



А. А. Веремесенко, Н. Е. Кунанець

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

КОНЦЕПЦІЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ АСТРОНОМІВ-АМАТОРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ФРАКТАЛЬНОЇ КОМПРЕСІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Проаналізовано потреби галузі аматорської астрономії та виявлено необхідність інтегрованих програмних рішень, що поєднують інструменти для спостереження, збирання даних і залучення спільноти. У межах проведеного дослідження розроблено концепцію комплексного вебзастосунку, орієнтованого на потреби астрономів-аматорів, який містить такі функції, як астрономічний калькулятор, форум для обміну ідеями та систему торгівлі зображеннями із застосуванням алгоритмів фрактального стиснення. Розроблено критерії для порівняння з аналогічними або близькими за функціональними особливостями проектами. Унаслідок виконаного аналізу та порівняння, виявлено значні прогалини у наявних астрономічних додатках, зокрема у взаємодії з користувачами та управлінні даними. Аргументовано доцільність використання фрактального алгоритму компресії та наведено ключові принципи його застосування. Виявлено такі переваги фрактального алгоритму над іншими алгоритмами компресії для використання у платформі для астрономів-аматорів і подібних проєктів: висока якість відновлених зображень, незалежність від роздільної здатності, швидка декомпресія, ефективність під час роботи із самоподібними структурами. Запропонована платформа усуває основні недоліки аналогів шляхом інтеграції функцій, таких як стиснення зображень, для підвищення ефективності оброблення даних і захисту контенту, створеного користувачами. Змодельовано процеси реалізації проєкту, зокрема основний процес (взаємодія користувача з платформою) та деякі підпроцеси (фрактальна компресія зображень, процес додавання файлу в торговельну систему). Сформовано перелік користувацьких, функціональних і бізнес-вимог до проєкту та продемонстровано варіанти використання платформи. Запропоновано набір сучасних технологій та інструментів для реалізації платформи, такі як .Net, ASP.NET Core, Angular, Azure, MySQL та RESTful API, що пропонують інтегрований підхід до розроблення високотехнічних продуктів. З'ясовано, що переваги цього дослідження містять оптимізацію процесів управління даними, сприяння формуванню колективної спільноти та підтримку освітньої та дослідницької діяльності в аматорській астрономії. Розроблення запропонованої платформи не тільки задовольняє практичні потреби астрономів-аматорів, але й сприяє поширенню та популяризації астрономічних знань. Подальші дослідження будуть зосереджені на вдосконаленні функціональності платформи та розширенні її користувацької бази з метою залучення різноманітних астрономічних спільнот у світі та зокрема в Україні.

Ключові слова: астрономія; цифрові інструменти; вебплатформа; освітні ресурси; популяризація астрономії; оптимізація даних.

Вступ / Introduction

Сучасний світ швидко прогресує, а з ним і галузь астрономії, яка має важливе значення у формуванні наукового світогляду людства. Зростання інтересу до космічних досліджень серед аматорів-астрономів потребує створення нових, дещо ефективніших інструментів для проведення досліджень.

Сутність наукової проблеми полягає у відсутності інтегрованого програмного рішення, яке комбінувало б функціональні можливості для спостереження за космічними об'єктами, збирання даних, обміну досвідом між учасниками спільноти, та мотивувало б до поглиблення знань у галузі астрономії.

Підставами для розроблення теми є аналіз сучасного стану астрономічних досліджень, потреб цільової аудиторії, наявних технологічних рішень, а також тенденцій

розвитку цифрових технологій. Початкові дані базуються на результатах соціологічних опитувань серед астрономів-аматорів, статистичних даних щодо використання астрономічного програмного забезпечення, а також аналізу науково-популярної літератури та електронних ресурсів з астрономії.

Обґрунтування необхідності виконання дослідження базуються на переконливій потребі спільноти астрономів-аматорів у комплексному, зручному у використанні та мультифункціональному застосунку. Такий інструмент значно полегшує процеси збирання, аналізу та обміну астрономічною інформацією, стимулюючи цим самим наукову діяльність та навчальний процес у межах астрономічної спільноти.

Платформа міститиме такий функціонал: калькулятор для розрахунку оптимального часу та локації для спостереження за обраним космічним тілом, форум для

Інформація про авторів:

Веремесенко Андрій Андрійович, магістр, кафедра інформаційних систем та мереж.

Email: andrii.verem@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-1916-3254>

Кунанець Наталія Едуардівна, д-р наук із соц. комунікацій, професор, кафедра інформаційних систем та мереж.

Email: nek.lviv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3007-2462>

Цитування за ДСТУ: Веремесенко А. А., Кунанець Н. Е. Концепція універсальної платформи для астрономів-аматорів із застосуванням фрактальної компресії зображень. Науковий вісник НЛТУ України. 2024, т. 34, № 6. С. 106–114.

Citation APA: Veremeienko, A. A., & Kunanets, N. E. (2024). Universal platform for amateur astronomers concept with usage of fractal image compression. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(6), 106–114. <https://doi.org/10.36930/40340615>

обміну ідеями та результатами спостережень, інтегровану систему для поширення та обміну астрономічними зображеннями.

Найбільш інноваційним функціоналом для запропонованої платформи є саме системи для торгівлі та обміну світлинами, оскільки вона передбачає високий рівень заохочення аудиторії через потенційну комерційну діяльність та забезпечує захист авторських прав користувачів на розміщені світлини.

Проте ефективне досягнення цієї мети потребує використання оптимального алгоритму компресії даних, який дасть змогу істотно зменшити розмір зображень з мінімальною втратою якості. Це сприятиме опрацюванню великих обсягів даних, зменшенню комісії під час торгівлі світлинами та наданню користувачам максимально зручних умов користування платформою.

Об'єкт дослідження – проектування концепції універсальної платформи для астрономів-аматорів.

Предмет дослідження – методи та засоби проектування концепції універсальної платформи для астрономів-аматорів із застосуванням алгоритму фрактальної компресії зображень, що дасть змогу створити ефективний та зручний інструмент для спільного використання астрономічних даних, полегшити доступ до високоякісних зображень космічних об'єктів, забезпечити інтеграцію з різними джерелами даних і платформами, а також сприяти розвитку спільноти астрономів-аматорів через обмін знаннями та досвідом.

Мета роботи – розробити вебзастосунок, що ефективно комбінує функціональність, необхідну для астрономів-аматорів, сприяючи поглибленню їхніх знань та практичних навичок з астрономії та, водночас, підвищуючи загальний інтерес до космічних досліджень у світі загалом і в Україні зокрема.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати потреби галузі аматорської астрономії, що дасть змогу зрозуміти вимоги користувачів і створити продукт, який задовольняє їхні інтереси та потреби.
2. Дослідити наявні вебзастосунки та програми для астрономів-аматорів, що дасть змогу визначити найкращі практики та інноваційні рішення в цій сфері, встановити їхні переваги та недоліки, а також можливості для поліпшення, що забезпечить створення конкурентоспроможного та якісного продукту.
3. Визначити основні функції та можливості вебзастосунку, які допоможуть покращити користувацький досвід, зробити платформу інтуїтивною, корисною та зручною у використанні для астрономів-аматорів.
4. Обґрунтувати доцільності використання алгоритму фрактального стиснення в проєкті, що уможливить істотне зменшення обсягу даних без значної втрати якості зображень, що є критичним для ефективного зберігання та передачі великої кількості астрономічних світлин.
5. Удосконалити процеси управління даними в вебзастосунку, що дасть змогу дещо ефективніше обробляти та зберігати великі обсяги інформації, підвищити швидкість доступу до даних і забезпечити надійне резервне копіювання та відновлення.
6. Провести моделювання бізнес-процесів проєкту, що дасть змогу вдосконалити ресурсне планування, знизити витрати та підвищити ефективність реалізації проєкту, забезпечивши його комерційний успіх та стійкість на ринку.

Реалізація проєкту матиме численні практичні наслідки. По-перше, це сприятиме розвитку астрономічної освіти та науки, оскільки платформа буде потужним ре-

сурсом для астрономів-аматорів, освітян та студентів, які прагнуть розширити свої знання та навички в астрономії. По-друге, платформа посилить спільноту астрономів-аматорів, сприяючи формуванню та розвитку зацікавлених осіб, надаючи простір для обміну знаннями, досвідом та результатами спостережень, що стимулюватиме колективні дослідження та відкриття. По-третє, платформа полегшить можливість дослідницької діяльності, даючи можливість астрономам-аматорам планувати, координувати та проводити спостереження, а також обробляти та аналізувати дані, що не тільки підвищить якість досліджень, але й сприятиме внеску України в міжнародну астрономічну спільноту. Нарешті, використання сучасних технологій на платформі, зокрема фрактального алгоритму компресії, підвищить ефективність астрономічних досліджень та сприятиме впровадженню інновацій у традиційну практику.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ключовим інноваційним інструментом у запропонованій платформі є використання алгоритму фрактальної компресії зображень, оскільки потреби цієї платформи полягають в менеджменті великої кількості астрономічних зображень та збереження їх максимальної якості за достатньої швидкодії для користувача.

Автори [1] детально пояснюють принципи та можливості використання фрактальних алгоритмів для компресії зображень та відео, аргументовано нааявні та потенційні переваги порівняно з іншими алгоритмами. Фокус досліджень акцентований на аналізі таких якостей компресії, як відношення стиснутого файлу до оригінального, відношення шумів у стиснутому файлі та час компресії.

Зважаючи на доволі тривалий час компресії, було використано дослідження [8], в якому автори розглядають обчислювальну складність алгоритму. На відміну від стандартних алгоритмів, таких як JPEG, фрактальний алгоритм потребує більше часу процесора для компресії. Дослідження визначає, як різні підходи можуть допомогти знайти баланс між якістю стиснутого зображення, коефіцієнтом стиснення та часом процесора.

Пропозиції щодо оптимізації ефективності використання фрактального алгоритму розглянуто в роботі [20]. Автори пропонують методи попереднього оброблення з подальшим збереженням зображення у форматі.json. Подальше застосування фрактального алгоритму на отриманому файлі дає змогу істотно зменшити час оброблення та обчислювальні розрахунки. Отриманий файл має такі переваги, як швидкість декомпресії, висока роздільна здатність та можливість до масштабування зображення.

У роботі [10] також йдеться про можливості щодо покращення ефективності фрактального алгоритму. Автори досліджують алгоритм швидкої фрактальної компресії, порівняльні рівні якості якого демонструють у 5-50 разів швидший результат, ніж звичайний алгоритм. Швидкий алгоритм використовує г-дерева для ефективного пошуку та індексування блоків пікселів.

Для дослідження актуальності та впливу запропонованої платформи для цільової аудиторії, було проаналізовано [9]. Автори зосереджують свою увагу на ролі віртуальних платформ у сучасному навчанні астрономії. Для вивчення впливу інноваційних підходів на навчальний процес використовують описативну статистику та порівняльний аналіз. Аргументовано, що вико-

ристання віртуальних платформ сприяє підвищенню якості розуміння астрономії та зростанню інтересу користувачів.

У роботі [11] автори досліджують роль інформаційних технологій у досягненні цілей сталого розвитку та глобальної співпраці в наукових дослідженнях освітніх систем. Проаналізовано зв'язок між базовими цінностями сталого розвитку й академічними установами та інтеграцію інформаційних технологій і платформ в освітні програми.

Матеріали та методи дослідження. Для аргументації доцільності використання алгоритму фрактального стиснення зображень було проаналізовано результати дотичних досліджень [2, 3, 15, 16]. На підставі роботи [19] зроблено висновок про можливість подальшого підвищення рівня ефективності алгоритму. Для оцінювання якості використання методу афінного перетворення у фрактальному алгоритмі, наведено конкретний приклад використання афінних перетворень для ранжових і доменних блоків. Значення отриманої середньоквадратичної помилки довело ефективність застосування афінного перетворення. Для підтвердження актуальності запропонованої платформи було здійснено аналіз аналогів і розроблено критерії оцінювання якості, згідно з якими запропонований проект має істотні переваги над подібними продуктами.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Порівняння проекту з аналогами. Стан наукової проблеми характерний тим, що, незважаючи на наявність різноманітних астрономічних застосунків, значна їх частина має обмежену функціональність або не забезпечує ефективної взаємодії серед користувачів. Таке обмеження істотно впливає на процес самоосвіти астрономів-аматорів і зменшує ефективність популяризації астрономічних знань. Водночас, зростання інтересу до космічних досліджень серед дослідників-аматорів, зокрема у сфері астрономії, та розвиток інформаційних технологій відкривають нові перспективи для створення універсального застосунку.

Проведемо аналіз наявних рішень, представлених на ринку, зокрема такої платформи, як www.cloudynights.com, для того, щоб усвідомити, як можна вдосконалити остаточний продукт і які ключові переваги він може запропонувати користувачам.

Cloudy Nights (рис. 1, 2) – це один з найбільших в мережі Інтернет платформ-форумів для астрономів, який використовують для тематичного спілкування та обговорень, а також обміну зробленими фото. Заснований у 2000 році, сайт огляду телескопів Cloudy Nights.com є одним із найбільш читаних ресурсів у мережі Інтернет для астрономічної спільноти-любителів.



Рис. 1. Головна сторінка сайту Cloudy Nights / Cloudy Nights home page [4]

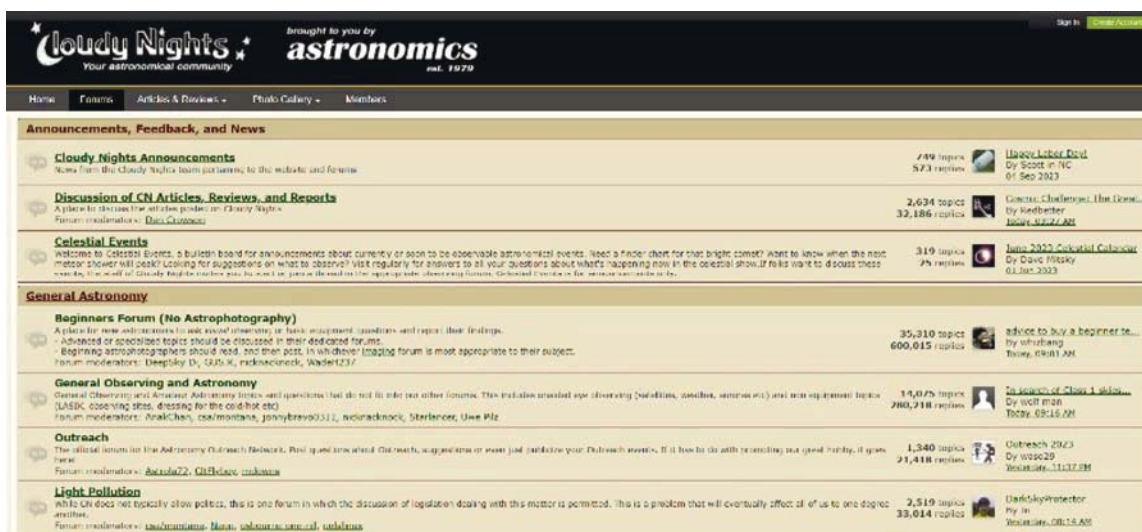


Рис. 2. Інтерфейс форуму Cloudy Nights / Cloudy Nights forum interface [4]

CloudyNights.com призначений для забезпечення форуму, де користувач може поставити свої запитання або надати відповіді на підставі власного досвіду, і, можливо, найголовніше, сайт публікує огляди астрономічних прицілів і обладнання, написані досвідченими спостері-

гачами в астрономічному співтоваристві-аматорі. Їхня мета полягає в тому, щоб допомогти астрономам-любителям знайти рішення з наявним у них обладнанням і прийняти рішення про покупку, надавши вичерпні та поглиблені огляди астрономічного обладнання та аксесуарів.

При виборі характеристик для оцінювання та порівняння запропонованої платформи та її аналогів ключовими елементами були виявлення переваг та підрахунок їх вагомості для певного критерію, а також наявності або відсутності згаданого функціоналу. Обрані характеристики для порівняння проєкту та його аналогів є доволі різноманітними, обрано системи оцінювання – якісна (табл. 1) та булева (табл. 2), які склав автор на підставі власних досліджень.

Табл. 1. Шкала оцінювання (Якісна) / Rating scale (Qualitative)

Оцінка характеристики (якісна)	Оцінка
Відсутність переваги	1
Слабка перевага	2
Середня перевага	3
Значна перевага	4

Табл. 2. Шкала оцінювання (Булева) / Rating scale (Boolean)

Оцінка характеристики (булева)	Оцінка
Функціонал присутній	Так
Функціонал відсутній	Ні

Табл. 3. Порівняльна таблиця для проєкту платформи та аналогу / Comparison table for the platform project and the analogue

Характеристика	Продукти	
	Проект	Cloudy Nights
Зручність у використанні	4	1
Наявність фокусу на астрономічну тематику	Так	Так
Можливість обміну фото	Так	Так
Якість досвіду від користування ресурсом (UI/UX)	4	1
Захист авторських прав опублікованого матеріалу	3	1
Наявність мобільного застосунку	Так	Ні
Присутність функціоналу для прорахунку оптимального часу спостережень за зоряними об'єктами	Так	Ні

Проект платформи для астрономів-любителів надаватиме унікальні можливості для користувачів, що поєднують у вигляді технологічно досконалих рішень та повноцінної комбінації функцій для задоволення потреб цільової аудиторії.

За результатами оцінювання (табл. 3) можна визначити присутність істотних переваг запропонованої платформи над аналогом. Досягнення цього дослідження представляють комплексний підхід до об'єднання різних функціональних аспектів в єдиний застосунок, спрямований на підтримку та розвиток астрономічної освіти та науково-популяризаторської діяльності у світі та Україні.

Аргументація інноваційності та доцільності використання алгоритму фрактального стиснення у проєкті. Втілення основної мети, а саме створення універсальної платформи для астрономів-аматорів, потребує особливого підходу, зокрема впровадження інноваційних технологій, як-от алгоритм фрактального стиснення, для забезпечення необхідного рівня компресії зображень та збереження їх високої якості.

Висока роздільна здатність астрономічних знімків може призвести до великих об'ємів даних, що ускладнює швидкий обмін та доступність. Фрактальне стиснення дає змогу істотно зменшити розмір файлів з мінімальною втратою якості, що полегшує їхню дистрибуцію та зберігання.

Водночас використання алгоритму фрактального стиснення має такі ознаки, що матимуть позитивний ефект для безпосереднього користувача [19]: ефективність об-

роблення даних; доступність та швидкодія; збереження якості; зменшення вартості комісії при торгівлі світлинами.

Фрактальне стиснення зображень відіграє критичну роль в ефективності оброблення великих обсягів інформації. Завдяки цьому алгоритму, фотографії зоряного неба, що характерний високою деталізацією та розміром файлу, можуть бути істотно скомпресовані без істотної втрати якості. Це спрощує передачу, зберігання та оброблення даних, зменшуючи вимоги до обчислювальної потужності та мережевих ресурсів. Стиснення даних забезпечує швидше завантаження зображень, що є важливим для користувачів з обмеженим інтернет-з'єднанням або тих, хто використовує платформу для спільної роботи в режимі реального часу. Завдяки цьому, проєкт стає доступнішим і зручнішим для широкого кола астрономів з різних країн світу. Незважаючи на стиснення, фрактальний алгоритм забезпечує високу якість зображень, що критично важливо для астрономічних досліджень. Деталізація об'єктів, контрастність та колірна гама залишаються на високому рівні, що дає змогу вченим і ентузіастам проводити точні спостереження та аналіз. Оскільки розмір зображень стає істотно меншим під час компресії, то вартість їх підтримки в системі також менша, а отже, стає істотно меншою комісія під час купівлі токenu безпосереднім користувачем.

Визначення цілей (позитивних змін) впровадження платформи. На цьому етапі ключовим є визначення специфічних, вимірюваних, досяжних, реалістичних і часово обмежених (SMART) цілей, які формують основу для будь-якого успішного проєкту. Ці цілі диктують траєкторію розвитку ініціативи та визначають, як ресурси та енергія команди будуть спрямовані.

Головною метою проєкту є створення універсальної вебплатформи для астрономів-аматорів, яка надає інструменти для спостереження, спілкування та обміну астрономічними знімками. Створення універсальної вебплатформи для астрономів-аматорів, яка забезпечить всебічну підтримку, взаємодію та обмін інформацією серед користувачів, можна поділити на такі завдання:

1. Розроблення функції астрономічного калькулятора для точних розрахунків і прогнозів, що підвищить зручність планування спостережень і експериментів.
2. Створення форуму для спілкування учасників, який забезпечить інтерактивне обговорення та обмін досвідом між астрономами-аматорами, сприяючи розвитку спільноти та покращенню комунікації.
3. Розроблення внутрішнього торгового майданчика для обміну астрономічними світлинами, що дасть змогу користувачам ділитися своїми зображеннями космічних об'єктів, оцінювати їх та обговорювати результати, а також підтримувати матеріальний інтерес до платформи.

Дерево цілей проєкту (рис. 3) демонструє поділ основної цілі на підцілі та пояснює, який з критеріїв кожна підціль досягає.

Моделювання процесів проєкту. Як основний процесу функціонування системи обрано можливість додавання фотографій зоряного неба в торговельну платформу та фрактальна компресія цих зображень. Цей процес має бути доступним усім користувачам проєкту, остаточною його результатом буде скомпресована фотографія в NFT-платформі, яку можна придбати, передати або переглянути. Вигляд основного процесу зображено на діаграмі (рис. 4). Для користувача цей процес є зручним і швидким, водночас не потребує додаткових знань для його використання.

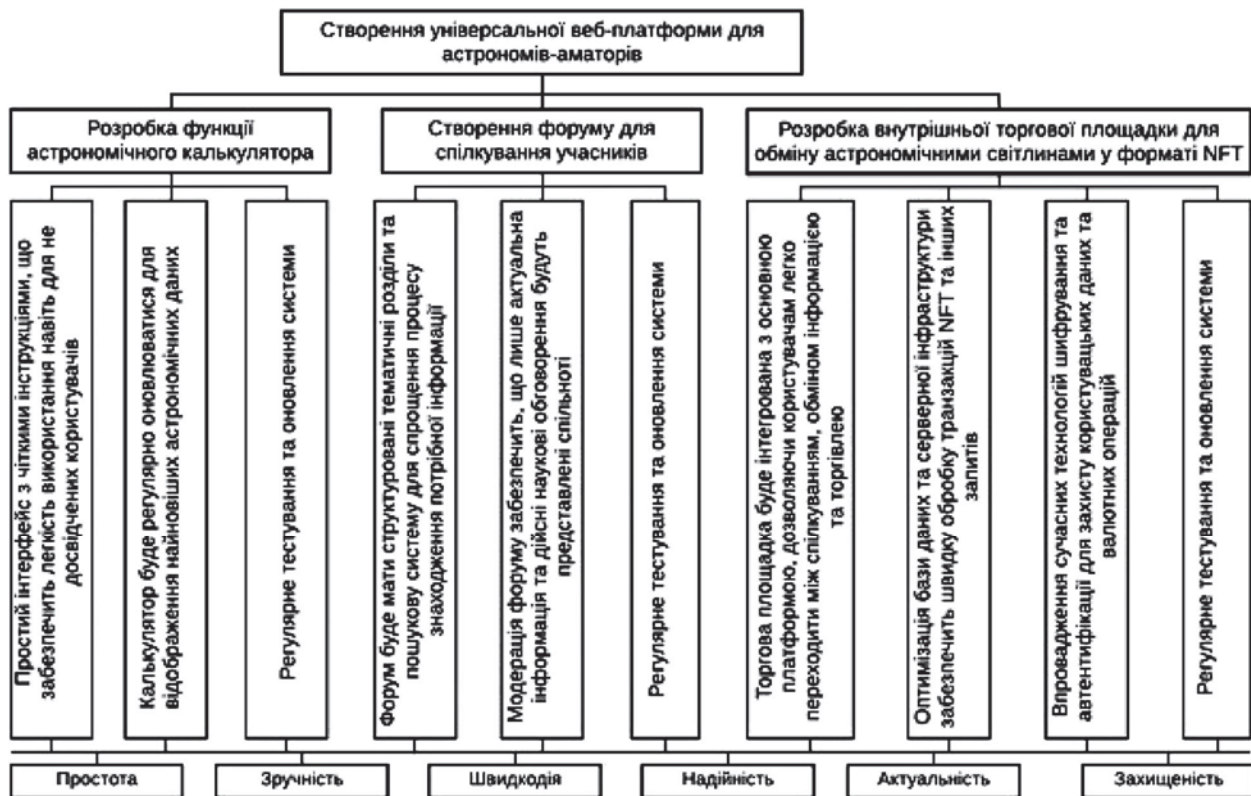


Рис. 3. Дерево цілей проекту / Project goal tree

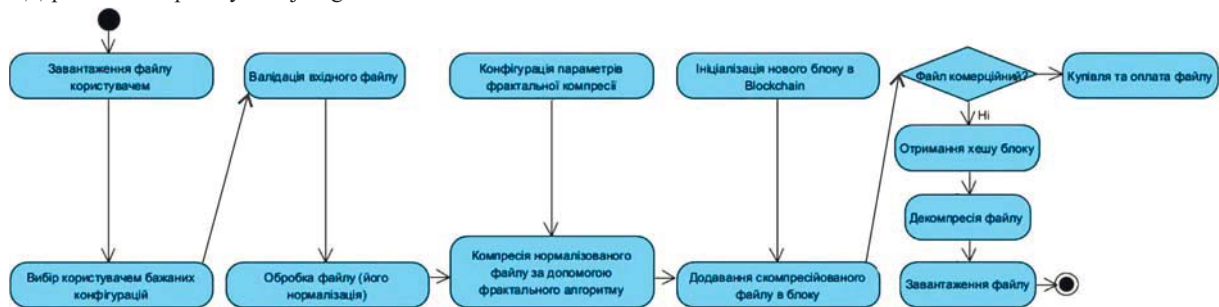


Рис. 4. UML діаграма діяльності основного процесу / UML activity diagram of the main process

Діаграму підпроцесу "Фрактальна компресія файлу" зображено на рис. 5. На ній видно чіткий алгоритм дії системи при компресії файлу для його завантаження в Blockchain систему.



Рис. 5. UML-діаграма діяльності підпроцесу "Фрактальна компресія файлу" / UML activity diagram of the Fractal File Compression subprocess

Процес додавання файлу в торговельну систему, який виконують після компресії зображення зображений на рис. 6.



Рис. 6. UML діаграма діяльності підпроцесу "Додавання файлу в торговельну систему" / UML activity diagram of the subprocess "Adding a file to the trading system"

Вимоги до проекту. Основні категорії вимог до проекту містять бізнес-вимоги (допомагають досягнути бізнес-цілей проекту), користувацькі вимоги (потрібні для досягнення потреб користувачів), функціональні вимоги (вимоги до конкретних функцій системи) та нефункціональні вимоги (вимоги до якісних характеристик системи), і всі вони потрібні для забезпечення успішного виконання проекту. Для розроблення цього проекту було сформульовано такі вимоги:

Бізнес-вимоги:

1. Продукт вузькоспеціалізований, тож має містити повноцінний функціонал для цільової аудиторії.
2. Платформа має задовольняти потреби користувачів.
3. Продукт має мати більше переваг та бути більш зручним, ніж конкурентні продукти.

Користувацькі вимоги:

1. Продукт має бути зручним і зрозумілим у використанні.
2. Система повинна давати можливість користуватись її функціями як безкоштовно, так і з монетизацією.
3. У платформі має бути оптимальний алгоритм компресії для зменшення комісії під час придбання фотографій.
4. У платформі має бути присутній зручний форум для обговорення інтересів і досягнень користувачів.

Функціональні вимоги:

1. Платформа повинна використовувати фрактальний алгоритм компресії зображень.
2. Продукт має містити NFT торговельний майданчик, реалізований за допомогою технології Blockchain.
3. Система має бути масштабовальною та легкою для розгортання з можливістю розширювати функціонал.

Нефункціональні вимоги:

1. Проект має задовольняти такі атрибути якості: ефективність, надійність, зручність, безпека, легкість експлуатації та супроводу.

Діаграму варіантів використання зображено на рис. 7, на ній повною мірою відображено функції, які доступні для користувачів різних категорій (категорію визначають згідно з намірами користувача).

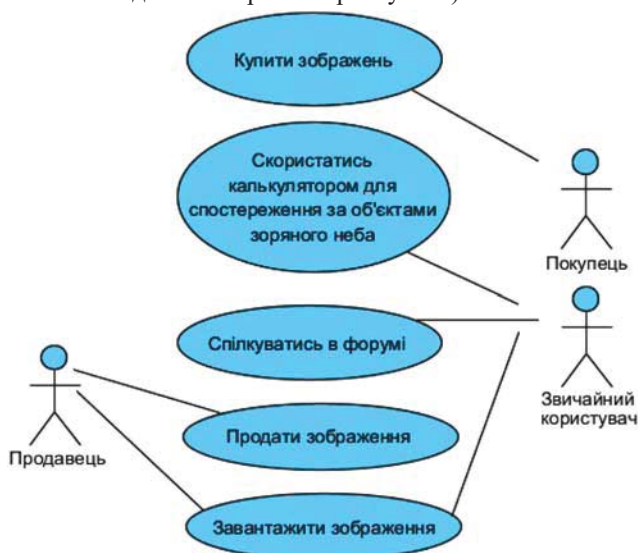


Рис. 7. Діаграма варіантів використання / Use case diagram

Фрактальний алгоритм стиснення зображень.

Фрактальні алгоритми стиснення даних базуються на виявленні самоподібних структур у зображеннях. Завдання полягає у знаходженні такого афінного перетворення, яке мінімізує різницю між ранжевим і доменним блоками. Це можна формалізувати за допомогою оптимізаційних методів, таких як метод найменших квадратів.

Замість збереження самого блоку, зберігаються параметри афінного перетворення, яке дає змогу віднови-

ти блок. Параметри містять коефіцієнти масштабування, обертання, перевертання та зміщення. Вони використовують математичні принципи для пошуку та компресії подібних блоків у зображеннях. При цьому доцільно використовувати афінні перетворення [13].

Афінне перетворення T у двовимірному просторі визначають як:

$$T(x, y) = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де: (x, y) – координати пікселя в доменному блоці; a, b, c, d, e, f – параметри перетворення; a, d – коефіцієнти масштабування по осях x та y ; b, c – коефіцієнти зсуву та обертання; e, f – коефіцієнти зміщення по осях x та y .

Для мінімізації помилки обчислюють різницю між ранжевим блоком R і перетвореним доменним блоком D' за такою формулою:

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R(i, j) - D'(i, j))^2, \quad (2)$$

де: R_{ij} – значення пікселя ранжевого блоку в i -му рядку та j -му стовпці; D'_{ij} – значення пікселя перетвореного доменного блоку в i -му рядку та j -му стовпці; m, n – розміри блоків (у нашому випадку $m = 4$ та $n = 4$); $N = m \cdot n$ – загальна кількість пікселів у блоках.

Мета – знайти такі параметри a, b, c, d, e, f , які мінімізують E . Знайдені параметри квантують для зменшення кількості даних, які потрібно зберігати. Параметри зберігаються у вигляді коду книги, яку використовують для відновлення зображення.

Стартуємо з початкового наближення зображення, яке може бути заповнено середнім значенням пікселів або випадковими значеннями. Далі відбувається ітеративне застосування афінних перетворень. Для кожного ранжевого блоку застосовують збережені параметри афінних перетворень до відповідних доменних блоків. Процес повторюють ітеративно, поки зображення не збіжиться до стабільного стану.

Припустимо, зображення розбите на невеликі блоки фіксованого розміру, наприклад 8×8 пікселів. Розділяємо зображення на доменні блоки розміром 16×16 пікселів і ранжеві блоки розміром 8×8 пікселів.

Проводимо пошук подібних блоків. Для кожного ранжевого блоку знаходимо доменний блок, який найбільш схожий на нього після застосування афінного перетворення. Для кожного ранжевого блоку обчислюємо афінне перетворення, яке мінімізує різницю між ранжевим і доменним блоками.

Для підбору параметрів афінного перетворення використовуємо метод найменших квадратів для мінімізації різниці між ранжевим блоком R і перетвореним доменним блоком D' за формулою (2). Замість збереження самих блоків зберігаються параметри a, b, c, d, e, f , які дають змогу відновити блок під час декодування.

Розглянемо конкретний приклад. Нехай у нас є ранжевий блок R і доменний блок D . Побудуємо матриці на підставі отриманих вхідних даних:

$$R = \begin{pmatrix} 255 & 255 & 255 & 255 \\ 255 & 0 & 0 & 255 \\ 255 & 0 & 0 & 255 \\ 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}.$$

Використовуючи параметри афінного перетворення, зменшимо доменний блок D до розміру 4×4 та здійснимо відповідні перетворення (насамперед масштабування та зміщення):

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0 \\ 0 & 0,5 \end{pmatrix}.$$

Застосуємо афінне перетворення до доменного блоку D для отримання перетвореного блоку D'

$$D' = \begin{pmatrix} 255 & 255 & 255 & 255 \\ 255 & 0 & 0 & 255 \\ 255 & 0 & 0 & 255 \\ 255 & 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}.$$

Обчислимо помилку між ранжевим блоком R та перетвореним доменним блоком D' за формулою (2), для цього обчислимо різницю між відповідними елементами R та D' за формулою (2). Обчислення різниці між ранжевим блоком R та перетвореним доменним блоком D' є важливим кроком для визначення якості перетворення та компресії зображення. Метою цього обчислення є визначення ступеня відхилення перетвореного блоку від оригіналу. В цьому контексті використовують середньоквадратичну помилку (MSE), як один із стандартних методів оцінювання якості зображення.

Обчислення різниці між відповідними пікселями R та D' дає змогу виявити, наскільки пікселі перетвореного блоку відрізняються від пікселів оригінального блоку. Використання квадратів різниць підсилює ефект великих відхилень, що є корисним для акцентування на значних відмінностях. Обчислення середнього значення квадратів різниць (MSE) дає змогу отримати одиничну метрику, яка вказує на загальний ступінь відхилення між блоками.

Результат обчислень має такий вигляд:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Сума всіх елементів матриці дорівнює 0. Отже, помилка E між ранжевим блоком R та перетвореним доменним блоком D' дорівнює 0. Обчислення середньоквадратичної помилки (MSE) показало, що помилка E дорівнює 0, що вказує на ідеальний збіг перетвореного доменного блоку з ранжевим блоком. Це підтверджує ефективність використання методу афінного перетворення для компресії зображень, якщо вхідні дані коректно підготовлені та параметри афінного перетворення вибрані правильно. Обчислена помилка E є мінімальною, зберігаємо параметри a, b, c, d, e, f .

Афінне перетворення є потужним інструментом у фрактальному стисненні зображень, даючи можливість знайти та описати самоподібні блоки у зображеннях. Використання афінних перетворень забезпечує ефективне стиснення, зберігаючи при цьому високу якість відновлених зображень.

Процес стиснення містить поділ зображення на підзображення (блоки діапазону) і пошук схожих блоків (доменів) з використанням афінних перетворень. Ці перетворення містять обертання, зміну масштабу, нахил або переміщення. Найбільш прийнятний доменний блок для кожного блоку діапазону визначають шляхом мінімізації відстані між ними, що забезпечує високе співвідношення стиснення без значної втрати якості.

На підставі аналізу дослідження [15] було обґрунтовано доцільність застосування фрактального алгоритму в контексті розроблення системи для астрономів-аматорів і запропонували такий перелік переваг використання цього алгоритму:

- висока якість відновлених зображень;

- незалежність від роздільної здатності;
- швидка декомпресія;
- ефективність у роботі зі самоподібними структурами.

Фрактальні алгоритми дають можливість отримувати високоякісні відновлені зображення, особливо за високих коефіцієнтів стиснення. Стиснені зображення можуть бути збільшені без значної втрати якості, що є корисним для зображень з високою роздільною здатністю. Процес декомпресії займає значно менше часу порівняно з іншими методами стиснення зображень, такими як JPEG2000. Фрактальні алгоритми особливо ефективні для зображень, що містять елементи самоподібності, такі як природні сцени, фрактали та інші складні візерунки.

Фрактальні алгоритми стиснення даних базуються на використанні афінних перетворень для знаходження самоподібних блоків у зображеннях. Ці алгоритми забезпечують високий рівень стиснення, зберігаючи при цьому якість зображення, завдяки ефективному використанню математичних принципів мінімізації помилки й оптимізації параметрів перетворення. Вони є потужним інструментом для стиснення зображень, особливо коли важлива самоподібність і фрактальна структура зображення.

Фрактальні алгоритми стиснення даних забезпечують ефективне управління великими обсягами зображень, даючи можливість зменшити витрати на зберігання та покращити швидкість передачі даних, що робить їх перспективними для використання в таких галузях, як астрономія.

Реалізація проєкту. Представлена архітектурна концепція платформи, яка містить в собі вебзастосунок для астрономічних ентузіастів з функціоналом менеджменту зображень небесних об'єктів, користувацьким чатом, астрономічним калькулятором і системою для торгівлі зображеннями.

Для реалізації проєкту доцільно використовувати множину технологій. Для реалізації бекенду фреймворк .NET, а саме ASP.NET, Core є потужним і надійним інструментом, який дасть змогу створити серверну частину нашого додатку. Для створення користувацького інтерфейсу запропоновано фреймворк Angular, оскільки він є масштабованим, зручним і добре вивченим. Для розгортання та адміністрування нашого додатку пропонують платформу Azure, що надає інструменти для моніторингу та логування, що допоможуть забезпечити безпеку та доступність нашого застосунку. Для зберігання раціонально використовувати систему керування базами даних MySQL. Ця СКБД відома своєю надійністю та швидкодією. Для зручності взаємодії між фронтендом та бекендом, можна реалізувати RESTful API. Це дасть змогу отримувати та відправляти дані між клієнтом і сервером, забезпечуючи ефективну комунікацію.

Описана концепція реалізації проєктного завдання відображає інтегрований підхід до розроблення високо-технологічного продукту, який поєднує у собі сучасні технології, ефективні методи розроблення та високі стандарти безпеки. Кожен елемент системи спроектований з урахуванням потреб користувачів і технічних особливостей, що забезпечує високу продуктивність, надійність та зручність використання завершеного продукту.

Оскільки створювана платформа є вебресурсом – обмеження щодо девайсів, які використовує користувач, щоб скористатись ресурсом, практично відсутні, або є

мінімальними. Достатньо, щоб телефон, планшет, ноутбук або комп'ютер користувача мав встановлений веббраузер для перегляду сайтів.

Важливо наголосити, що сайт не міститиме складних скриптів, які виконують на стороні клієнта, тому навіть у випадку, якщо користувач володіє найпростішим девайсом – він все одно зможе скористатись усіма перевагами платформи повною мірою.

Обговорення результатів дослідження. У процесі дослідження та розроблення концепції універсальної платформи для астрономів-аматорів досягнуто ключових результатів, що демонструють ефективність використання фрактальних алгоритмів стиснення для підвищення продуктивності оброблення та зберігання астрономічних зображень.

Згідно з науковими джерелами [21], роль інформаційних технологій у досягненні цілей розвитку та глобальної співпраці у наукових дослідженнях є ключовою. Автори цієї статті аналізують інноваційні підходи до інтеграції інформаційних технологій та вказують на їх значущість у розвитку наукових і освітніх програм. Сучасні технологічні підходи дають змогу створити універсальну платформу, що підтримує інтеграцію великої кількості функцій, необхідних для цільової аудиторії [12]. Тому було ретельно підібрано набір технологій для реалізації та подальшого масштабування проєкту. Було застосовано як новітні інструменти (.Net, Angular, тощо), так і релевантні алгоритми та механізми (наприклад, алгоритм фрактального стиснення зображень). Дослідження [5] демонструють, що наявність таких елементів, як чати, форуми або дошки обговорень, значно покращують комунікацію та співпрацю серед користувачів, тож є необхідність імплементувати функцію для комунікації (у цьому проєкті – форум). Матеріали дослідження [7] свідчать про те, що інтеграція інтерактивних інструментів сприяє формуванню активної діяльності у спільноті, тож у проєкті запропоновано реалізацію астрономічного калькулятора, для автоматичного обрахунку оптимального часу та місця спостереження за космічним тілом. Фрактальний алгоритм було обрано внаслідок проведеного аналізу вимог проєкту. Для аналізу релевантності алгоритму проаналізовано наукові публікації [2, 3, 16], що висвітлюють основні переваги та можливості застосування фрактальних алгоритмів для стиснення зображень. Автори [16] відзначають, що фрактальні об'єкти сприяють удосконаленню рівня захисту завдяки фрактальним мережам. Автори [2] детально описують принципи роботи фрактальних алгоритмів і розглядають ефективність застосування алгоритмів фрактальної компресії. У роботі [3] виявлено переваги фрактального стиснення в істотному зменшенні розміру зображень без значної втрати якості, що є важливою вимогою проєкту. У науковому доробку [19] автор пропонує покращений метод фрактального стиснення. Цей метод дає змогу зменшити обсяг обчислень та істотно пришвидшити стиснення, зберігаючи при цьому високу якість зображення. Доцільним є удосконалення напрацювань авторів статті з метою підвищення ефективності роботи платформи.

На підставі аналізу аналогічних продуктів і матеріалів, зроблено висновок про необхідність інтеграцій таких функцій, як: астрономічний калькулятор, форум для обговорення ідей та досліджень, торговельна площа з використанням фрактальної компресії.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено комплексний підхід до створення універсального вебзастосунок для астрономів-аматорів, що об'єднує передові наукові дані, інтерактивні елементи спільноти та адаптивні образів ресурси, інтегруючи актуальну астрономічну інформацію та адаптуючи її для аматорських спостерігачів, забезпечуючи високий рівень наукової точності та доступності.

Практична значущість результатів дослідження – використано для підтримки освітньої та дослідницької діяльності у сфері астрономії, залучення та об'єднання спільноти, підвищення доступності астрономічних даних і оптимізовано процеси управління даними.

Висновки / Conclusions

Розроблено вебзастосунок, що ефективно поєднує функціональність, необхідну для астрономів-аматорів, сприяючи поглибленню їхніх знань та практичних навичок з астрономії та, водночас, підвищуючи загальний інтерес до космічних досліджень у світі загалом і в Україні зокрема. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Проаналізовано потреби галузі аматорської астрономії та виявлено необхідність інтегрованих програмних рішень, що поєднують інструменти для спостереження, збирання даних і залучення спільноти.
2. Розроблено концептуальну модель платформи для астрономів-аматорів, що містить астрономічний калькулятор, форум для обміну ідеями та систему торгівлі зображеннями з використанням методу фрактального стиснення.
3. Встановлено, що використання фрактальних алгоритмів компресії дає змогу досягати високого рівня стиснення зображень з мінімальною втратою якості, що відповідає вимогам запропонованої платформи.
4. Проведено порівняльний аналіз запропонованого продукту з аналогічними проєктами та виявлено істотні прогалини в наявних рішеннях, зокрема у взаємодії з користувачами та управлінні даними, що дало можливість забезпечити розроблений продукт додатковим функціоналом.
5. Удосконалено процеси управління даними в вебзастосунку, завдяки використанню алгоритму фрактальної компресії, що дало змогу ефективніше обробляти та зберігати великі обсяги інформації, підвищити швидкість доступу до даних і забезпечити надійне резервне копіювання та відновлення.
6. Запропоновано комплексне використання набору сучасних технологій для реалізації платформи, таких як .Net, ASP.NET Core, Angular, Azure, MySQL та RESTful API, що забезпечило інтегрований підхід до розроблення представленого продукту.

References

1. Abood, B. Sh. Z., Akkar, H. A. R., & Al-safi, A. (2023). Review on fractal video and image compression techniques. *Iraqi Journal of Computers, Communications, Control & Systems Engineering*, 23(1), 45–52. <https://doi.org/10.33103/uot.ijccce.23.1.11>
2. Barnsley, M. F. (2012). *Fractals Everywhere: New Edition*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-10335-2>
3. Barnsley, M. F., & Hurd, L. P. (1993). *Fractal Image Compression: Theory and Application*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2472-3>
4. Cloudy Nights. (n.d.). Cloudy Nights Telescope Reviews. URL: <https://www.cloudynights.com>

5. Collazos, C., Fardoun, H., AlSekait, D., Pereira, C. S., & Moreira, F. (2021). Designing Online Platforms Supporting Emotions and Awareness. *Electronics*, 10(3), 25. <https://doi.org/10.3390/electronics10030251>
6. Drescher, D. (2017). Blockchain Basics: A Non-Technical Introduction in 25 Steps. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2604-9>
7. Dziuban, C., Graham, C. R., Moskal, P., Norberg, A., & Sicilia, N. (2018). Blended learning: the new normal and emerging technologies. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 15(3). URL: <https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-024-00475-0>
8. Gupta, R., Mehrotra, D., & Tyagi, R. (2021). Computational complexity of fractal image compression algorithm. *IET Image Processing*, 14(17), 4425–4434. <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2019.0489>
9. Khorolskyi, O. (2023). The role of virtual platforms in modern astronomy education: Analysis of innovative approaches. *Futurity Education*, 3(3), 249–265. <https://doi.org/10.57125/FED.2023.09.25.14>
10. Kominek, J. (1995). Algorithm for fast fractal image compression. IS&T/SPIE's Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology, 1995, San Jose, CA, United States. <https://doi.org/10.1117/12.206368>
11. Korytska, H. (2016). Web platform as a learning environment of open educational space. *Information Technologies and Learning Tools*, 56(6). <https://doi.org/10.33407/itlt.v56i6.1521>
12. Lee Shiau Gee L. (2022). Integrating Design Features for E-Learning Platforms. *International Academic Symposium of Social Science*, 82(1), 23. <https://doi.org/10.3390/proceedings2022082023>
13. Nand, U., & Mandal, J. K. (2014). Fractal image compression by using loss-less encoding on the parameters of affine transforms. *2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES)*, 197–200. <https://doi.org/10.1109/ACES.2014.6807984>
14. Saad, A.-M. H. Y., & Abdullah, M. Z. (2016). High-speed implementation of fractal image compression in low cost FPGA. *Microprocessors and Microsystems*, 47(b), 429–440. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2016.08.004>
15. Starchenko, V. (2023). Images fractal compression algorithms. *Scientific Journal of Astrophysics*, 53(2), 32–40. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-32>
16. Svyinchuk, O. V., Barabash, O. V., Olimpiyeva, Yu. I., & Ilin, O. Yu. (2020). Application of fractal functions for data encryption in information security systems. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 3(4), 67–72. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2020.011524>
17. van der Walt, S. J., Crellin-Quick, A., & Bloom, J. (2019). SkyPortal: An astronomical data platform. *Journal of Open Source Software*, 4(37). <https://doi.org/10.21105/joss.01247>
18. Wang, J., Zheng, N., Liu, Y., & Zhou, G. (2012). Parameter analysis of fractal image compression and its applications in image sharpening and smoothing. *Signal Processing: Image Communication*, 28(6), 681–687. <https://doi.org/10.1016/j.image.2012.12.006>
19. Wang, X.-Y., Wang, Y.-X., & Yun, J.-J. (2010). An improved no-search fractal image coding method based on a fitting plane. *Image and Vision Computing*, 28(10), 1303–1308. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2010.01.008>
20. Zalevska, O., Yablonskyi, P., Sydorenko, J., Miroshnichenko, I., & Sytnik, A. (2021). Improvement of methods and algorithm of fractal compression of a graphic image. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 100, 118–125. <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2021.100.118-125>
21. Zinchenko, V. V., Lakusha, N., Bulvinska, O., Vorona, V., & Polishchuk, O. (2022). Informational technologies as an integrative component of the sustainable development goals and global co-operation strategy in research activities of education systems. *AIP Conference Proceedings*, article ID 2656. <https://doi.org/10.1063/5.0106366>

A. A. Veremeienko, N. E. Kunanets

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

UNIVERSAL PLATFORM FOR AMATEUR ASTRONOMERS CONCEPT WITH USAGE OF FRACTAL IMAGE COMPRESSION

The needs of the amateur astronomy sector have been analyzed, revealing the necessity for integrated software solutions that combine tools for observation, data collection, and community engagement. This research developed a concept for a comprehensive web application tailored to the needs of amateur astronomers including features such as an astronomical calculator, a forum for idea exchange, and an image trading system utilizing fractal compression algorithms. Criteria for comparison with similar or functionally related projects have been developed. Significant gaps have been identified in existing astronomical applications, particularly in user interaction and data management. The feasibility of using the fractal compression algorithm has been justified, and the key principles of its application have been outlined. The following advantages of the fractal algorithm over other compression algorithms for use in the platform for amateur astronomers and similar projects have been identified: high quality of restored images, independence from resolution, fast decompression, and efficiency when working with self-similar structures. The proposed platform addresses these deficiencies by integrating features such as image compression to enhance data processing efficiency and user-generated content protection. The project processes have been modelled, including the main process (user interaction with the platform) and some subprocesses (fractal image compression, file addition to the trading system). A list of the user, functional, and business requirements for the project has been formed, and platform usage options have been demonstrated as well. A set of modern technologies and tools for platform implementation has been proposed, in particular, they are as follows: Net, ASP.NET Core, Angular, Azure, MySQL, and RESTful API, offering an integrated approach to the development of high-tech products. The benefits of this study include optimizing data management processes fostering a collaborative community, and also supporting educational and research activities in amateur astronomy. The development of the proposed platform not only meets the practical needs of amateur astronomers but also promotes the dissemination and popularization of astronomical knowledge. Future research will focus on refining the platform functionality and expanding its user base to include diverse astronomical communities worldwide and particularly in Ukraine.

Keywords: astronomy; digital tools; web platform; educational resources; popularization of astronomy; data optimization.