

ПЕТРЕНКО ДМИТРО

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0003-3720-9038>e-mail: [dmytro.o.petrenko@lpnu.ua](mailto:dmytro.o.petrenko@lpnu.ua)

КРИВЕНЧУК ЮРІЙ

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-2504-5833>e-mail: [yurii.p.kryvenchuk@lpnu.ua](mailto:yurii.p.kryvenchuk@lpnu.ua)

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ GAN МЕРЕЖ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДАНИХ З ДАВАЧІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*В статті досліджується можливість застосування генеративно-конкурентних мереж для покращення точності та надійності даних з давачів безпілотних літальних апаратів, зосереджуючись на даних інерційних вимірювальних блоків та GPS. В роботі висвітлюється, як GAN можуть збільшувати дискретизацію даних та коригувати аномалії в GPS-даних, значно підвищуючи якість навігаційних систем. Аналізуються технічні аспекти роботи GAN, їх потенційні виклики та обмеження. Стаття підкреслює важливість подальших досліджень GAN для розвитку надійних навігаційних систем безпілотних літальних апаратів.*

*Ключові слова:* GAN, GPS, IMU, покращення даних.

PETRENKO DMYTRO, KRYVENCHUK YURII

Lviv Polytechnic National University

## PROSPECTS OF APPLYING GAN NETWORKS FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF DATA FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE SENSORS

*This article investigates the application of generative adversarial networks (GANs) to enhance the precision and dependability of sensor data from unmanned aerial vehicles (UAVs), with a particular focus on data from inertial measurement units (IMUs) and Global Positioning Systems (GPS). The study demonstrates how GANs can be employed to increase the discretization of data and rectify anomalies within GPS data streams, thereby substantially improving the performance and accuracy of UAV navigation systems. It delves into the operational mechanics of GANs, exploring their capacity to generate high-quality, synthesized data that mimic authentic sensor readings closely. Additionally, the article examines the potential challenges and limitations associated with deploying GANs in this context, such as the need for extensive training datasets required for effective model training and deployment. Furthermore, the article discusses the implications of using GANs for real-time data correction and enhancement, highlighting the potential for these technologies to revolutionize UAV navigation by providing more reliable and accurate sensor data. By analyzing the benefits and addressing the complexities associated with integrating GANs into UAV systems, the article underscores the necessity for continued research and development in this area. The significance of further explorations into GAN applications for UAV navigation cannot be overstated. As the demand for UAVs continues to grow across various sectors, including agriculture, surveillance, and logistics, the need for advanced navigation systems that ensure operational safety and efficiency becomes increasingly critical. This article posits that GANs offer a promising solution to these challenges, paving the way for the development of next-generation UAV navigation systems that can operate with unprecedented accuracy and reliability.*

*Keywords:* GAN, GPS, IMU, data enhancement.

### Постановка проблеми

У сучасному світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) знаходять все більше застосувань у найрізноманітніших сферах діяльності - від аграрного сектора до міського моніторингу та військових операцій. Життєво важливим аспектом ефективної роботи БПЛА є надійність і точність даних, що надходять з їхніх давачів. Серед таких давачів важливе місце займають інерційні вимірювальні блоки (IMU) та системи глобального позиціонування (GPS), які забезпечують критично важливу інформацію для навігації та управління польотами. Однак, даним системам властиві певні обмеження та помилки.

По-перше, дані з IMU можуть бути обмежені за дискретизацією, що впливає на точність вимірювань та ефективність їх використання для контролю польотної динаміки. Збільшення дискретизації даних без заміни апаратного забезпечення є важливим завданням, яке може бути вирішене за допомогою застосування алгоритмів машинного навчання, зокрема генеративно-конкурентних мереж (GAN).

По-друге, хоча GPS надає важливі можливості для точного позиціонування, він також схильний до різноманітних помилок та втрат сигналу, особливо у складних умовах, таких як міська забудова або лісисті місцевості. Похибки GPS можуть істотно вплинути на безпеку та ефективність використання БЛА, роблячи критично важливим завданням відслідковування та корекцію цих похибок.

У цьому контексті, застосування GAN мереж пропонується як інноваційний підхід до покращення надійності даних з давачів БПЛА. Зокрема, GAN можуть використовуватись для генерації високо дискретизованих даних з IMU, що може покращити точність навігаційних систем без необхідності заміни або модернізації існуючого апаратного забезпечення. Крім того, GAN мережі можуть знаходити застосування для відслідковування та корекції помилок GPS, аналізуючи дані IMU та інші доступні джерела інформації для генерації точніших позиційних даних.

Цей підхід має потенціал не лише зменшити вплив похибок на безпеку та ефективність польотів БПЛА, але й відкрити нові можливості для розширення їх застосування в різноманітних умовах. Водночас, існує ряд викликів та обмежень, пов'язаних з впровадженням GAN у цій області, які вимагають детального

розгляду, зокрема, питання точності генерованих даних, вимоги до обчислювальних ресурсів та потенційні проблеми зі стабільністю навчання мереж.

### Аналіз останніх джерел

Останні дослідження у сфері генеративно-конкурентних мереж відкрили нові перспективи їх застосування, виходячи за рамки традиційних областей, таких як зображення та відео. Аналіз сучасної наукової літератури вказує на значний потенціал GAN у доповненні та покращенні якості даних, а також у їх нестандартному використанні в різноманітних доменах.

Доповнення даних. Одним із ключових напрямків дослідження GAN є їх здатність до доповнення неповних або низькоякісних даних, що має велике значення для підвищення якості аналізу великих даних та машинного навчання. Через можливість генерації відсутніх даних, що зберігають внутрішню структуру оригінального датасету, GAN відіграють роль вирішального інструменту у забезпеченні більшої повноти та надійності інформації для дослідницьких цілей. Приміром, у медичній діагностиці GAN використовуються для генерації синтетичних зображень, що дозволяє покращити тренувальні датасети без порушення приватності пацієнтів.

Дослідження [1] вивчає застосування генеративно-конкурентних мереж для генерації реалістичних дермоскопічних зображень в меті розширення навчальних датасетів для класифікації уражень шкіри. Раннє виявлення раку шкіри є критично важливим, але обмежені розміри тренувальних датасетів часто ускладнюють використання глибокого навчання для цієї мети. Додавання синтезованих зображень до навчального набору даних забезпечило значне покращення продуктивності згорткової нейронної мережі порівняно з традиційними методами збільшення даних. Результати підкреслюють потенціал GAN у подоланні викликів обмежених даних у медичному зображенні, відкриваючи нові можливості для ефективнішого раннього виявлення раку шкіри.

Також в статті [2] розглядається застосування GAN для створення синтетичних медичних зображень для розширення датасетів, щоб покращити класифікацію медичних зображень за допомогою CNN. На датасеті з 182 КТ зображень уражень печінки було показано, що використання синтетичних даних для розширення датасету збільшує чутливість з 78.6% до 85.7% та специфічність з 88.4% до 92.4%. Результати вказують на великий потенціал синтетичного розширення датасетів у покращенні медичної діагностики, особливо у класифікації КТ зображень печінки.

Нестандартне використання GAN. Більш інноваційним є застосування GAN для задач, що виходять за межі їх первісного призначення. Зокрема, з'являються дослідження, де GAN використовуються для вирішення задач оптимізації, планування та навіть для створення нових дизайнів у архітектурі та мистецтві. Ці підходи відкривають двері для творчих та непередбачуваних застосувань GAN, демонструючи їх гнучкість та потенціал для генерації нових ідей та концепцій.

У статті [3] досліджується використання генеративно-конкурентних мереж для поліпшення семантичної сегментації в екстракції будівель з аерофотограм високої роздільної здатності. Використання GAN, у поєднанні з моделлю SegNet та BConvLSTM, дозволило відфільтрувати дані від перешкод, таких як дерева та автомобілі, тим самим збільшуючи надійність отриманих результатів. Завдяки адверсаріальному навчанню, система досягла середнього результату 96.81%, значно перевищуючи інші передові методи. Цей підхід демонструє, як GAN може ефективно підвищити точність та надійність екстракції будівель для застосувань у міському плануванні та катастрофічному управлінні.

У статтях [4] [5] розглядається проблема оцінювання та порівняння генеративних конкурентних мереж та їхніх варіантів, що набули значної уваги в останні роки. Автор аналізує понад 24 кількісні та 5 якісних мір для оцінки генеративних моделей, з особливим акцентом на моделях, похідних від GAN. Незважаючи на теоретичний прогрес, визначення універсальних метрик для оцінювання та порівняння GAN залишається складним завданням через відсутність консенсусу щодо найбільш відповідних мірок.

Стаття [6] розглядає використання змішаних генеративно-конкурентних мереж (mixed-GANs) для генерації додаткових даних про витoki в трубопроводах, враховуючи недостатність існуючих даних для тренування точних моделей. Автори вводять багатотипові GAN з унікальними механізмами оновлення параметрів та використовують алгоритм оптимізації роєм частинок для покращення продуктивності генерації. Це дозволяє забезпечити більш надійні та різноманітні дані для детекції витоків, що підтверджено експериментами.

Дослідження [7] вивчає використання GAN для генерації синтетичних даних інерційних вимірювальних блоків (IMU), щоб покращити дискретизацію даних і забезпечити плавніше управління безпілотними літальними апаратами. Використання GAN дозволяє значно підвищити точність і надійність управління БПЛА, забезпечуючи кращу стабільність польоту та маневреність. Результати дослідження підкреслюють потенціал GAN як інструменту для розширення і поліпшення дискретизації даних в авіаційній галузі, сприяючи безпечнішим і ефективнішим операціям БПЛА.

В статті [8] авторами пропонується використання генеративних адверсарних мереж для створення гібридного датасету акустичних сигналів дронів, щоб покращити процеси виявлення та ідентифікації дронів за допомогою алгоритмів глибокого навчання. Автори вивчають ефективність різних глибоких нейронних мереж у виявленні дронів і демонструють, що використання синтезованих даних GAN може значно покращити здатність виявляти нові та незнайомі моделі дронів. Результати підтверджують важливість

глибокого навчання та GAN у розробці ефективних систем для боротьби з потенційним зловмисним використанням дронів.

Виклики та обмеження. Попри значний потенціал, застосування GAN несе із собою ряд викликів. Однією з головних проблем є забезпечення достовірності синтетично генерованих даних. У контексті доповнення даних важливо забезпечити, щоб синтетичні дані не вносили помилкові або оманливі патерни, які можуть спотворити результати аналізу. Також важливим є питання етики та приватності при генерації даних, що можуть містити особисту інформацію.

У сукупності, аналіз сучасних джерел підкреслює значний інтерес та активність у дослідженнях GAN, вказуючи на їх великий потенціал для інноваційного використання у різних областях. Водночас, важливою залишається робота над вирішенням існуючих викликів, щоб максимально реалізувати цей потенціал у безпечний та етичний спосіб.

**Метою роботи є** огляд можливостей застосування GAN мереж для покращення надійності даних з сенсорів безпілотних літальних апаратів.

### Виклад основного матеріалу

Генеративно-конкурентні мережі пропонують інноваційний підхід до збільшення дискретизації даних з інерційних вимірювальних блоків. Цей процес включає використання двох мереж: генератора, який створює синтетичні дані, намагаючись імітувати реальні, та дискримінатора, що намагається відрізнити справжні дані від синтетичних. Через цю конкуренцію генератор вчиться створювати дані, які максимально наближені до реальних, дозволяючи збільшити дискретизацію даних IMU без втрати їх якості. Таким чином, можна значно покращити точність навігаційних систем, забезпечивши більшу деталізацію та надійність даних без необхідності заміни фізичного обладнання. Більш детальний огляд такого підходу описаний в статті [7].

Однак Аналогічний підхід може бути застосований для збільшення дискретизації даних GPS. Враховуючи, що GPS-дані можуть бути не надійними та містити аномалії у послідовностях, такі як несподівані стрибки координат, зсуви або затримки у надходженні сигналів, GAN можуть відігравати ключову роль у покращенні точності та надійності цих даних. GPS-сигнали можуть бути суттєво зміщені через множинні фактори, включаючи атмосферні затримки, мультипатове поширення, помилки у годинниках супутників, а також через перешкоди, створені будівлями та природними об'єктами. Такі аномалії можуть проявлятися у вигляді несподіваних стрибків координат, зсувів (рисунок 1) або затримок (рисунок 2) у надходженні сигналів, що робить надзвичайно важливим виявлення та корекцію цих відхилень для забезпечення точності та надійності GPS-даних.

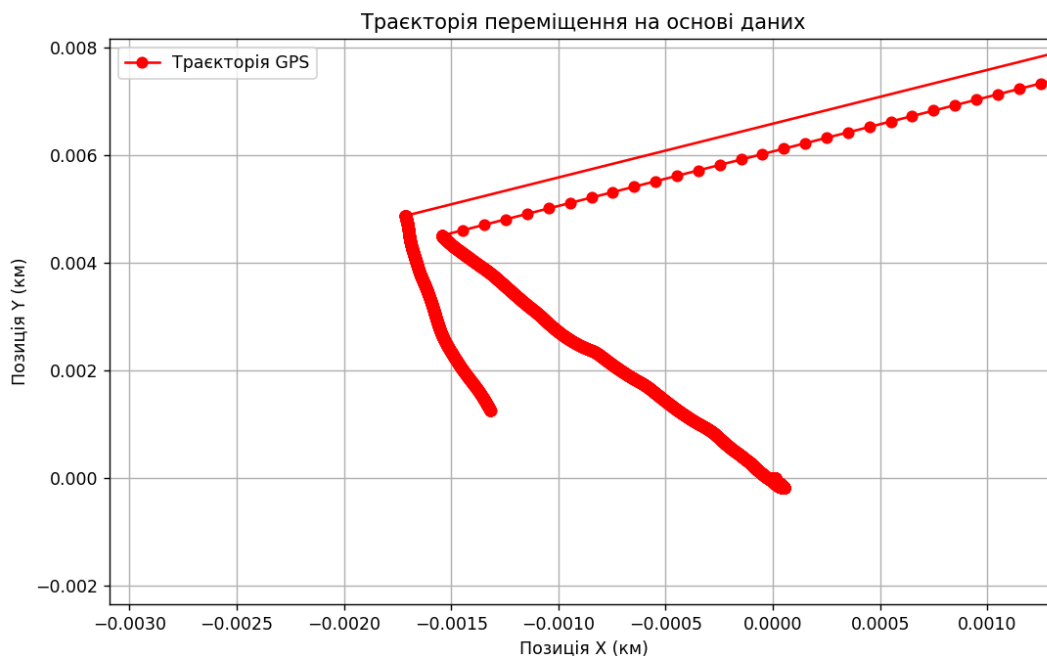


Рис. 1. Візуалізація зсуву даних GPS

Використання GAN для одночасного виявлення та корекції аномалій у GPS-даних відкриває передові методології для підвищення точності та надійності систем глобального позиціонування. Цей підхід використовує потужність машинного навчання для аналізу великих обсягів даних і ідентифікації відхилень від норми, що дозволяє не просто виявляти аномалії, але й автоматично генерувати вдосконалені дані для їх корекції.

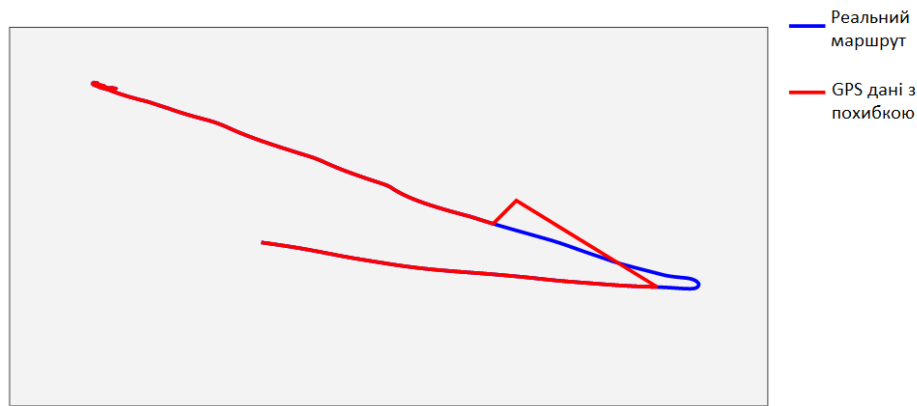


Рис. 2. Візуалізація затримки та зсуву даних GPS

Процес навчання GAN ініціюється з комплексного датасету, що містить як стандартні, так і аномальні GPS-послідовності. Важливо, щоб цей датасет був достатньо репрезентативним і включав широкий спектр потенційних проблем, з якими може зіткнутися GPS-система. Генеративна мережа навчається відтворювати нормальні послідовності даних, одночасно виявляючи аномалії та генеруючи відповідні корекції.

Коли система стикається з аномаліями, такими як несподівані стрибки координат або затримки у надходженні координат, вона активує процес генерації синтетичних даних. Ці синтетичні дані розроблені так, щоб логічно вписуватися в існуючу послідовність без порушення її загальної структури. Завдяки цьому, можливе відновлення плавності та неперервності в треках переміщення, що критично важливо для застосувань, де потрібна висока точність навігаційних даних.

Цей підхід має численні переваги. По-перше, він дозволяє зменшити вплив помилок на роботу GPS-залежних систем, забезпечуючи більш надійне та точне позиціонування. По-друге, автоматизація процесу виявлення та корекції аномалій зменшує необхідність вручну переглядати та коригувати великі обсяги даних, що підвищує ефективність обробки даних. Нарешті, генерація високо дискретизованих даних може покращити загальну якість навігаційних послуг, зокрема в критичних застосуваннях, таких як автономні транспортні засоби та дрони, де кожен метр або навіть сантиметр має значення.

Перспективи використання GAN для виявлення та корекції аномалій у GPS-даних відкривають нові шляхи для розвитку навігаційних систем. Інтеграція цих технологій може привести до створення більш розвинутих, автоматизованих, та надійних навігаційних рішень, здатних ефективно вирішувати виклики сучасного світу мобільності.

### Висновок

У даній статті було розглянуто інноваційний підхід до покращення надійності та точності даних з давачів, зокрема для безпілотних літальних апаратів, за допомогою генеративно-конкуренційних мереж. Було детально проаналізовано можливості застосування GAN для збільшення дискретизації даних з інерційних вимірювальних блоків та систем глобального позиціонування, а також для виявлення та корекції аномалій у GPS-даних.

Було розглянуто можливість того, що GAN можуть ефективно генерувати високо дискретизовані дані, які не тільки покращують якість існуючих даних, але й здатні виявляти та коригувати помилки та аномалії в даних GPS, значно підвищуючи надійність навігаційних систем. Це відкриває нові перспективи для розвитку та оптимізації навігаційних та моніторингових систем, особливо в умовах, де висока точність даних є критично важливою.

Втім, разом з можливостями, які відкриває застосування GAN, існують і певні виклики, такі як забезпечення достовірності синтетично генерованих даних, потреба у великих обсягах тренувальних даних та обчислювальних ресурсів. Також важливим залишається питання етичних аспектів використання синтетичних даних, особливо у сферах, де помилки можуть мати серйозні наслідки.

У підсумку, генеративно-конкуренційні мережі представляють собою потужний інструмент для покращення якості та надійності даних у широкому спектрі застосувань. Продовження досліджень у цій області обіцяє подальші прориви в автоматизації, оптимізації та безпеці систем, що залежать від точних і надійних даних для своєї ефективної роботи.

### References

1. H. Rashid, M. A. Tanveer та H. A. Khan, «Skin lesion classification using GAN based data augmentation,» в *41St annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC)*, 2019
  2. M. Frid-Adar, I. Diamant, E. Klang, M. Amitai, J. Goldberger та H. Greenspan, «GAN-based synthetic medical image augmentation for increased CNN performance in liver lesion classification,» *Neurocomputing*, pp. 321-331, 2018
- A. Abdollahi, B. Pradhan, S. Gite та A. Alamri, «Building footprint extraction from high resolution aerial

---

images using generative adversarial network (GAN) architecture,» *IEEE Access*, т. 8, pp. 209517-209527, 2020

3. Borji, «Pros and cons of gan evaluation measures,» *Computer vision and image understanding*, т. 179, pp. 41-65, 2019

4. Borji, «Pros and cons of GAN evaluation measures: New developments,» *Computer vision and image understanding*, т. 215, p. 103329, 2022

5. H. Zhang, X. Hu, D. Ma, R. Wang та X. Xie, «Insufficient data generative model for pipeline network leak detection using generative adversarial networks,» *IEEE Transactions on Cybernetics*, т. 52, № 7, pp. 7107-7120, 2020

6. D. Petrenko, Y. Kryvenchuk та V. Yakovyna, «Enhancing Data Discretization for Smoother Drone Input Using GAN-Based IMU Data Augmentation,» *Drones*, т. 7, № 7, pp. 463-473, 2023

7. S. Al-Emadi, A. Al-Ali та A. Al-Ali, «Audio-based drone detection and identification using deep learning techniques with dataset enhancement through generative adversarial networks,» *Sensors*, т. 21, № 15, p. 4953, 2021