



DOI 10.28925/2663-4023.2024.26.690

УДК 004.627:519.687.7

**Рябий Мирослав Олександрович**

к.т.н, доцент, директор НВЦ «Аеронавтика»

Державний університет «Київський авіаційний університет», Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0002-9651-9135

[m.o.ryabyy@gmail.com](mailto:m.o.ryabyy@gmail.com)**Гончарук Юрій Миколайович**

аспірант кафедри комп'ютерних інформаційних технологій

Державний університет «Київський авіаційний університет», Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0001-7294-0550

[4772541@stud.nau.edu.ua](mailto:4772541@stud.nau.edu.ua)**Поліщук Юлія Ярославівна**

молодший науковий співробітник

Державний університет «Київський авіаційний університет», Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0002-0686-2328

[polishchuk.yu.ya@gmail.com](mailto:polishchuk.yu.ya@gmail.com)

## ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗБЕРІГАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ З СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ТА АЕРОФОТОЗЙОМКИ

**Анотація.** Проведено огляд актуальних технологій зберігання та аналізу даних з супутникових знімків та аерофотозйомки. Наразі, галузь обробки та агрегації активно розвивається: додаються нові методи аналітики, створюються принципово нові підходи. Для оцінки уже існуючих технологій — в статті було стисло описано основні продукти, представлені на ринку, такі як EOSDA, Maxar, Google Earth Engine, ArcGIS та інші. Для оцінки сильних та слабких сторін було сформовано порівняльну таблицю з урахуванням факторів автономності та відкритості до модифікацій. Автономність агрегації та обробки геопросторових даних важлива не лише в розрізі залежності від сторонніх обчислювальних ресурсів, а і є ключовим фактором для впровадження в критичних галузях. Також, незалежність та здатність розгортатися на обладнання клієнта вимагають від аналітичних алгоритмів більш економного використання обчислювальних ресурсів, що в свою чергу корелює з якістю підходів до агрегації даних. Тому ключовим напрямком на шляху до автономності системи є можливість позбутися зайвої інформації ще до того, як вона буде оброблена більш вимогливими алгоритмами пошуку та ідентифікації об'єктів чи просторових шаблонів. Саме тому авторами було запропоновано підхід для оптимізації обробки та зберігання, що спростить доступ до результатів аналітики та загальну швидкість. Цей підхід може значно знизити обсяги зберігання даних і час доступу до них, при цьому забезпечуючи високу точність і актуальність інформації. Запропоновано метод агрегації даних аерофотозйомки в напівавтоматичні панорамні знімки, що вилучають перекриття сусідніх кадрів за допомогою гомографічних перетворень, що базуються на особливих точках. Запропоновано також метод порівняння (та пошуку збігів) знімків аерофотозйомки та аналогічних супутникових, що наближують дані з різних джерел. З огляду на отриманий результат — впровадження методів машинного навчання та штучного інтелекту в аналіз геопросторових даних може стати ключем до розробки високоавтоматизованих систем, здатних адаптуватися та реагувати на зміни у великих потоках даних.

**Ключові слова:** геопросторові дані; обробка супутникових знімків; дані аерофотозйомки; метод особливих точок; обробка зображень



## ВСТУП

Візуальна інформація має достатню варіабельність для опису різноманіття явищ і, водночас, достатньо піддатлива, в порівнянні з іншими природними джерелами, для автоматизованих систем аналізу. Знімки, отримані шляхом супутникової або аерофотозйомки, — цінне джерело кліматичної, соціальної та безпекової обізнаності, головними недоліками даного типу інформації вважаються надмірний загальний обсяг даних та велика частка зайвих контекстуальних даних, незмінних від поведінки цільових об'єктів. Саме надлишковість інформації перешкоджає оперативному отриманню бажаної високорівневої інформації.

Перші супутники були виведені на орбіту в 50–60 роках і обробка даних, отриманих з них, вимагала великої кількості зусиль та складних обчислень. Обробка проводилась із застосуванням геодезичних та картографічних методів і значною мірою виконувалась в ручному режимі, шляхом агрегування оброблених даних в картографічних бібліотеках (вручну нанесені лінії висот, берегових ліній). Також в ручному режимі виконувався синтез даних — доповнення отриманих знімків супутника — відповідними знімками аерофотозйомки, кадастровими даними земельної власності. З останніх глобальних змін в галузі аналізу таких масивних та постійно обновлюваних даних стали штучні нейронні мережі, які дозволили винести за дужки погодні умови та іншого роду спотворення вхідних даних, які були проблемою для прямих статистичних методів, що ґрунтуються на обмеженому числі параметрів.

Обробка та консолідація супутникових та аерофотознімків — це інженерний виклик через неоднозначність візуальних даних в залежності від впливу контекстуальних факторів. На відміну від інших методів моніторингу, автоматизований аналіз оптичних зображень потребує обробки складних структур, великої кількості хибних або повторюваних шаблонів, що набувають сенсу лише в контексті. Особливу увагу потребують методи агрегації зображень, які описують ту саму місцевість, відзняту з різних джерел та в різні часові проміжки, для збереження лише важливих і актуальних даних.

**Постановка проблеми.** З огляду існуючих публікацій — вирішення задач обробки та консолідації супутникових та аерофотознімків мало велику кількість спроб та успішних досліджень. Попри це, кількість невирішених завдань лишається великою, перед нами досі є невирішені обмеження у вигляді потреби автономного інструменту, незалежного від хмарних/віддалених обчислювальних ресурсів. Також потребує якісних вирішень задача автоматичної консолідації даних аерофотозйомки за умов відсутніх або неточних метаданих геопозиціонування. Актуальною є і розробка методики агрегації даних аерофотозйомки задля виключення перекриття регіонів та без втрати інформації. Опрацювання також вимагає розробка аналітичних автономних застосунків для низькорівневої ситуаційної обізнаності «на місці» без поширення отриманої інформації на сторонні ресурси. Саме вирішення цих задач нині вважається пріоритетним.

**Мета статті.** Дана робота має на меті проаналізувати існуючі застосунки та технології для розв'язання задач обробки та консолідації супутникових та аерофотознімків, та порівняти їх з власними підходами.



## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо представлені на ринку послуг космічної та аерофотозйомки продукти, що покривають частину або більшість задач, що цікавлять нас. Це провайдери зображень або послуг аналітики, що в більшості своїй — мають власні джерела даних (спутники) та власні обчислювальні ресурси. В результаті — клієнтам варто лише оплатити та замовити необхідну аналітику або просторову інформацію. Це є оптимальний варіант для переважної частини ринку, але недостатньо для специфічних завдань, продиктованих умовами сучасності.

### Огляд провайдерів супутникових даних

Серед численних сучасних технологій, що використовуються для збору геопросторових даних, компанія Махаг виділяється завдяки своїй передовій системі супутникових знімків, яка забезпечує динамічне агрегування та обробку інформації. Ця технологія дозволяє користувачам отримувати як базові, так і детально оброблені знімки для швидкого та ефективного реагування на різноманітні ситуації [9]. Основою даної системи є серія супутників WorldView, кожен з яких має унікальні характеристики [20]. Наприклад, супутник WorldView-3 має найкращу роздільну здатність серед комерційних апаратів, запущених до 2014 року, тоді як WorldView-4, хоч і має менш потужну матрицю, покриває більшу територію. Махаг також використовує моделі з більшим терміном служби, такі як WorldView-1 і WorldView-2, забезпечуючи високу якість знімків, що є критично важливим для різних досліджень поверхні Землі.

Однією з ключових переваг Махаг є використання HD-знімків з роздільною здатністю до 15 см/піксель, що в два рази краще стандартних 30 см/піксель і є рекордом для комерційних продуктів [7]. Така висока роздільна здатність досягається завдяки застосуванню складних математичних моделей, які покращують зображення без додавання нових даних, забезпечуючи тим самим надзвичайну точність і комерційну цінність. Компанія надає можливість своїм клієнтам тестувати власні алгоритми машинного навчання, використовуючи оброблені знімки та обчислювальні потужності Махаг для розвитку власних аналітичних моделей.

Google Earth Engine (GEE) виступає як потужний інструмент для науковців та аналітиків, дозволяючи їм фокусуватися на вивченні глобальних змін замість витрат часу на збір та управління даними [8]. Платформа має широкий спектр застосувань від моніторингу змін лісового покриву до прогнозування поширення епідемій. Надаючи доступ до величезного архіву супутникових знімків за останні 37 років, GEE пропонує велику кількість інструментів для інтеграції власних алгоритмів на основі хмарної інфраструктури Google. Однак платформа має певні обмеження, зокрема в аналізі складних задач та необхідності постійного інтернет-з'єднання.

ENVI Services Engine вирізняється здатністю інтегрувати супутникові знімки, лідарні та радарні дані, що дозволяє створювати автоматизовані рішення та аналітичні застосунки на вимогу користувачів [4]. Завдяки своїм розширеним аналітичним засобам, ENVI здатна виконувати завдання від класифікації зображень до оцінки ризиків, використовуючи дані з найвідоміших супутників, таких як Landsat і Sentinel, які є надійними джерелами для отримання регулярних та точних знімків.

Satelloptic, аргентинська компанія, займається проектуванням, виробництвом та експлуатацією супутників для дистанційного зондування Землі, що дозволяє їй часто оновлювати дані та забезпечувати оперативні знімки всієї поверхні планети. Це важливо для користувачів, які потребують актуальних даних для прийняття швидких рішень [6].



EOS Data Analytics використовує штучний інтелект для аналізу великих обсягів даних дистанційного зондування [15], надаючи інструменти для точного землеробства та моніторингу природних ресурсів через свій флагманський продукт EOS Crop Monitoring [5]. Цей інструмент інтегрує знімки з польовими даними, підтримуючи аналіз вегетаційних індексів та ефективність полів, що дозволяє фермерам оптимізувати врожайність.

Capella Space, спеціалізуючись на радарних знімках високої роздільності, дозволяє отримувати дані незалежно від часу доби та погодних умов [2]. Це робить їх інструментом вибору для цілодобового моніторингу, особливо в умовах обмеженої видимості або непридатних погодних умов.

Planet Labs, з їхньою найбільшою у світі групою супутників, забезпечує щоденний моніторинг всієї суші Землі, що дає змогу аналізувати глобальні зміни в реальному часі [13]. Вони пропонують різні аналітичні інструменти через свою платформу та API, що дозволяє користувачам виконувати детальний аналіз часових рядів і виявлення змін.

### Огляд провайдерів інструментів обробки даних аерофотозйомки

QGIS і ArcGIS є могутніми інструментами для інтеграції аерофотознімків з супутниковими зображеннями, забезпечуючи можливість виконання складних геоаналітичних завдань [17], [1]. Завдяки своїм великим можливостям, ці платформи дозволяють користувачам використовувати скрипти та моделі для автоматизації робочих процесів та підвищення ефективності обробки великих обсягів даних.

Pix4D пропонує першокласне програмне забезпечення для обробки аерофотознімків і створення точних тривимірних моделей [12], [11]. Ці технології застосовуються в різних галузях, наприклад в геодезії, картографії, будівництві та сільському господарстві, і є критично важливими для точного планування та аналізу землекористування.

### Порівняння описаних технологій

Для розуміння переваг та недоліків існуючих технологій, описаних вище — проведемо порівняльний аналіз, в якому оцінимо пропонований згаданими компаніями функціонал (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна таблиця надавачів геопросторових даних та послуг їх обробки

	Maxar	Google Earth Engine	ENVI	Satelloptic	EOSDA	Capella	Planet	Pix4D	QGIS	ArcGIS
Автономність джерел інформації	10	0	3	10	0	10	10	0	0	0
Доступність (цінова політика)	0	10	5	5	8	5	5	5	10	5
Гнучкість	8	10	8	8	10	7	9	8	8	9
Готові інструменти	8	10	10	9	9	7	9	6	7	8
Покриття площі Землі	10	10	9	10	8	8	10	0	0	0
Актуальність даних	10	9	9	9	9	9	9	0	0	0
Роздільна здатність	10	7	8	6	7	8	8	0	0	0
Швидкість обробки даних	7	9	8	8	8	7	9	0	0	8
Сумісність з іншими інструментами	8	10	8	7	9	8	9	7	10	10
Екосистема користувачів (Наявність спільноти)	7	10	7	6	7	6	8	8	10	10



Інтеграція (Консолідація) аерофотозйомки	0	8	9	4	3	3	7	10	10	9
Перспективність (темпи розвитку)	9	9	6	10	8	9	9	7	10	8
Здатність розгортатися на обладнанні клієнта	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3
Підсумок	87	102	90	92	86	87	102	53	68	70

Підсумовуючи отримані оцінки — бачимо суттєву перевагу більш комплексних продуктів від великих корпорацій Google та Planet Labs з відкритою ціновою політикою, наявною спільнотою та екосистемою, ці фактори сприяють швидкому поширенню нових методів і підходів у обробці геопросторових даних.

ENVI, EOSDA та інші спеціалізовані платформи орієнтовані на професіоналів, які потребують більш детального аналізу знімків та можливості працювати з великими обсягами даних. Згадані платформи забезпечують користувачів розширеним набором функцій для точного вимірювання та моделювання, що робить їх незамінними для наукових досліджень та специфічних галузевих завдань, таких як моніторинг сільськогосподарських угідь або аналіз кліматичних змін.

Показник автономності джерел інформації є важливим для таких сервісів, як Satellogic та Capella Space, які надають унікальні дані з власних супутникових платформ. Вони є джерелом точних та незалежних знімків, що забезпечує високу якість та надійність даних для користувачів.

QGIS і ArcGIS мають посередні абсолютні, але і найвищі відносно оцінки в категорії автономності, адже хоч і дані продукти не надають доступу до просунутої аналітики — більшість функціоналу можлива в офлайн режимі. Цей параметр визначає, чи може бути використаний даний продукт для роботи з конфіденційною інформацією — а саме — чи може він бути придбаний та бути використаний державними установами і/або в оборонних цілях тоді, коли вимогою до впровадження останніх — є незалежність від обчислювальних потужностей виробника, локалізація та непоширення даних, що обробляються.

### Пропоновані покращення методів обробки

Саме при розгляді параметра балансу автономності та продуктивності згаданих продуктів було отримано висновок, що для автономної обробки даних пропонуються сервіси з базовим та обмеженим функціоналом, що ґрунтуються на чітко задокументованих даних з прив'язкою кожної важливої точки до світової системи координат. Тому, на думку авторів — існують альтернативні підходи, такі як: розробка технології агрегації послідовних великоформатних знімків — результатів аерофотозйомки, консолідації даних аерофотозйомки з супутниковими знімками в напівавтоматичному режимі за умови відсутності або низької якості метаданих, алгоритм консолідації супутникових знімків, що враховуватиме часову зміну.

Перші реалізовані в цьому напрямку методи стосуються саме динамічної агрегації даних аерофотозйомки. Зокрема, утворення панорам прольотів, які враховують перспективу та зміщення борта та дозволяються викинути неінформативні зони перекриття.

Підготовчим перетворенням даних виступив перехід до пірамідального представлення (рис. 1). Це перетворення базується на звичайних операціях масштабування оригінальної інформації та ітеративній обробці цільовим алгоритмом, що використовує зменшені варіанти з «вершини» для швидких результатів та дані ближче до «основи» піраміди для уточнення існуючих.

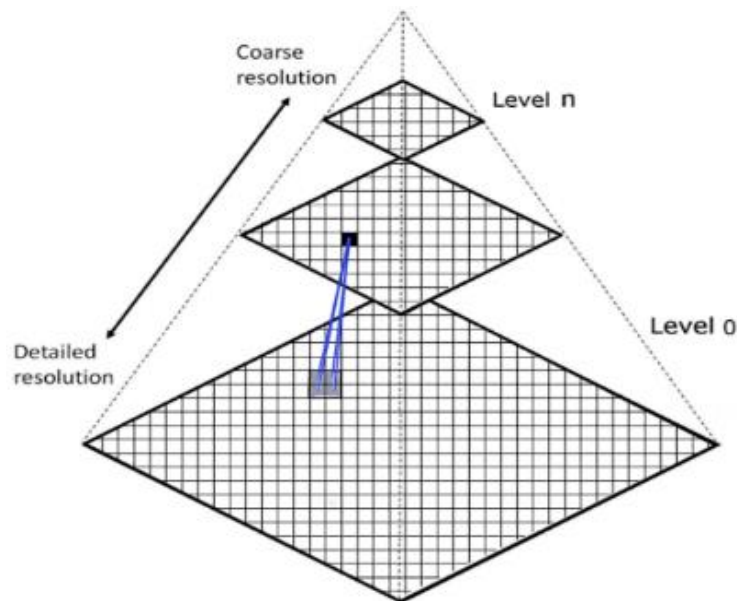


Рис. 1. Пірамідальне представлення зображення

В якості рушія було вирішено використовувати метод особливих точок, оскільки він з певними модифікаціями надає достатню точність, швидкодію та інваріантність до повороту чи зміни перспективи. Через відсутність необхідності обрахунку на борту — було вирішено використати оптимізовану під графічні прискорювачі і разом з цим точнішу реалізацію SuperPoint та порівнювач (matcher) SuperGlue [18], що через свою здатність бути натренованими під певний тип задач — є оптимальним вибором для реалізації консолідації знімків. Дані реалізації базуються на згорткових нейронних мережах (рис. 2) та мають потенціал до пришвидшення та покращення.

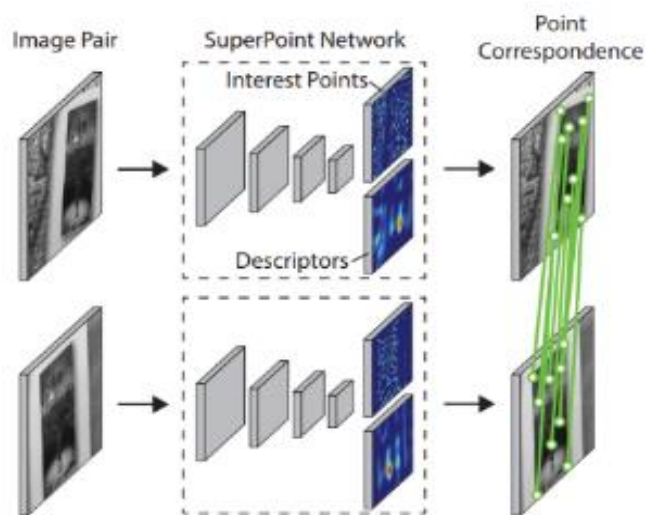


Рис. 2. Візуалізація структури SuperGlue

SuperPoint та SuperGlue обрані на основі обмеженого числа критеріїв і в майбутньому, будуть або навчені окремо під конкретні задачі або замінені на інші, більш легкі варіанти алгоритму пошуку та порівняння особливих точок

Основною проблемою та обмеженням виступає відсутність детальних метаданих отриманих знімків аерофотозйомки, що тягне за собою ускладнення задачі обрахунку гомографії (1) (співставлення точок однієї площини до іншої) для серії зображень (накопичення похибки), що було вирішено застосуванням методів оптимізації — розв'язанням задачі модулем `scipy` [10], що нівелює похибку і не дає її накопиченню вплинути на результат.

Матриця гомографії для двовимірного випадку має наступний вигляд:

$$H = (h11; h21; ; h31; h21; h22; h32; h31; h32; h33) \quad (1)$$

А саме застосування отриманих відповідників точок для підрахунку нормалізованих точок в новій площині матиме оновлене представлення (2).

$$(x', y') = \left( \frac{h11 * x + h12 * y + h12}{h13 * x + h32 * y + h33}, \frac{h21 * x + h22 * y + h23}{h31 * x + h32 * y + h33} \right) \quad (2)$$

Описана формулою операція, але масштабована відповідно до кількості отриманих достовірних особливих точок, надає змогу врахувати викривлення перспективи та невідоме, відмінне від нуля, відхилення борта.

Як бачимо з рисунку (рис. 3) та додатково (рис. 4) — була утворена панорама прольоту, що нівелювала надлишковість інформації, утвореною за рахунок накладання знімків. Відразу помітні недоліки в різкій зміні насиченості на границях кадрів, що є наслідком особливих налаштувань об'єктиву камери. Також з недоліків можна зауважити неточності що накопичуються в процесі агрегації великої кількості знімків та залежність від наявності перетинів (що необхідні для обрахування відповідності точок між зображеннями). Від кількості зображень також росте час на обробку, що може бути вирішеним шляхом паралельного підрахунку та обчислень. Пропоноване рішення дозволяє навіть на поточному етапі — без втрати інформації — отримувати приріст в 2–3 рази в використанні дискового простору та часу на обрахунки наступних кроків аналітики над отриманими прольотами.



Рис. 3. Результат утворення автоматичної панорами

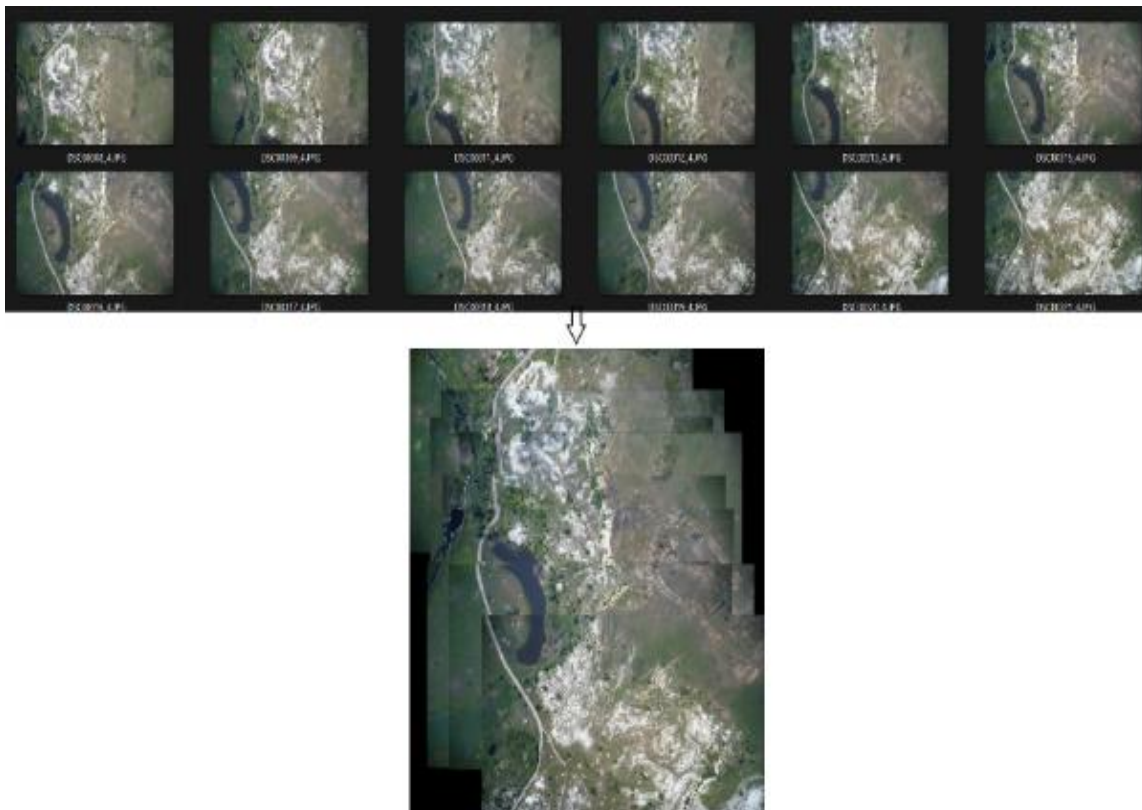


Рис. 4. Додаткові тестування утворення автоматичної панорами

Наступною підзадачею, вартою розгляду на даному етапі — була задача консолідації знімків аерофотозйомки з наявними супутниковими знімками змінної якості. В якості джерела було використано супутникові знімки, надані компанією Google, а в якості геопозиції було використано приблизні координати, відносно яких було виконано льотну місію.

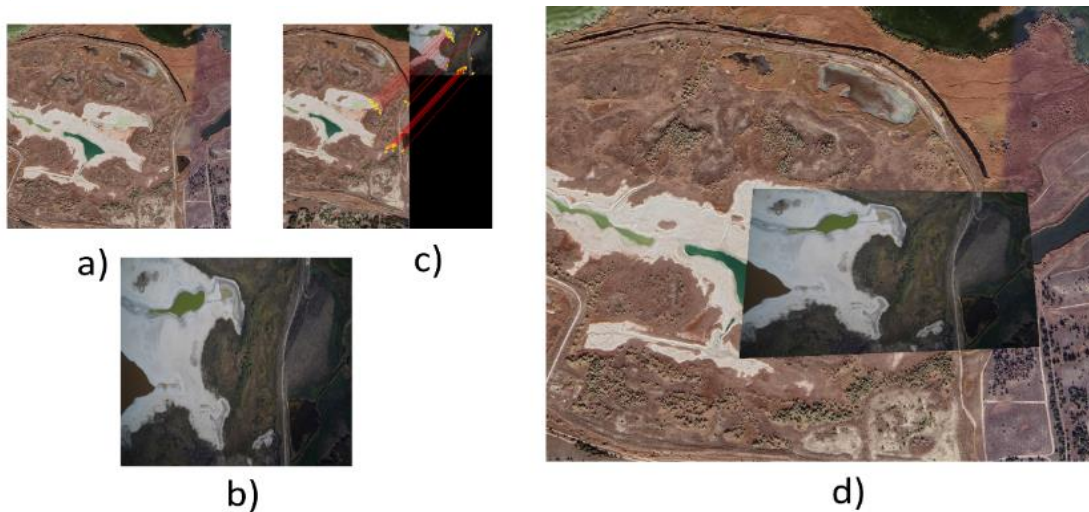
Добування та порівняння особливих точок відбувалися за допомогою описаних раніше SuperGlue, що в низці тестів показали найкращий результат в цій задачі. Відмінністю послужили такі базові кроки, як підбір кандидатів до порівняння (у випадку консолідації порівняння особливих точок відбувалося ковзним вікном по великоформатному супутниковому знімку) та у підборі гіперпараметрів детектингу особливих точок та їх порівнянню (рис. 5). Для кожного зі станів ковзного вікна (патчів) обраховуються ймовірні збіги особливих точок та обирається найбільш ймовірна для гомографії структура (3).

$$P_{best} = \arg P_{i_{max}} M(P_i, C) \quad (3)$$

де  $P_i$  — патч  $i$  з супутникового зображення,  $C$  — кандидатське зображення,  $M(P_i, C)$  — кількість валідних збігів між патчем  $P_i$  та кандидатським зображенням  $C$ .

Складність цієї задачі обумовлена специфікою вхідних даних, замість однієї генеральної сукупності нам варто наблизити дані з двох сукупностей, що обов'язково відрізняються (різниця між знімками може становити 2–3 роки).





*Рис. 5. Процес накладання фото аерофотозйомки на супутниковий знімок приблизного розташування. а — оригінальний супутниковий знімок, б — знімком аерофотозйомки, с — збіги особливих точок, d — консолідація*

Для перевірки алгоритму було здійснено ряд тестів на менш унікальних текстурах поверхні та отримано задовільний результат рис. 6, якість якого залежить від якості знімків та зміни в часі. Такі фактори як: зміна форми річок, озер, нова рослинність, вносять негативний вплив в результат позиціонування.



*Рис. 6. Додаткові тестування алгоритму*

Отримані задовільні результати, що враховують нахил борта при зйомці та особливості об'єктиву. Проте алгоритм виявляє чутливість до вхідних даних і має невисокий (65–75%) відсоток якісних спрацювань, що теж може бути вирішено тренуванням нейронної мережі детектора особливих точок і/або зміною підходу до аналізу видобутих даних. Проте, навіть на даному етапі отримані показники якості є конкурентними та корисними для наступних досліджень і вже можуть служити основою для наступних досліджень.



## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Здійснено аналітичне дослідження технологій зберігання та аналізу даних з супутникових знімків та аерофотозйомки, що можуть використовуватися для моніторингу екологічних змін, аграрного аналізу, картографування, військовій та інших сферах. Здобуті результати будуть корисні при проведенні багатокритеріального аналізу зазначених дефініцій, а також у процесі розробки нових методів та технологій.

Було виконано та випробувано реалізацію технології консолідації знімків аерофотозйомки з великоформатними супутниковими знімками, також реалізовано метод агрегації послідовної серії даних аерофотозйомки без наявних метаданих — в єдину панораму, що не містить повторів даних. Пропоноване рішення має покрити слабкі місця оглянутих засобів.

Першочерговим завданням, яке вимагає вирішення — є формування особливого синтетичного набору даних, що на основі алгоритмів порівняння зображень та прорахування темпоральної різниці, що зекономить дисковий простір та час доступу до даних. Безумовно, ми ризикуємо отримати певний відсоток хибно-негативних даних, кількість яких залежить від якості пропонованих алгоритмів. Для вирішення технологічної сторони завдання пропонується ансамблевий метод, що поєднує напівавтоматичне наближення місцевості на основі згорткових нейронних мереж, точну прив'язку на основі алгоритмів на основі особливих точок та їх порівняння, векторне представлення видобутих ознак знімків та робастних точок прив'язки даних з різних джерел.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ArcGIS | Geospatial Platform - GIS Software for Business & Government. (б. д.). *GIS Software for Mapping and Spatial Analytics | Esri*. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview>
2. Capella Space - Amplify Intelligence. (б. д.). *Capella Space - Amplify Intelligence*. <https://www.capellaspace.com/>
3. ENVI Remote Sensing Software | Image Analysis & Processing. (б. д.). *Geospatial Software & Solutions | Geospatial Data Analysis*. <https://www.nv5geospatialsoftware.com/Support/Maintenance-Detail/ArtMID/13350/ArticleID/16161/ENVI-Services-Engine---What-is-it>
4. EOSDA Crop Monitoring: Farm Software For Agricultural Sector. (б. д.). *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/products/crop-monitoring/>
5. Home - Satellogic. (б. д.). *Satellogic*. <https://www.satellogic.com/>
6. Introducing 15 cm HD: The Highest Clarity From Commercial Satellite. (б. д.). *Maxar Blog*. <https://blog.maxar.com/earth-intelligence/2020/introducing-15-cm-hd-the-highest-clarity-from-commercial-satellite-imagery>
7. Landsat 9 | Landsat Science. (б. д.). *Landsat Science | A joint NASA/USGS Earth observation program*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>
8. On-Demand Intelligence | Maxar. (б. д.). *Maxar Intelligence & Maxar Space Systems*. <https://www.maxar.com/maxar-intelligence/products/on-demand-intelligence>
9. Optimization and root finding (scipy.optimize) – SciPy v1.14.1 Manual. (б. д.). *Numpy and Scipy Documentation – Numpy and Scipy documentation*. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/optimize.html>
10. PIX4Dfields: Drone software for agriculture mapping. (б. д.). *Pix4D*. <https://www.pix4d.com/product/pix4dfields/>
11. PIX4Dmapper: Professional photogrammetry software for drone mapping. (б. д.). *Pix4D*. <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>
12. Planet Insights Platform | Planet. (б. д.). *Planet Labs: Satellite Imagery & Earth Data Analytics*. <https://www.planet.com/products/>
13. Planet Satellite Imaging | Planet. (б. д.). *Planet Labs: Satellite Imagery & Earth Data Analytics*. <https://www.planet.com/>
14. Satellite Data Analytics And Imagery Analysis By EOSDA. (б. д.). *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/>



15. Solutions. (б. д.). *Capella Space - Amplify Intelligence*. <https://www.capellaspace.com/solutions/applications>
16. Spatial without Compromise QGIS Web Site. (б. д.). *Spatial without Compromise QGIS Web Site*. <https://www.qgis.org/uk/site/>
17. Sarlin, P.-E., et al. (2020). SuperGlue: Learning Feature Matching With Graph Neural Networks. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00499>
18. Technology - Satellogic. (б. д.). *Satellogic*. <https://www.satellogic.com/technology/>
19. WorldView-3 - Earth Online. (б. д.). *Earth Online*. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-3>

**Myroslav Riabyi**

PhD, Associate Professor, Head of the Research and Production Centre “Aeronautica”  
State University “Kyiv Aviation Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-9651-9135  
[m.o.ryabyi@gmail.com](mailto:m.o.ryabyi@gmail.com)

**Yurii Honcharuk**

PhD Student, Department of Computer Information Technologies  
State University “Kyiv Aviation Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0001-7294-0550  
[4772541@stud.nau.edu.ua](mailto:4772541@stud.nau.edu.ua)

**Yuliia Polishchuk**

Junior researcher  
State University “Kyiv Aviation University”, Kyiv, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-0686-2328  
[polishchuk.yu.va@gmail.com](mailto:polishchuk.yu.va@gmail.com)

## REVIEW OF TECHNOLOGIES FOR STORING AND ANALYZING DATA FROM SATELLITE IMAGES AND AERIAL PHOTOGRAPHY

**Abstract.** An overview of current technologies for storing and analyzing data from satellite imagery and aerial photography is provided. Currently, the processing and aggregation industry is actively developing: new analytical methods are being added, and fundamentally new approaches are being created. To evaluate existing technologies, the article briefly describes the main products on the market, such as EOSDA, Maxar, Google Earth Engine, ArcGIS, and others. To evaluate the strengths and weaknesses, a comparative table was compiled taking into account the factors of autonomy and openness to modifications. The autonomy of geospatial data aggregation and processing is important not only in terms of dependence on third-party computing resources, but is also a key factor for implementation in critical industries. In addition, independence and the ability to be deployed on client hardware require analytical algorithms to use computing resources more economically, which in turn correlates with the quality of data aggregation approaches. Therefore, a key direction on the way to system autonomy is the ability to get rid of unnecessary information before it is processed by more demanding algorithms for searching and identifying objects or spatial patterns. That is why the authors proposed an approach to optimize processing and storage, which will simplify access to analytics results and overall performance. This approach can significantly reduce data storage and access time, while ensuring high accuracy and relevance of information. A method for aggregating aerial photography data into semi-automated panoramic images that remove overlapping neighboring frames using homographic transformations based on special points is proposed. A method for comparing (and searching for coincidences) aerial imagery and similar satellite imagery that approximates data from different sources is also proposed. Given the result, the introduction of machine learning and artificial intelligence methods in geospatial data analysis can be the key to the development of highly automated systems that can adapt and respond to changes in large data streams.

**Keywords:** geospatial data; satellite image processing; aerial photography data; feature point method; image processing.

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. ArcGIS | Geospatial Platform - GIS Software for Business & Government. (n. d.). *GIS Software for Mapping and Spatial Analytics* / Esri. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview>
2. Capella Space - Amplify Intelligence. (n. d.). *Capella Space - Amplify Intelligence*. <https://www.capellaspace.com/>



3. ENVI Remote Sensing Software | Image Analysis & Processing. (n. d.). *Geospatial Software & Solutions / Geospatial Data Analysis*. <https://www.nv5geospatialsoftware.com/Support/Maintenance-Detail/ArtMID/13350/ArticleID/16161/ENVI-Services-Engine---What-is-it>
4. EOSDA Crop Monitoring: Farm Software For Agricultural Sector. (n. d.). *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/products/crop-monitoring/>
5. Home - Satellogic. (n. d.). *Satellogic*. <https://www.satellogic.com/>
6. Introducing 15 cm HD: The Highest Clarity From Commercial Satellite. (n. d.). *Maxar Blog*. <https://blog.maxar.com/earth-intelligence/2020/introducing-15-cm-hd-the-highest-clarity-from-commercial-satellite-imagery>
7. Landsat 9 | Landsat Science. (n. d.). *Landsat Science | A joint NASA/USGS Earth observation program*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>
8. On-Demand Intelligence | Maxar. (n. d.). *Maxar Intelligence & Maxar Space Systems*. <https://www.maxar.com/maxar-intelligence/products/on-demand-intelligence>
9. Optimization and root finding (scipy.optimize) – SciPy v1.14.1 Manual. (n. d.). *Numpy and Scipy Documentation – Numpy and Scipy documentation*. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/optimize.html>
10. PIX4Dfields: Drone software for agriculture mapping. (n. d.). *Pix4D*. <https://www.pix4d.com/product/pix4dfields/>
11. PIX4Dmapper: Professional photogrammetry software for drone mapping. (n. d.). *Pix4D*. <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>
12. Planet Insights Platform | Planet. (n. d.). *Planet Labs: Satellite Imagery & Earth Data Analytics*. <https://www.planet.com/products/>
13. Planet Satellite Imaging | Planet. (n. d.). *Planet Labs: Satellite Imagery & Earth Data Analytics*. <https://www.planet.com/>
14. Satellite Data Analytics And Imagery Analysis By EOSDA. (n. d.). *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/solutions>
15. Solutions. (б. д.). *Capella Space - Amplify Intelligence*. <https://www.capellaspace.com/solutions/applications>
16. Spatial without Compromise QGIS Web Site. (n. d.). *Spatial without Compromise QGIS Web Site*. <https://www.qgis.org/uk/site/>
17. Sarlin, P.-E., et al. (2020). SuperGlue: Learning Feature Matching With Graph Neural Networks. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00499>
18. Technology - Satellogic. (n. d.). *Satellogic*. <https://www.satellogic.com/technology/>
19. WorldView-3 - Earth Online. (n. d.). *Earth Online*. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-3>

