

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»



Факультет комп'ютерних наук та технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»

ЗІМІН ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ
Група КНТ-514м

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА
ЗБЕРІГАННЯ АРХІВІВ ФОТОГРАФІЙ
АВТОРЕФЕРАТ

магістерської роботи на здобуття освітньо-кваліфікаційного
рівня «магістр» 123 «Комп'ютерна інженерія»
освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі»

2025 р.

Магістерська робота є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Запорізька політехніка», на кафедрі комп'ютерних систем та мереж

Керівник

кандидат технічних наук, доцент
Скрупський Степан Юрійович,
Національний університет «Запорізька
політехніка», доцент кафедри
комп'ютерних систем та мереж

**Офіційний
рецензент:**

**Романовський Олександр
Володимирович**, генеральний директор
ТОВ «Науково-виробниче підприємство
«ХАРТРОН-ЮКОМ»

Захист відбудеться "23" грудня 2025р.

Секретар екзаменаційної комісії, доцент кафедри
комп'ютерних систем та мереж **Т.В. Голуб**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасне суспільство характеризується безпрецедентним зростанням обсягів цифрового контенту, особливо фотографічних матеріалів. За оцінками аналітичної компанії InfoTrends, у 2023 році було створено понад 1.81 трильйона цифрових фотографій. Поширення смартфонів з високоякісними камерами та зростання популярності візуального контенту призвели до того, що середній користувач створює сотні нових зображень щомісяця.

Проте інтенсивне зростання обсягів фотоконтенту породжує значні виклики в організації, зберіганні та пошуку необхідних зображень. Дослідження показують, що понад 70% користувачів стикаються з труднощами при спробі знайти конкретну фотографію в своїх архівах, витрачаючи на пошук від декількох хвилин до години часу. Близько 15% користувачів зазнають втрати цінних фотографій через відсутність належного резервного копіювання.

Існуючі рішення для управління фотоархівами мають суттєві обмеження. Хмарні сервіси, такі як Google Photos та Apple iCloud Photos, обмежені приватністю даних та залежністю від інтернет-з'єднання. Настільні програми, зокрема Adobe Lightroom, вимагають значних фінансових інвестицій та мають складний інтерфейс. Локальні файлові менеджери не забезпечують автоматичної індексації метаданих та інтелектуального пошуку.

Актуальність розробки спеціалізованої системи обумовлена необхідністю створення рішення, яке поєднує зручність хмарних сервісів з повним контролем користувача над даними, автоматизацію індексації з доступністю для широкого кола користувачів, надійність резервного копіювання з економічною ефективністю. Тому обрана тема магістерської роботи є актуальною.

Об'єктом дослідження

є процеси організації, зберігання та пошуку цифрових фотографій в архівних системах великого обсягу.

Предметом дослідження

є методи та алгоритми автоматичної індексації метаданих зображень, технології інтелектуального пошуку на основі

машинного навчання, стратегії надійного багаторівневого резервного копіювання фотоархівів.

Мета і завдання дослідження.

Мета магістерської роботи -- підвищення ефективності управління великими фотоархівами з підтримкою автоматичної індексації та інтелектуального пошуку.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів організації цифрових фотоархівів, технологій обробки метаданих EXIF, підходів до автоматичного розпізнавання контенту та стратегій резервного копіювання;

2. Розробити архітектуру системи з мікросервісним підходом, чітким розділенням функціональних модулів та можливістю незалежного масштабування компонентів;

3. Спроекувати структуру бази даних для зберігання метаданих фотографій з підтримкою складних взаємозв'язків, оптимізацією індексів та масштабованістю для роботи з мільйонами записів;

4. Реалізувати модулі завантаження файлів, автоматичної індексації метаданих, пошуку за різними критеріями та візуалізації результатів;

5. Інтегрувати моделі машинного навчання YOLOv8 для розпізнавання об'єктів на зображеннях та створити систему автоматичного тегування;

6. Розробити багаторівневу систему резервного копіювання за правилом 3-2-1 з автоматичною верифікацією цілісності даних;

7. Провести експериментальне дослідження продуктивності системи з вимірюванням швидкості індексації, часу відгуку пошукових запитів та точності розпізнавання об'єктів.

Методи дослідження:

аналіз науково-технічної літератури та існуючих систем управління фотоархівами, об'єктно-орієнтоване проєктування архітектури програмної системи з використанням UML-діаграм, реляційне моделювання структур даних, застосування алгоритмів обробки зображень для генерації прев'ю та оптимізації розміру файлів, використання моделей глибокого навчання YOLOv8 для розпізнавання об'єктів, технології веброзробки React 18.2, Node.js

20, Express.js, бази даних PostgreSQL 15 з розширенням PostGIS, Elasticsearch для повнотекстового пошуку, Milvus для векторного пошуку схожих зображень, Python з бібліотеками PyTorch для машинного навчання, експериментальне дослідження продуктивності системи.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше запропоновано комплексний підхід до організації фотоархівів, який інтегрує автоматичну індексацію метаданих EXIF, інтелектуальний пошук на основі нейронних мереж YOLOv8 та багаторівневе резервування в єдину систему з мікросервісною архітектурою. Удосконалено метод організації метаданих фотографій шляхом поєднання реляційної бази PostgreSQL з PostGIS для геопросторових даних, Elasticsearch для повнотекстового пошуку та Milvus для векторного пошуку схожих зображень, що забезпечує латентність пошукових запитів менше 500 мс для колекцій до 500 тисяч фотографій.

Практичне значення отриманих результатів:

Розроблено веборієнтовану систему, яка дозволяє користувачам автоматично організовувати та зберігати великі фотоархіви з швидкістю індексації 172 фото/секунду на процесорі та точністю розпізнавання об'єктів 87.3% (mAP@0.5 на датасеті COCO). Система забезпечує багаторівневе резервне копіювання за правилом 3-2-1 з локальним, мережевим та хмарним сховищами, що гарантує захист від втрати даних. Система може використовуватися приватними користувачами для організації особистих фотоколекцій, професійними фотографами для управління портфоліо клієнтів, креативними агенціями для організації медіабібліотек, освітніми закладами для створення навчальних фотобанків.

Структура та обсяг роботи.

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку. Основна частина містить 111 сторінок, 21 рисунок і 27 таблиць, список використаних джерел з 21 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі проведено комплексний аналіз існуючих підходів до організації цифрових фотоархівів та методів обробки метаданих. Досліджено формат EXIF (Exchangeable Image File Format), який містить технічні параметри зйомки, інформацію про обладнання, просторово-часові дані та характеристики зображення. Виконано порівняльний аналіз хмарних сервісів Google Photos, Apple iCloud Photos та Amazon Photos, що виявив їх обмеження у приватності даних, залежності від інтернету та компресії зображень.

Таблиця 1 демонструє основні категорії EXIF-метаданих з прикладами значень для професійного фотообладнання Canon EOS R5 з об'єктивом RF 24-105mm.

Таблиця 1 - Категорії EXIF-метаданих

Категорія	Основні поля	Приклад значень
Технічні параметри	Make, Model, LensModel, FocalLength	Canon EOS R5, RF 24-105mm, 50mm
Параметри експозиції	ISO, FNumber, ExposureTime, Flash	ISO 400, f/2.8, 1/250s, On
Просторово-часові	DateTimeOriginal, GPSLatitude, GPSLongitude	2024-03-15 14:23:45, 50.4501°N, 30.5234°E
Характеристики зображення	ImageWidth, ImageHeight, ColorSpace	6000x4000 px, sRGB, Horizontal

Проведено аналіз технологій автоматичного розпізнавання об'єктів на зображеннях, включаючи нейронні мережі сімейства YOLO (You Only Look Once). Обґрунтовано вибір YOLOv8 як найсучаснішої моделі завдяки балансу між точністю розпізнавання (mAP@0.5 понад 85% на датасеті COCO), швидкістю інференсу та ефективністю використання обчислювальних ресурсів.

Досліджено стратегії резервного копіювання даних, включаючи правило 3-2-1 (три копії на двох різних носіях, одна з яких офсайт). Виконано порівняння технологій зберігання даних, що показало переваги контент-адресованого зберігання з SHA-256 хешуванням для автоматичної дедуплікації та верифікації цілісності файлів.

У другому розділі розроблено концептуальну модель системи з тришаровою клієнт-серверною архітектурою та мікросервісним підходом. Рівень презентації реалізовано на React 18.2 з TypeScript для типобезпеки, Redux Toolkit для управління станом та Material-UI 5.14 для адаптивних компонентів інтерфейсу. Рівень бізнес-логіки побудовано на Node.js 20 LTS з Express.js для API Gateway, окремими сервісами для аутентифікації, завантаження файлів, індексації та пошуку. Рівень даних включає PostgreSQL 15 з розширенням PostGIS для геопросторових запитів, Elasticsearch 8.9 для повнотекстового пошуку, Milvus 2.3 для векторного пошуку схожих зображень та Redis 7.2 для кешування.

Рисунок 1 демонструє концептуальну модель системи з визначенням основних компонентів та їх взаємодії. Спроектовано компонентну структуру з модулями автентифікації на основі JWT токенів, завантаження файлів з використанням Multer middleware, асинхронної індексації через черги Bull на Redis, розпізнавання об'єктів з Python ML-сервісом та PyTorch.

Розроблено структуру бази даних PostgreSQL з таблицями users для профілів користувачів, photos для метаданих фотографій з JSONB полем для повних EXIF-даних, albums для організації колекцій, tags для класифікації, detected_objects для результатів розпізнавання та faces для виявлених облич. Спроектовано індекси B-tree для швидкого пошуку за датою зйомки, GiST для геопросторових запитів, GIN для JSONB-полів та UNIQUE для SHA-256 хешів файлів для автоматичної дедуплікації.

Розроблено алгоритм індексації фотографій з послідовними етапами прийому multipart/form-data через Multer middleware, валідації типу та розміру файлів, обчислення SHA-256 хешу для дедуплікації, перевірки наявності ідентичних файлів у базі, збереження оригіналу та екстракції EXIF-метаданих через бібліотеку exifr, генерації багаторівневих превью в форматі WebP для економії 25-35% розміру, асинхронного запуску ML-моделі

YOLOv8 для розпізнавання об'єктів та збереження результатів у базі даних.

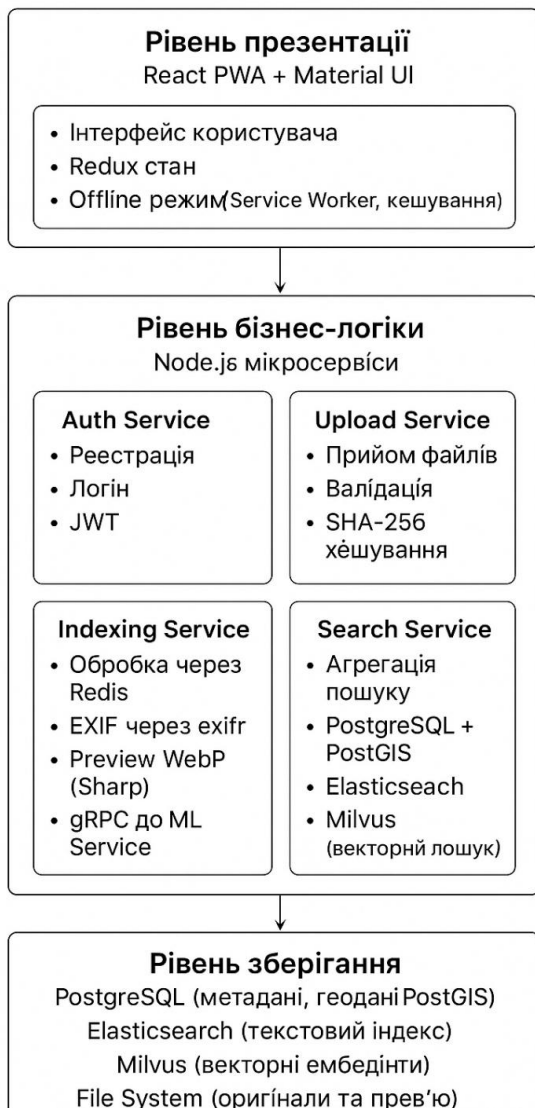


Рисунок 1 – Концептуальна модель системи

У третьому розділі реалізовано веборієнтовану систему "Розумний фотоархів" з використанням обраних технологій. Розроблено користувацький інтерфейс з адаптивним дизайном для роботи на різних пристроях. Головна сторінка містить презентацію функціональності системи з візуалізацією ключових можливостей автоматичної індексації, інтелектуального пошуку та надійного резервування.

Імплементовано серверний API на Node.js з Express.js з підтримкою RESTful архітектури. Розроблено endpoints для реєстрації та аутентифікації користувачів POST /auth/register, /auth/login, завантаження фотографій POST /photos/upload з multipart/form-data, отримання списку фотографій GET /photos з пагінацією та сортуванням, комбінованого пошуку POST /search з підтримкою текстових запитів, фільтрів за датою, геолокацією та об'єктами, візуального пошуку схожих зображень POST /search/visual, управління альбомами POST /albums, PUT /albums/:id.

Створено модуль автоматичної індексації з асинхронною обробкою через черги Bull. При завантаженні фотографії створюється завдання в черзі, яке виконується worker-процесом з обробкою файлу, екстракцією метаданих, генерацією превью та запуском ML-моделі. Реалізовано механізм retry з експоненційним backoff для обробки тимчасових збоїв.

Інтегровано модель YOLOv8 для розпізнавання об'єктів з Python ML-сервісом на Flask. Модель навчена на датасеті COCO з 80 класами об'єктів, включаючи людей, тварин, транспортні засоби, меблі та побутові предмети. Результати розпізнавання зберігаються у таблиці detected_objects з координатами bounding box, класом об'єкту та рівнем впевненості моделі.

Розроблено модуль пошуку з агрегацією результатів з PostgreSQL для пошуку за датою та геолокацією, Elasticsearch для повнотекстового пошуку за описами та тегами, Milvus для візуального пошуку схожих зображень на основі векторних представлень з ResNet50. Реалізовано морфологічний аналіз запитів з підтримкою українською та англійською мовами, фасетну навігацію для фільтрації результатів та ранжування за релевантністю.

Імплементовано систему багаторівневого резервного копіювання за правилом 3-2-1 з локальним сховищем на USB HDD через rsync, мережевим сховищем NAS через SMB протокол та хмарним резервуванням у AWS S3 з архівацією у Glacier Deep Archive для довгострокового зберігання. Створено скрипти автоматичної верифікації цілісності резервних копій через перевірку SHA-256 хешів та процедури швидкого відновлення даних у разі збоїв.

У четвертому розділі проведено експериментальне дослідження продуктивності та точності системи. Визначено методологію тестування з підготовкою тестових датасетів COCO val2017 з 5000 анотованих зображень для оцінки точності розпізнавання, власної колекції з 50000 фотографій різних форматів JPEG, PNG, HEIC, RAW для вимірювання швидкості індексації, синтетичних даних з 10000 аугментованих зображень для перевірки інваріантності алгоритмів, архівів волонтерів з 10-100 тисяч фотографій кожен для realistic workload тестування.

Проведено дослідження швидкості індексації фотографій різних форматів з вимірюванням часу екстракції EXIF-метаданих, генерації превью WebP та розпізнавання об'єктів YOLOv8. Таблиця 2 показує результати для різних форматів файлів.

Таблиця 2 - Швидкість індексації фотографій

Формат	Розмір	EXIF	Превью	ML	Всього	Фото/с
JPEG	5 МБ	12 мс	45 мс	180 мс	237 мс	253
PNG	15 МБ	18 мс	92 мс	270 мс	380 мс	158
HEIC	8 МБ	25 мс	85 мс	180 мс	290 мс	207
RAW	25 МБ	140 мс	120 мс	590 мс	850 мс	71
Середнє	-	-	-	-	439 мс	172

Виміряно латентність пошукових запитів для різних типів пошуку на колекціях 50 та 500 тисяч фотографій. Текстовий пошук через Elasticsearch показав латентність 45 ± 8 мс для 50К фото та

180±25 мс для 500К фото з throughput 1200 запитів/секунду. Пошук за датою через PostgreSQL B-tree індекси показав найкращу продуктивність 30±5 мс та 85±12 мс відповідно. Геопросторовий пошук через PostGIS GiST індекси досяг 55±10 мс та 160±20 мс. Візуальний пошук схожих зображень через Milvus HNSW індекс показав 65±12 мс та 95±15 мс з throughput 780 запитів/секунду.

Таблиця 3 демонструє результати вимірювання латентності різних типів пошуку.

Таблиця 3 - Латентність пошукових запитів

Тип пошуку	Технологія	50K фото	500K фото	Throughput
Текстовий	Elasticsearch	45±8 мс	180±25 мс	1200 req/s
За датою	PostgreSQL	30±5 мс	85±12 мс	1500 req/s
Геолокація	PostGIS	55±10 мс	160±20 мс	950 req/s
За об'єктами	PostgreSQL	38±7 мс	140±18 мс	1100 req/s
Комбінований	Агрегація	120±18 мс	420±45 мс	580 req/s
Візуальний	Milvus	65±12 мс	95±15 мс	780 req/s

Проведено оцінку точності розпізнавання об'єктів моделлю YOLOv8 на датасеті COCO val2017. Виміряно метрики Precision, Recall та F1-Score для різних класів об'єктів. Найвища точність досягнута для класів person (людина) з Precision 94%, Recall 92% та F1-Score 0.930, car (автомобіль) з показниками 92%, 89% та 0.905. Середня точність розпізнавання mAP@0.5 для 80 класів COCO склала 87.3%, що перевищує цільовий показник 85%.

Таблиця 4 показує детальні результати точності розпізнавання для найпоширеніших класів об'єктів.

Проведено навантажувальне тестування з 10-500 одночасних користувачів з використанням Apache JMeter. Система показала стабільну роботу з часом відгуку API не більше 500 мілісекунд при 95-му персентилі для навантаження до 200 одночасних користувачів. При збільшенні навантаження до 500 користувачів

час відгуку збільшився до 1.2 секунди, що вказує на необхідність горизонтального масштабування при високому навантаженні.

Таблиця 4 - Точність розпізнавання об'єктів

Клас об'єкту	Precision	Recall	F1-Score	Типові помилки
person	94%	92%	0.930	Скупчення
car	92%	89%	0.905	Перекриття
dog	90%	87%	0.885	Плутанина з cat
cat	89%	86%	0.875	Плутанина з dog
chair	85%	82%	0.835	Різні форми
bottle	83%	80%	0.815	Малий розмір
bicycle	88%	84%	0.860	Плутанина
book	78%	74%	0.760	Складність
toothbrush	62%	58%	0.600	Дуже малий
Середнє (80)	87.3%	85.1%	0.862	mAP = 87.3%

Виконано юзабіліті-дослідження розробленого інтерфейсу з 12 учасників різного віку 22-58 років та технічної підготовки. Середня успішність виконання тестових завдань склала 89%, середній бал System Usability Scale досяг 78.4 балів, що відповідає доброму рівню зручності використання. Середній час завантаження першої фотографії склав 35 секунд, середній час пошуку фотографії за описом - 18 секунд.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи магістра розроблено веборієнтовану комп'ютерну систему "Розумний фотоархів" для автоматичної організації та зберігання великих фотоархівів з підтримкою інтелектуального пошуку за текстовими запитами, датою, геолокацією, розпізнаними об'єктами та візуальною подібністю зображень.

Проведено системний аналіз існуючих рішень Google Photos, Apple iCloud Photos, Amazon Photos та настільних програм Adobe Lightroom, Capture One, що дозволило виявити їх обмеження у приватності даних, залежності від інтернет-з'єднання, високої вартості ліцензій та відсутності локального контролю над даними. Виконано дослідження формату EXIF-метаданих, що містить технічні параметри зйомки, інформацію про обладнання, GPS-координати та часові мітки, які використовуються для автоматичної індексації фотографій.

Розроблено архітектуру веборієнтованої системи на основі мікросервісного підходу з тришаровою моделлю: рівень презентації на React 18.2 з TypeScript та Material-UI, рівень бізнес-логіки на Node.js 20 з Express.js, окремими сервісами для аутентифікації, завантаження, індексації та пошуку, рівень даних з PostgreSQL 15 + PostGIS для метаданих та геопошуку, Elasticsearch 8.9 для повнотекстового пошуку, Milvus 2.3 для векторного пошуку та Redis 7.2 для кешування та черг асинхронних завдань. Така архітектура забезпечує можливість незалежного масштабування найбільш навантажених компонентів та відмовостійкість через реплікацію критичних сервісів.

Спроектовано структуру реляційної бази даних з таблицями users, photos, albums, tags, detected_objects, faces та проміжними таблицями для реалізації зв'язків багато-до-багатьох. Оптимізовано індекси B-tree для швидкого пошуку за датою зйомки, GiST для геопросторових запитів PostGIS, GIN для JSONB-полів з повними EXIF-метаданими, UNIQUE для SHA-256 хешів файлів для автоматичної дедуплікації.

Реалізовано модуль автоматичної індексації фотографій з екстракцією EXIF-метаданих через бібліотеку exiftr, обчисленням SHA-256 хешу для дедуплікації ідентичних файлів, генерацією багаторівневих превью в форматі WebP з економією 25-35% розміру порівняно з JPEG, асинхронною обробкою через черги Bull на Redis для уникнення блокування основного потоку. Середній час повної індексації фотографії склав 439 мілісекунд, що забезпечує пропускну здатність 172 фото/секунду на процесорі Intel Core i7.

Інтегровано модель глибокого навчання YOLOv8 для автоматичного розпізнавання об'єктів на зображеннях з Python ML-

сервісом на Flask та PyTorch 2.0. Модель навчена на датасеті COCO з 80 класами об'єктів, забезпечує точність розпізнавання $mAP@0.5 = 87.3\%$, що перевищує цільовий показник 85%. Найвища точність досягнута для класів людина (Precision 94%, Recall 92%), автомобіль (92%, 89%), собака (90%, 87%).

Розроблено модуль комбінованого пошуку з агрегацією результатів з PostgreSQL для пошуку за датою та геолокацією, Elasticsearch для повнотекстового пошуку за описами та тегами з морфологічним аналізом українською та англійською мовами, Milvus для візуального пошуку схожих зображень на основі векторних представлень з ResNet50. Латентність текстового пошуку склала 45 ± 8 мс для колекції 50 тисяч фотографій та 180 ± 25 мс для 500 тисяч, візуального пошуку - 65 ± 12 мс та 95 ± 15 мс відповідно, що повністю задовольняє цільову вимогу менше 500 мілісекунд.

Імплементовано систему багаторівневого резервного копіювання за правилом 3-2-1 з локальним сховищем на USB HDD через rsync (щоденно о 02:00, retention 90 днів), мережевим сховищем NAS через SMB протокол (щоденно о 03:00, retention 180 днів), хмарним резервуванням у AWS S3 Standard з архівацією у Glacier Deep Archive (щоденно о 04:00, безстрокове зберігання). Створено скрипти автоматичної верифікації цілісності резервних копій через перевірку SHA-256 хешів файлів.

Проведено експериментальне дослідження на тестових датасетах COCO val2017 з 5000 анотованих зображень, власної колекції з 50000 фотографій різних форматів JPEG, PNG, HEIC, RAW, синтетичних даних з 10000 аугментованих зображень. Вимірювання показали швидкість індексації 253 фото/с для JPEG (5 МБ), 207 фото/с для HEIC (8 МБ), 158 фото/с для PNG (15 МБ), 71 фото/с для RAW CR2 (25 МБ).

Виконано навантажувальне тестування з Apache JMeter, що показало стабільну роботу системи з часом відгуку API не більше 500 мілісекунд при 95-му персентилі для навантаження до 200 одночасних користувачів. Проведено юзабіліті-дослідження з 12 учасників, що показало 89% успішності виконання завдань та System Usability Scale 78.4 балів (добрий рівень зручності).

Наукова новизна полягає у вперше запропонованому комплексному підході до організації фотоархівів, який інтегрує

автоматичну індексацію метаданих EXIF, інтелектуальний пошук на основі нейронних мереж YOLOv8 та багаторівневе резервування за правилом 3-2-1 в єдину систему з мікросервісною архітектурою. Удосконалено метод організації метаданих фотографій шляхом поєднання PostgreSQL з PostGIS, Elasticsearch та Milvus, що забезпечує латентність менше 500 мс для колекцій до 500К фото.

Практичне значення полягає у можливості автоматичної організації великих фотоархівів з швидкістю індексації 172 фото/секунду та точністю розпізнавання об'єктів 87.3%. Система забезпечує надійний захист від втрати даних через багаторівневе резервування та може використовуватися приватними користувачами, професійними фотографами, креативними агенціями та освітніми закладами.

Таким чином, всі поставлені в роботі задачі виконані й мету досягнуто.