

С.В. Поперешняк, В.І. Фукс, А.К. Цуркан, В.В. Жебка

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ РОБОТИ З МУЗИЧНИМИ НОТАМИ

В роботі було проаналізовано існуючі програмні рішення та успішні ІТ-проекти і виявлені їхні переваги та недоліки. Це допомогло визначити вимоги до продукту, який буде конкурентоспроможним та відповідатиме вимогам сучасного ринку. Здійснено моделювання та проектування програмного забезпечення, описано клієнт-серверну архітектуру застосунку і взаємодію підсистем. Розроблено та протестовано мобільний додаток, а також визначено подальші напрямки вдосконалення та розвитку застосунку. Застосунок обробляє PDF файл із заданою швидкістю метроному у mp3 та mp4, що дає користувачу можливість бачити і прослуховувати нотну грамоту. Проєкт включає в себе Android-застосунок, із зрозумілим та зручним інтерфейсом, інтеграцію із зовнішніми утилітами і бібліотеками. В роботі було зібрано в один потік обробку файлів із формату pdf до таких музичних та програваних файлів, як midi, musicxml, mp3, mp4. Було вдосконалено процес розбору творів та гри із повним циклом обробки музичних файлів за рахунок забезпечення користувача усіма програмними модулями та вдосконалено процес обробки візуальних нот і приведення їх до зручних у використанні файлів, таких як відео, що поєднує ноти зі звуком. Робота має важливе значення, оскільки сприяє розвитку методів цифрової обробки музики. Впровадження сучасних технологій розпізнавання нот і візуалізації музичних елементів сприяє технологічному прогресу у сфері музичної розробки.

Ключові слова: мобільний додаток, обробка нот, метроном, клієнт-серверна архітектура, комп'ютерне музикознавство; система музичних рекомендацій; музична терапія.

S. Popereshnyak, V. Fuks, A. Tsurkan, V. Zhebka

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE APPLICATION FOR WORKING WITH MUSICAL NOTES

In the work, existing software solutions and successful IT projects were analyzed and their advantages and disadvantages were identified, which helped determine the requirements for a product that would be competitive and meet the requirements of the modern market. Modeling and designing of the software was carried out, the client-server architecture of the application was described, as well as the interaction of subsystems. The mobile application was developed and tested, and further directions for improvement and development of the application were determined. The application processes a PDF file with a given metronome speed in mp3 and mp4, which gives the user the opportunity to see and listen to the sheet music. The project includes an Android application with a clear and convenient interface, integration with external utilities and libraries. In the work, the processing of files from pdf format to such music and playback files as midi, musicxml, mp3, mp4 is collected in one stream. The process of parsing and playing with full-cycle processing of music files has been improved, by providing the user with all software modules, and the process of processing visual notes and bringing them to easy-to-use files, such as videos that combine notes with sound, has been improved. The work is important because it contributes to the development of digital music processing methods. The introduction of modern technologies for note recognition and visualization of musical elements contributes to technological progress in the field of music development.

Key words: mobile application, sheet music processing, interpretation, score, metronome, client-server architecture, computer musicology; music recommendation system; music therapy.

Вступ

У сучасному високотехнологічному світі, де штучний інтелект визначає нові горизонти можливостей, музична індустрія не лише адаптується до цих змін, а й акти-

вно використовує їх для досягнення вищих стандартів творчості та ефективності. У цьому контексті розвиток універсального інструменту, спрямованого на роботу з му-

зичними нотами, представляє собою важливий крок у автоматизації завдань, пов'язаних із створенням та освоєнням музики.

Актуальність даної роботи визначається насущною потребою в адаптації музичної індустрії до сучасних вимог шляхом використання передових технологій. Застосування штучного інтелекту в музичній творчості відкриває нові можливості для артистів і аудиторії, роблячи творчий процес більш доступним та захоплюючим.

На сучасному етапі розвитку технологій вже можна спостерігати значні досягнення у використанні штучного інтелекту в музичній сфері [1-2]. Алгоритми аналізу музичних структур, створення нових композицій та автоматизація процесів звукозапису є важливими етапами еволюції цієї галузі.

Сучасне положення речей є таким, що ресурсів із повним циклом обробки музичних файлів не так багато, тож існує потреба в універсальному та зручному ресурсі, який би забезпечував користувача усіма програмними модулями, необхідними для розбору творів та гри.

Новий універсальний інструмент для роботи з музичними нотами може стати не тільки інноваційним рішенням для артистів, а й вирішальним елементом для аналізу, організації та створення музики. Його можливості знаходять застосування в різних аспектах творчості, забезпечуючи автоматизацію ключових базових процесів і простір для творчого розкриття музикантів. Мобільний застосунок – це крок назустріч музикантам, вчителям музики, композиторам; це допомога як для тих, хто тільки починає свою кар'єру в музичному світі, так і для тих, хто вже не раз підкорював сцену своєю грою. Дана розробка, оброблюючи нотні тексти, дає змогу людині за музичним інструментом грати, не відволікаючись на сторонні завдання, які зробить за неї цей музичний асистент.

Пропонована робота може знайти застосування у сфері музикотерапії. Музична терапія останнім часом широко досліджується. Ця робота також може бути використана для розроблення інтелектуального мультимедійного інструменту, який можна застосовувати в сфері охорони здоров'я. У рамках цієї роботи може бути створено ци-

фрову музичну бібліотеку. Розроблено програму для мобільних пристроїв на основі мультимедіа, яка може відтворювати музику по нотах. Даний застосунок, варто розширити системою рекомендацій щодо музики на основі мобільного додатку можна використовувати для різних цілей, зокрема для навчання, розваг і охорони здоров'я.

Штучний інтелект у музиці

Людство завжди розраховувало на те, що штучний інтелект полегшить багато аспектів нашого життя, включно з управлінням системами, розв'язанням складних математичних задач, програмуванням та діагностикою. Однак мало хто міг уявити, що ШІ може виявити творчі здібності, ставши поетом, художником, літератором чи музикантом. Такий поворот у розвитку технологій підкреслює, що межі між тим, що вважалось винятково людським, постійно стираються, і штучний інтелект виявляється не лише інструментом у наших руках, а й справжнім творцем, здатним дивувати своїми творчими досягненнями.

На сьогоднішній день у музичній сфері охоче експериментують із застосуванням ШІ у своїх творчих процесах.

Багато людей, хто цікавиться музикою, навіть досвідчені музиканти, можуть стикатися з труднощами в навчанні нових музичних творів, збагаченні свого музичного досвіду або знаходженні натхнення для творчості. Зокрема, постійне відволікання на перевертання нот, складність в їх розпізнаванні, використання окремих додатків для метроному або прослуховування композицій та потреба в зручному місці для зберігання творчих напрацювань стають факторами, які потребують елегантного та функціонального рішення. У зусиллях спростити та полегшити музичний процес, виникає необхідність універсального додатка, який об'єднає всі ці аспекти.

Застосування мобільного додатка в музичній терапії

Система музичних рекомендацій відіграє важливу роль у музичній терапії. Система рекомендацій щодо музики пропонує музику для користувачів залежно від різних

факторів, таких як настрої людини, її поведінка, вибір, схожість, основні частоти, часові інтервали тощо. Рис.1. зображує загальний зв'язок між системою музичних рекомендацій і музичною терапією [3].

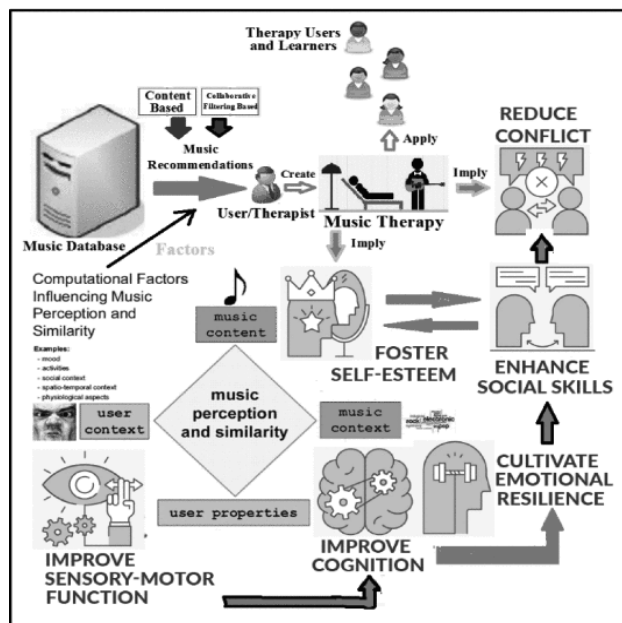


Рис. 1. Загальний зв'язок між системою музичних рекомендацій і музичною терапією.

Музика має здатність зцілювати деякі хвороби людського організму [3]. Тому кажуть, що вона має терапевтичні властивості [4]. Музична терапія — це область парамедицини, в якій музика використовується для різних терапевтичних цілей. Музичну терапію можна використовувати для лікування навіть психологічних і фізіологічних проблем, таких як мезотеліома, перитонеальна мезотеліома, астма, азбестовий рак, депресія тощо [4-5].

У свою чергу такий мобільний додаток може бути застосований у сфері електронної охорони здоров'я. Розроблюваний застосунок може діяти як електронна система охорони здоров'я для певних цілей на основі музичної терапії.

Музика та емоції безпосередньо пов'язані одне з одним і це вже встановлено. Стаття [6] описує дослідницький проєкт, спрямований на розробку системи аналізу музики, яка представляє аналіз клінічної музичної терапії. Музика є дуже ефективним способом психічного лікування і управління психікою людини за допомогою музичної терапії.

Стаття [7] є посиланням на веб-сайт, який ілюструє різні назви творів та їх відповідну цілющу силу. Робота, описана в [8], представляє техніку рекомендацій щодо музики, засновану на аналізі інформації про вміст і контекст. Робота, описана в [9], представляє контекстно залежну систему рекомендацій мобільної музики.

Робота, представлена в [10], репрезентує модель музичної творчості, а не алгоритмічні музичні варіації за допомогою генетичних алгоритмів. Реалізація цієї моделі базується на програмному забезпеченні Genome. Було використано статистичний підхід для знаходження подібної моделі пісень за допомогою коефіцієнта дисперсії [11]. За допомогою нейронних мереж у [12] розроблено систему рекомендацій на основі часу. У [13] описано систему рекомендованої музики, яка класифікує різні пісні, що підходять для різного часу доби. Інтелектуальний механізм для автоматичної ідентифікації щільності певного музичного ритму та складності цього музичного ритму був запропонований у [14]. Система музичних рекомендацій була досліджена в [15]. Робота забезпечує персоналізовану послугу музичних рекомендацій за допомогою поліфонічних музичних об'єктів з використанням формату MIDI (Musical Instrument Digital Interface). Користувач аналізує профілі для групування користувачів на основі поведінки та інтересів користувачів. Вони використовують щільність висоти для вибору треку, який містить мелодію, що може бути обчислена як:

$$Pitch\ Density = \frac{NP}{AP}$$

де NP – кількість різних тонів у треку, AP – кількість усіх різних тонів у стандарті MIDI.

Ентропію висоти тону (PE) можна отримати наступним чином:

$$PE = -\sum_{j=1}^{NP} (P_j \log P_j),$$

де P_j представлено таким чином:

$$P_j = \frac{N_j}{T},$$

де N_j – загальна кількість нот з відповідною висотою в репрезентативній доріжці, T – загальна кількість нот у репрезентативній доріжці.

Музична група, що містить музичні об'єкти з широким доступом, має вищу вагу, ніж інші групи. Вага музичної групи (GW_i) може бути розрахована як:

$$GW_i = - \sum_{j=1}^n TW_j \times MO_{j,i},$$

де TW_j – вага транзакції T_j , n – кількість останніх транзакцій, використаних для аналізу MO_j , i – кількість музичних об'єктів, які належать до музичної групи G_i в транзакції T_j .

Різні числа (R_i) музичних об'єктів із музичних груп обчислюються (також рекомендовано) відповідно до GW_i наступним чином [10]:

$$R_i = \left\lfloor N \times \frac{GW_i}{\sum_{k=1}^m GW_k} \right\rfloor.$$

Дослідницьких робіт, які спонукають працювати далі та відкривати навіть нові виміри музикознавчих досліджень, досить багато. Комп'ютерне музикознавство є галуззю, яка найбільше розвивається і залежить від різних концепцій інформатики.

Аналіз відомих алгоритмічних та технічних рішень

У цьому проєкті головна увага приділяється реалізації оптичного розпізнавання музичних нот (OMR), програмним засобам для редагування та відтворення музики, рендеру зображень на основі музичних файлів, а також технологіям синтезу звуку та створення відео на основі звукової доріжки та зображень. Серед ключових інструментів, що розглядаються, є Audiveris для OMR, MuseScore як інструмент для редагування файлів формату MusicXML та SoundFont для синтезу звуку.

Audiveris визначається як передовий інструмент OMR, здатний перетворювати скановані партитури у цифрові формати. Це особливо корисно для музикантів, композиторів та музичних архівістів, які працюють з великими обсягами паперових нотних аркушів.

MuseScore є інтуїтивно зрозумілим та потужним інструментом для редагування нот, який використовується музикантами, композиторами та аранжувальниками по всьому світу. Цей програмний засіб дозволяє легко вносити зміни та візуалізувати

музичні твори, що робить його ідеальним для детальної роботи над музичними композиціями після їх первісного розпізнавання, наприклад, за допомогою Audiveris. В даній розробці MuseScore використано для внесення змін до файл - формату MusicXML.

SoundFont є ключовим інструментом у сфері цифрового аудіо, оскільки він надає різноманітні та якісні звуки для синтезу музики. Це технологія, яка дозволяє музикантам та продюсерам використовувати розширений набір звукових бібліотек, що імітують різні музичні інструменти - від традиційних до електронних. У даній розробці SoundFont використано для озвучення нот, переданих користувачем початково у PDF форматі.

Кожен із цих інструментів відіграє ключову роль на різних стадіях розробки музичного проєкту. Беручи до уваги специфіку проєкту, використано Audiveris для первинного розпізнавання нот, MuseScore для подальшого редагування музики, і SoundFont для фінального синтезу звуку. Ця комбінація забезпечує ефективний потік роботи від сканування нот до відтворення музики.

Моделювання та аналіз програмного забезпечення

Для визначення та подальшого опису бізнес-процесу програмного забезпечення використовується UML Sequence Diagram, що представлена на Рисунку 2.

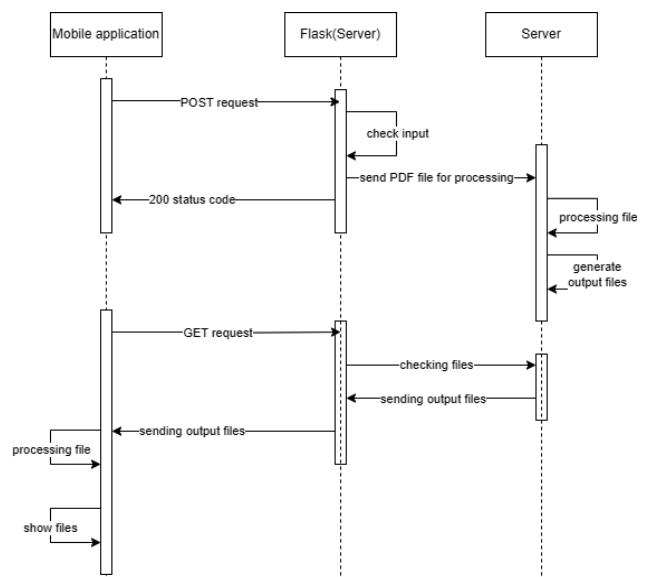


Рис. 2. UML Sequence Diagram

Опис послідовності базового потоку комунікації сервера та мобільного додатку:

- Додаток надсилає запит із файлом та швидкістю метроному на обробку
- Сервер перевіряє коректність вхідних даних
- Сервер(Flask) обробляє файл згідно із встановленою швидкістю
- Сервер надсилає підтвердження, що файл успішно оброблено
- Мобільний додаток надсилає запит на отримання даних
- Сервер(Flask) перевіряє готовність даних
- Дані відправляються на мобільний додаток

- Додаток розпаковує архів з файлами
- Додаток виводить користувачу на екран готові файли.

Ця система є прикладом клієнт-сервальної архітектури, де сервер реалізований за допомогою веб-фреймворку Flask і розміщений на localhost. Для забезпечення доступу до сервера ззовні, використовується Ngrok, сервіс, що дозволяє тунелювати зовнішні запити до локального веб-сервера. Мобільний додаток виступає в ролі клієнта, що взаємодіє з сервером через HTTP-запити.

Архітектуру візуально зображено на рисунку 3.

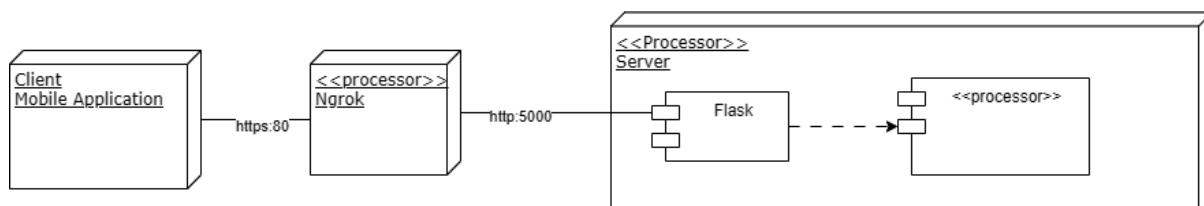


Рис. 3. Архітектура застосунку

Ця архітектура дозволяє реалізувати гнучку та ефективну взаємодію між мобільним додатком і сервером, що розміщений локально. Використання Ngrok полегшує доступ до локального сервера без необхідності його деплоювання в зовнішнє середовище. Flask як легкий веб-фреймворк забезпечує гнучкість та простоту розробки серверної логіки.

Основні утиліти, що були використані в дослідженні - це Audiveris, MuseScore та SoundFont.

Ці утиліти та технології відіграють ключову роль у процесі перетворення, оброблення та відтворення музики в системі. Вони дозволяють ефективно обробляти музичні дані, перетворювати їх між різними форматами та створювати якісні аудіовізуальні матеріали.

На рисунку 4 зображено діаграму компонент розроблюваного серверу.

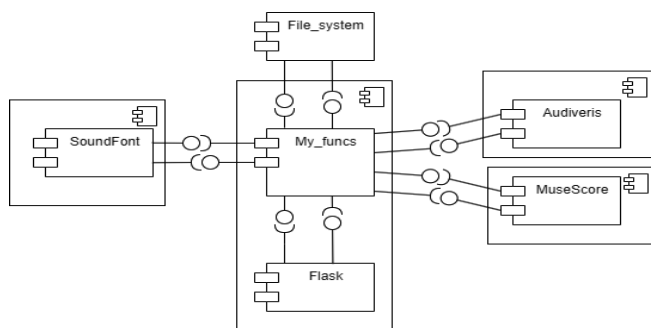


Рис. 4. Діаграма компонентів

На діаграмі компонентів представлено архітектуру сервера, який включає в себе веб-сервер Flask та модуль my_funcs, а також взаємодію із зовнішніми компонентами, такими як файлова система, SoundFont, Audiveris та MuseScore. Кожен із цих компонентів відіграє свою роль у загальній архітектурі системи.

Оскільки сервер використовує файлову систему для збереження файлів, нам потрібно чітко розуміти, до яких файлів програма має доступ та які файли відправляє клієнтові. Для цього контролю передбачено створення унікального коду на основі таймстемпу, який оновлюється та привлас-

нюється кожному новому PDF-файлу, що надходить на обробку. Під усі файли для конкретного кейсу створюється директорія, файли зберігаються під даним унікальним номером.

Напрямки подальшого дослідження

На даному етапі існує багато напрямків розвитку запропонованого додатку. В планах розширити додаток в сторону більшої кількості форматів файлів, додаткових допоміжних функцій (калібрування інструменту, тощо), додавання спільноти і можливості ділитися напрацюваннями. Стосовно самого програмного забезпечення – наперед це прискорення операцій, покращення візуалізації і шляху взаємодії з сервером. Також важливим аспектом є подальше вдосконалення алгоритмів обробки музики для підвищення точності та ефективності.

Напрямок подальшого дослідження може бути розробка підходу для визначення музичних патернів і рекомендації пісень для музичної терапії.

Розробити систему музичних рекомендацій, що враховує загальний зв'язок між системою музичних рекомендацій і музичною терапією. Система музичних рекомендацій відіграє важливу роль у музичній терапії. Система рекомендацій щодо музики рекомендує музику для користувачів залежно від різних факторів, таких як настрій людини, її поведінка, вибір, схожість, основні частоти, часові інтервали тощо.

Висновки

У результаті виконання даної роботи розроблено мобільний додаток «Liszt» - музичний асистент для розпізнавання нот і музичної інтеракції. Застосунок обробляє PDF файл із заданою швидкістю метроному у mp3 та mp4, що надає користувачу можливість бачити і прослуховувати нотну грамоту. Проєкт включає в себе андроїд застосунок, із зрозумілим та зручним інтерфейсом, інтеграцію з зовнішніми утилітами і бібліотеками. Результати досліджень можуть сприяти розвитку технологій для роботи з музичними даними на мобільних

пристроях. Це може включати в себе покращення алгоритмів розпізнавання нот і точності відтворення музики та інші технічні аспекти.

Стан вирішення поставлених задач. Усі визначені завдання в роботі були успішно виконані. Після впровадження додаток пройшов тестування на мобільному пристрої та у тестових програмах, які використовувались для взаємодії із сервером.

Оцінка отриманих результатів. Отримані результати доводять конкурентоспроможність додатку, відповідність зазначеним вимогам і рівень відповідності технічним знанням у галузі розроблення програмного забезпечення. Система успішно оперує даними і вміло візуалізує їх.

Наукова та соціально-економічна значущість. Робота має важливе значення, оскільки сприяє розвитку методів цифрової обробки музики. Вона також має соціально-економічну значущість, спрощуючи процеси, які традиційно вимагають значних зусиль та часу, та відкриваючи можливості для ширшого доступу до музичної культури. Забезпечення доступності для всіх зацікавлених осіб, незалежно від рівня музичної підготовки.

Використання додатку може стати частиною музичної освіти в навчальних закладах та додаткових курсах. Даний засіб може бути використаний для покращення процесу навчання музики та надає можливості для творчого вираження. Впровадження сучасних технологій розпізнавання нот і візуалізації музичних елементів сприяє технологічному прогресу у сфері музичної розробки. Створює позитивний досвід вивчення музики, що може підтримати та зберегти зацікавлення користувачів у світі музики протягом тривалого часу.

Використання мобільного додатку може полегшити процес створення музики, аранжування, навчання нових композицій, а також сприяти швидкому доступу до нотних записів та інших музичних ресурсів.

Література

1. How AI is Changing the Music Industry [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

- <https://www.rollingstone.com/music/music-features/how-ai-is-changing-the-music-industry-204120/>
2. AI in Music: How Artificial Intelligence is Changing the Way We Create and Listen to Music [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: - <https://syncedreview.com/2021/07/22/ai-in-music-how-artificial-intelligence-is-changing-the-way-we-create-and-listen-to-music/>
 3. S. Chakrabarty, R. Islam, E. Pricop and H. K. D. Sarma, "An Approach to Discover Similar Musical Patterns," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 47322-47339, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3169362.
 4. J. Vasudha, G. Iyshwarya, A. T. Selvi, S. Iniya and G. Jeyakumar, "Application of computer-aided music composition in music therapy", *Int. J. Innov. Manage. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 55-57, Feb. 2011.
 5. G. K. Koduri and B. Indurkhya, "A behavioral study of emotions in south Indian classical music and its implications in music recommendation systems", *Proc. ACM Workshop Social Adapt. Personalized Multimedia Interact. Access (SAPMIA'10)*, pp. 55-60, 2010.
 6. S. Bashetti, N. Kundoor, K. V. Desai, K. N. Radha and A. V. Bhongir, "Indian music therapy: Could it be helpful in the management of mental", *Int. J. Med. Res. Health Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 354-357, 2014.
 7. J.-H. Su, H.-H. Yeh, P. S. Yu and V. S. Tseng, "Music recommendation using content and context information mining", *IEEE Intell. Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 16-26, Jan. 2010.
 8. X. Wang, D. Rosenblum and Y. Wang, "Context-aware mobile music recommendation for daily activities", *Proc. 20th ACM Int. Conf. Multimedia (MM)*, pp. 99-108, 2012.
 9. B. Adriano, M. A. Davide, H. Goffredo and L. L. Andrea, "Formalizing Schoenberg's fundamentals of musical composition through Petri nets", *Proc. 15th Sound Music Comput. Conf. (SMC)*, pp. 254-258, Jul. 2018.
 10. S. Chakrabarty, M. R. Islam and D. De, "Modelling of song pattern similarity using coefficient of variance", *Int. J. Comput. Sci. Inf. Secur.*, vol. 15, no. 1, pp. 388-394, 2017.
 11. R. Samarjit, C. Sudipta and D. Debashis, "Time-based raga recommendation and information retrieval of musical patterns in Indian classical music using neural networks", *IAES Int. J. Artif. Intell.*, vol. 6, no. 1, pp. 33-48, 2017.
 12. C. Sudipta, R. Samarjit, D. Debashis, S. Bhattacharyya, H. Bhaumik, S. De, et al., *Handbook of Research on Intelligent Analysis of Multimedia information (Hardcover)*, Hershey, PA, USA:IGI Global, 2016.
 13. S. Chakrabarty, G. Karmakar, M. R. Islam and D. De, "Reckoning of music rhythm density and complexity through mathematical measures" in *Advanced Computational and Communication Paradigms*, Singapore:Springer, vol. 475, pp. 387-394, 2017.
 14. S. Chakrabarty, S. Roy and D. De, "A foremost survey on state-of-the-art computational music research", *Proc. Int. Sci. Congr. Assoc.*, pp. 16-25, 2015.
 15. H.-C. Chen and L. P. A. Chen, "A music recommendation system based on music and user grouping", *J. Intell. Inf. Syst.*, vol. 24, pp. 2-3, 2005.

Одержано: 10.04.2024

Внутрішня рецензія отримана: 17.04.2024

Зовнішня рецензія отримана: 24.04.2024

Про авторів:

¹Поперешняк Світлана Володимирівна,
Кандидат фізико-математичних наук,
доцент
<http://orcid.org/0000-0002-0531-9809>.

²Фукс Вікторія Ігорівна,
бакалавр
<http://orcid.org/0009-0007-2721-2424>.

³Цуркан Анастасія Костянтинівна,
бакалавр
<http://orcid.org/0009-0002-6725-4198>

⁴Жебка Вікторія Вікторівна,
Доктор технічних наук,
професор
<http://orcid.org/0000-0003-4051-1190>

Місце роботи авторів:

^{1,2,3} Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
тел. +38-098-645-54-62
E-mail: spopereshnyak@gmail.com

⁴ Державний університет інформаційно-
комунікаційних технологій,
тел. +38-073-050-83-00
E-mail: viktoria_zhebka@ukr.net