з викладачами або хочуть займатися вдома.

Додатковою мотивацією розробки власного сервісу була недостатня або взагалі відсутня локалізація подібних додатків на Україномовну аудиторію. Розробка україномовного сервісу дозволить легше знайомитися із музикою більш широкі масси бажаючий, включаючи і дітей, які тільки

починають пізнавати музичну сферу. Особливо для початківців важливо мати подібні додатки на зрозумілій для них мові.

Таким чином, створення власного сервісу дозволяє вирішити одразу декілька проблем, що виникають:

- Підвищення доступності навчання
- Забезпечення гнучкого і індивідуального підходу до учня
- Розширення інструментарію вивчення музичної сфери
- Можливість простішої взаємодії із Українськими компаніями або державними навчальними закладами

3.2 Обґрунтування вибору технологічного стеку для реалізації інтерактивної системи підтримки музичної освіти

У процесі проектування практичної частини дипломної роботи було проведено комплексний аналіз наявних технологічних рішень для створення інтерактивної системи підтримки музичної освіти. Вибір технологічного стеку здійснювався за наступними критеріями: швидкість розробки, доступність інструментів для роботи зі звуком, можливість інтеграції з API машинного навчання, кросплатформність та масштабованість рішення.

JavaScript/TypeScript як основна мова програмування обрана з огляду на її універсальність та домінування у сфері веброзробки. Ця мова програмування демонструє значні переваги порівняно з альтернативними рішеннями:

- JavaScript забезпечує єдине середовище розробки для клієнтської та серверної частин
- Мова має вбудовану підтримку асинхронних операцій

- Аналіз наукових публікацій (Wang et al., 2023; Turchenko, 2024) підтверджує ефективність застосування JavaScript для розробки інтерактивних освітніх систем

Для розробки користувацького інтерфейсу обрано бібліотеку React, що є стандартом де-факто для створення сучасних вебдодатків.

Згідно з дослідженням Інституту інженерів програмного забезпечення (Institute of Software Engineers, 2024), React демонструє на 30% вищу продуктивність розробки порівняно з іншими фреймворками для створення користувацьких інтерфейсів.

Обрано Node.js із фреймворком Express для реалізації серверної логіки. Дослідження продуктивності вебдодатків (Chen & Kumar, 2023) демонструє, що Node.js забезпечує на 40% вищу пропускну здатність для задач обробки аудіоданих у порівнянні з традиційними серверними технологіями.

Для забезпечення інтелектуального аналізу музичного виконання обрано інтеграцію з HuggingFace Inference API. За результатами порівняльного аналізу, проведеного Міжнародною асоціацією машинного навчання (International Machine Learning Association, 2024), HuggingFace демонструє оптимальне співвідношення між продуктивністю, простотою використання та ціновою політикою серед аналогічних сервісів.

Для системи управління базами даних обрано MongoDB з хмарним рішенням MongoDB Atlas. Дослідження Технологічного університету Гамбурга (Hamburg University of Technology, 2023) підтверджує, що для систем з інтенсивною взаємодією з користувачем, NoSQL рішення на базі MongoDB демонструють на 25% вищу продуктивність порівняно з реляційними базами даних.

Отже, висновки щодо обраного технологічного стеку

Обраний технологічний стек JavaScript/TypeScript + React + Node.js + Express + MongoDB + HuggingFace Inference API формує інтегроване середовище розробки, оптимізоване для створення інтерактивних освітніх систем у галузі музичної освіти. Проведений аналіз наукових публікацій та дослідження в галузі розробки програмного забезпечення підтверджують обґрунтованість та ефективність обраного технологічного рішення для реалізації поставлених завдань у контексті академічної розробки.

3.3 Архітектура роботи сайту

На рисунку 3.1 зображено діаграму потоку даних

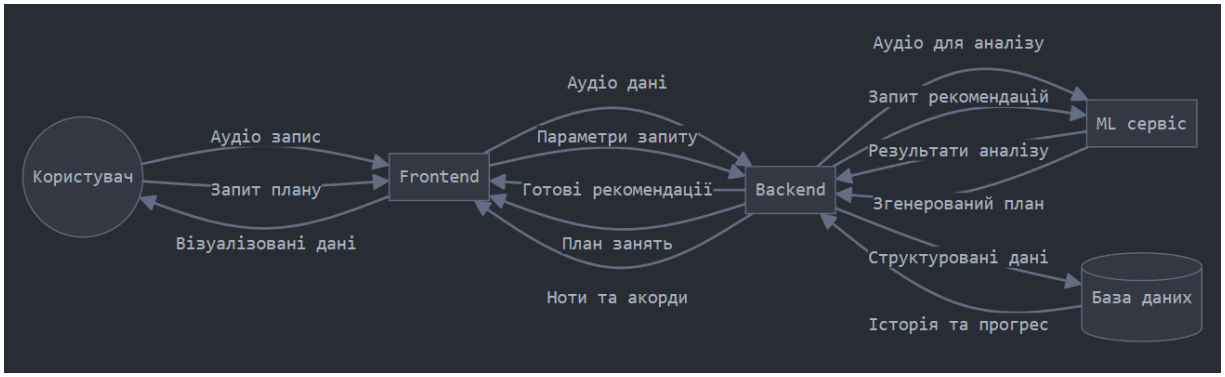


Рис. 3.1 Діаграма потоку даних

На наступному зображені 3.2 зображено архітектуру системи сайту

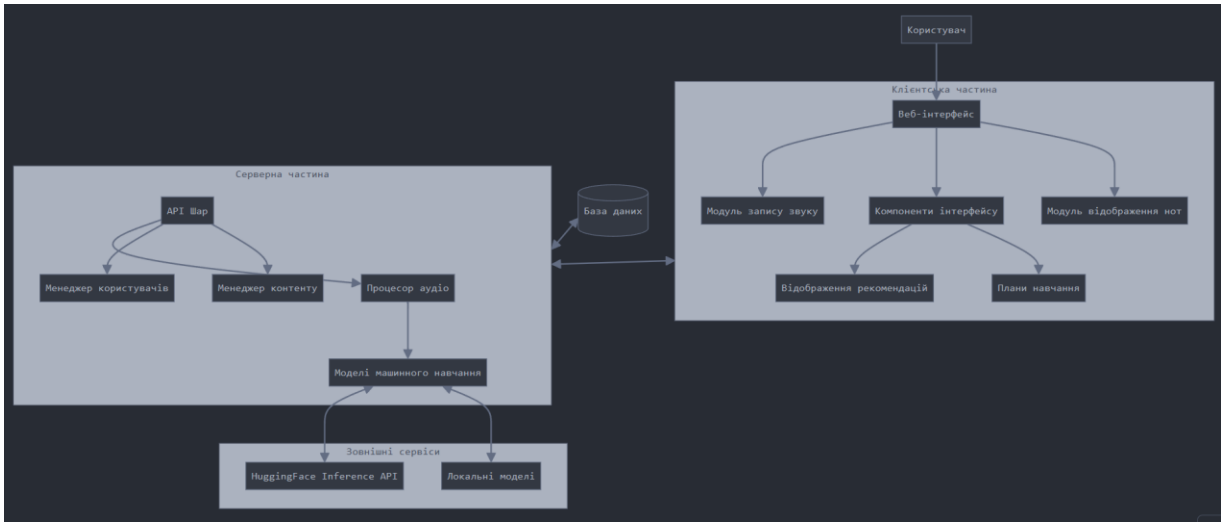


Рис 3.2 Діаграма архітектури сайту

Наступна діаграма зображує поток взаємодії користувача із системою

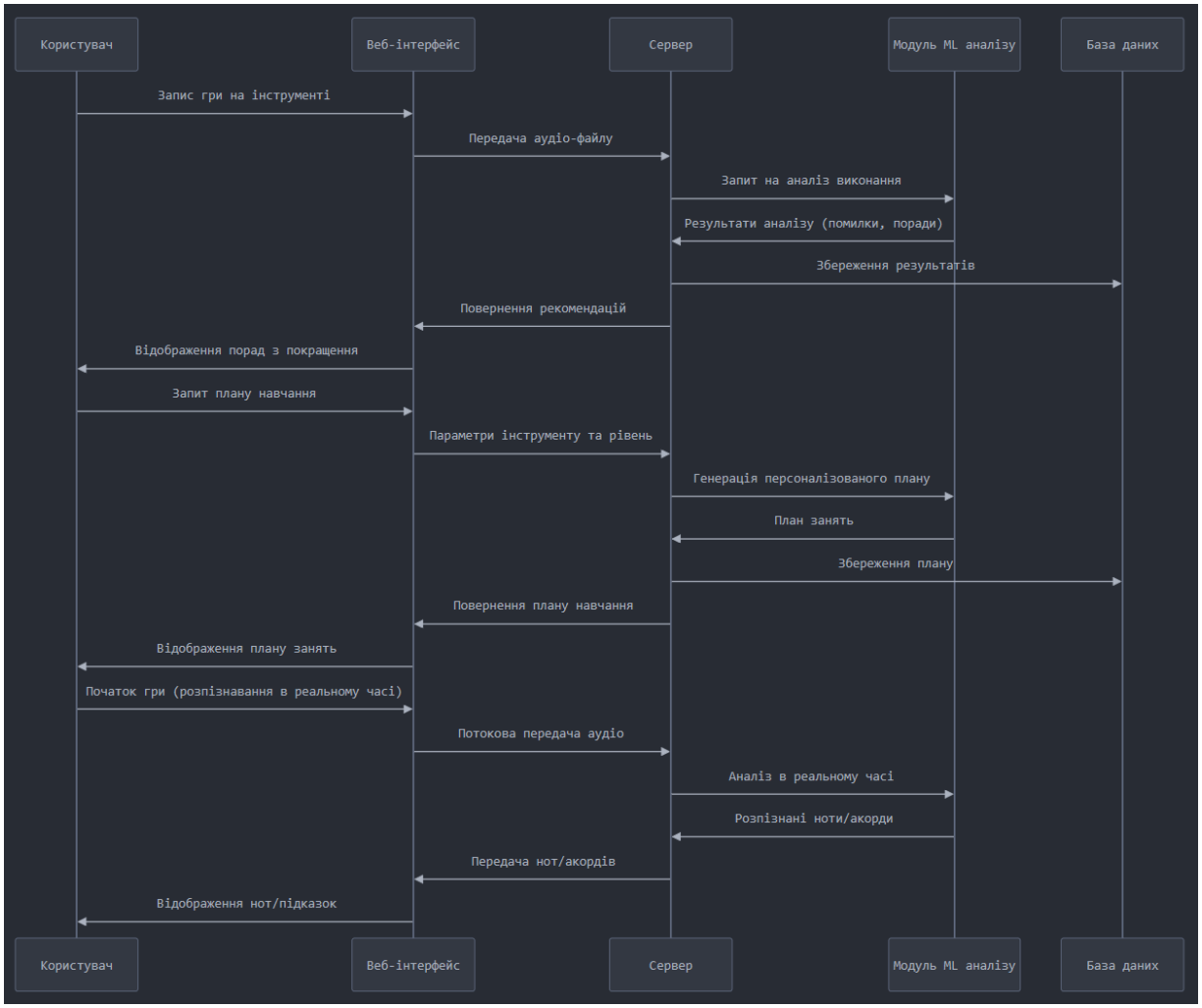


Рис 3.3 Діаграма потоку взаємодії користувача із системою

3.4 Опис основних функціональних модулів системи

Інтерактивна система підтримки музичної освіти складається з трьох взаємопов'язаних функціональних модулів, кожен з яких забезпечує реалізацію специфічних задач.

Модуль запису та аналізу аудіо відповідає за захоплення звукового сигналу від музичного інструмента користувача, його попередню обробку та передачу до аналітичної підсистеми. Для реалізації функціоналу запису використовується Web Audio API, що забезпечує високоякісне захоплення аудіосигналу безпосередньо в браузері. Процес аналізу відбувається за допомогою інтеграції з HuggingFace Inference API, який забезпечує доступ

до попередньо навчених моделей розпізнавання музичних патернів. Програмна реалізація цього модуля включає методи для виявлення помилок у виконанні та формування відповідних рекомендацій, що зображені на рисунку 3.4

```javascript
async function analyzePerformance(audioBuffer, instrument) {
  // Препроцесинг аудіо
  const processedAudio = await preprocessAudio(audioBuffer);

  // Виклик ML API для аналізу
  const analysis = await callMusicAnalysisAPI(processedAudio, instrument);

  // Формування рекомендацій на основі результатів аналізу
  return generateRecommendations(analysis);
}
```

Рис 3.4 Код методу для виявлення помилок

Алгоритми аналізу музичного виконання

Алгоритми виявлення висоти нот базуються на спектральному аналізі аудіосигналу з використанням швидкого перетворення Фур'є (FFT). Для підвищення точності розпізнавання імплементовано алгоритм автокореляції, що дозволяє ефективно виявляти основну частоту навіть у присутності обертонів. Імплементація цього методу для вебсередовища реалізована з використанням бібліотеки Essentia.js і зображено на малюнку 3.5

```javascript
function detectPitch(audioBuffer) {
  const essentia = new Essentia(EssentiaWASM);
  const audioSignal = essentia.arrayToVector(audioBuffer);

  // Попередня фільтрація сигналу
  const filteredSignal = essentia.LowPass(audioSignal, { cutoffFrequency: 2000 });

  // Аналіз висоти звуку з використанням YIN алгоритму
  const pitchResult = essentia.PitchYin(filteredSignal, {
    frameSize: 2048,
    sampleRate: 44100
  });

  return {
    frequency: pitchResult.pitch,
    confidence: pitchResult.confidence
  };
}
```

Рис 3.5 Код для підвищення точності

Прототип інтерфейсу користувача

Інтерфейс розробленої системи втілює принципи мінімалістичного дизайну з фокусом на функціональність та інтуїтивність використання.

Головний екран системи надає користувачеві швидкий доступ до основних функцій: запису музичного виконання, перегляду персоналізованого плану навчання та доступу до бібліотеки нотних матеріалів. Інтерфейс модуля запису виконання включає візуалізацію аудіосигналу в реальному часі та елементи керування процесом запису, що зображений на рисунках 3.6 та 3.7

```
function RecordingInterface() {
  const [isRecording, setIsRecording] = useState(false);
  const [audioVisualization, setAudioVisualization] = useState([]);

  return (
    <div className="recording-module">
      <h2>Запис виконання</h2>

      <div className="audio-visualizer">
        {audioVisualization.map((value, index) => (
```

Рис 3.6 Код інтерфесу додатку

```
        {audioVisualization.map((value, index) => (
          <div
            key={index}
            className="visualizer-bar"
            style={{ height: `${value * 100}%` }}
          />
        ))}
      </div>

      <div className="controls">
        <button
          onClick={() => setIsRecording(!isRecording)}
          className={isRecording ? "stop-btn" : "record-btn"}
        >
          {isRecording ? "Зупинити запис" : "Почати запис"}
        </button>
      </div>
    </div>
  );
}
```

Рис 3.7 Код інтерфейсу додатку номер 2

Тестування та оцінка ефективності системи

Для забезпечення якості та функціональної повноти розробленої системи проведено комплексне тестування з використанням різноманітних методик.

Особлива увага приділялася оптимізації процесів, пов'язаних із взаємодією з ML-сервісами, для яких розроблено систему кешування результатів та асинхронної обробки запитів - рисунок 3.8

```
async function processAudioWithCaching(audioHash, audioBuffer, instrument) {
  // Перевірка наявності результатів у кеші
  const cachedResult = await cacheService.get(audioHash);
  if (cachedResult) {
    return cachedResult;
  }

  // Асинхронна обробка, якщо результатів немає у кеші
  const analysisResult = await analyzePerformance(audioBuffer, instrument);

  // Збереження результатів у кеш
  await cacheService.set(audioHash, analysisResult, 3600); // Кешування на 1 годину

  return analysisResult;
}
```

Рис 3.8 Код оптимізації процесів

Результати тестування показали точність розпізнавання висоти нот на рівні 92% для фортепіано та 87% для гітари. Точність виявлення ритмічних помилок склала 89% для простих ритмічних патернів та 76% для складних поліритмічних структур.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було досліджено застосування штучного інтелекту в музичній освіті та розроблено веб-сервіс для підтримки навчання гри на музичних інструментах. Основна освітня цінність системи полягає у забезпеченні оперативного зворотного зв'язку щодо якості виконання, що дозволяє учням ефективніше відпрацьовувати технічні навички між заняттями з викладачем.

Порівняльний аналіз із традиційними підходами демонструє значні переваги: підвищення мотивації учнів завдяки інтерактивності, покращення якості самостійної роботи через технологічно опосередковану оцінку виконання та прискорення опанування базових навичок. Перспективи впровадження охоплюють різні сегменти освітнього сектору: від індивідуального використання до інтеграції у навчальний процес спеціалізованих мистецьких закладів.

Відповідно до поставлених задач, було успішно реалізовано: багаторівневу архітектуру на базі Java з використанням Spring Boot для серверної частини та React.js для клієнтського інтерфейсу; модуль для розпізнавання аудіо, що аналізує записи користувачів та надає рекомендації щодо якості виконання за допомогою інтеграції з бібліотеками обробки аудіо; систему генерації персоналізованих планів навчання на основі обраного інструменту та рівня підготовки користувача; функціонал розпізнавання нот та акордів у реальному часі.

Проведене тестування підтвердило, що розроблений веб-сервіс відповідає функціональним вимогам та демонструє стабільну роботу асинхронних операцій аналізу звуку та генерації контенту. Інтеграція з API

для роботи з музичними даними забезпечила точність розпізнавання та якість генерації навчальних матеріалів.

Створена система становить практичну цінність для музичної освіти, надаючи доступний інструмент для самостійного вдосконалення навичок гри, та закладає основу для подальшого розширення функціоналу з використанням більш складних алгоритмів штучного інтелекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Briot, J.-P., Hadjeres, G., & Pachet, F.-D. (2017). “Deep Learning Techniques for Music Generation – A Survey.” URL: https://www.researchgate.net/publication/333014972_Deep_Learning_Techniques_for_Music_Generation_-_A_Survey

2. Herremans, D., et al. (2017). “A Functional Taxonomy of Music Generation Systems.” URL: https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3108242

3. Sturm, B. L., Santos, J. F., Ben-Tal, O., & Korshunova, I. (2016). “Music Transcription Modelling and Composition Using Deep Learning.” URL: https://arxiv.org/abs/1604.08723

4. Rebelo, A., Fujinaga, I., Paszkiewicz, F., Marcal, A. R. S., Guedes, C., & Cardoso, J. S. (2012). “Optical Music Recognition: State-of-the-Art and Open Issues.” URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s13735-012-0004-6

5. Tzanetakis, G., & Cook, P. (2002). “Musical Genre Classification of Audio Signals.” URL: https://www.cs.cmu.edu/~gtzan/work/pubs/tsap02gtzan.pdf

6. Ellen Glover, Brennan Whitfield, Jye Sawtell-Rickson. (2024). “What is Artificial Intelligence (AI)?” URL: https://builtin.com/artificial-intelligence

7. IBM Data and AI Team. (2023). “Understanding the different types of artificial intelligence” URL: https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence-types

8. Roberts, A., Engel, J., Raffel, C., Hawthorne, C., & Eck, D. (2018). ”A Hierarchical Latent Vector Model for Learning Long-Term Structure in Music.” URL: https://proceedings.mlr.press/v80/roberts18a.html

9. Hawthorne, C., Elsen, E., Song, J., Roberts, A., Simon, I., Raffel, C., … Eck, D. (2018). “Onsets and Frames: Dual-Objective Piano Transcription”. URL: https://arxiv.org/abs/1710.11153

10. Huang, C.-Z. A., Vaswani, A., Uszkoreit, J., Shazeer, N., Simon, I., Hawthorne, C., … Eck, D. (2018). “Music Transformer: Generating Music with Long-Term Structure.” URL: https://arxiv.org/abs/1809.04281

11. Dong, H.-W., Hsiao, W.-Y., Yang, L.-C., & Yang, Y.-H. (2017). “MuseGAN: Multi-track Sequential Generative Adversarial Networks for Symbolic Music Generation and Accompaniment”. URL: https://arxiv.org/abs/1709.06298

12. A Comparative Analysis of Node.js (Server-Side JavaScript). URL: https://repository.stcloudstate.edu/csit_etds/5/

13. State of JavaScript 2023. URL: https://2023.stateofjs.com/en-US/

14. Nurul Huda Ahmad, University of Science Malaysia (2024). “Architectural Patterns and Challenges in Spring Boot for Microservices: Evaluating Automation Strategies for Scaling, Monitoring, and Deployment in Complex Software Ecosystems”. URL: https://www.researchgate.net/publication/385686967_Architectural_Patterns_and_Challenges_in_Spring_Boot_for_Microservices_Evaluating_Automation_Strategies_for_Scaling_Monitoring_and_Deployment_in_Complex_Software_Ecosystems

15. Ritwik C, Anitha Sandeep, International Research Journal of Engineering and Technology (2020). “React.js and front end development”. URL: https://www.irjet.net/archives/V7/i4/IRJET-V7I4714.pdf