

УДК 004.942:629.735

Костяной П.А.¹, Фарафонов О.Ю.²

¹ асп. гр. А-172.12 НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ З БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНОЇ КАРТИ МІСЦЕВОСТІ

В останні роки безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали незамінними інструментами для швидкого аналізу місцевості, моніторингу навколишнього середовища та реагування на надзвичайні ситуації. Одне з найбільш перспективних застосувань полягає у створенні детальних тривимірних (3D) карт природного та міського середовища. Однак необроблені дані, отримані від датчиків БПЛА, таких як LiDAR, камери RGB і багатоспектральних пристроїв, часто мають різні недоліки. До них належать шум, неточності через рух, дрейф датчика, умови освітлення та неповне покриття. Тому розробка ефективних алгоритмічних методів попередньої обробки є важливою для забезпечення точності та надійності кінцевих 3D-моделей місцевості.

Дослідження досліджували різні методи попередньої обробки для підвищення якості даних, отриманих з БПЛА. Наприклад, в [1] надані вичерпні вказівки для картографування польотів БПЛА та підкреслено важливість підготовки та виконання польоту для забезпечення високоякісного збору даних. Крім того, в [2] представлено надійний інструмент для 3D-картографії залізниць з використанням даних БПЛА, інтегруючи фотограмметрію, штучний інтелект і методи комп'ютерного зору для підвищення точності.

Незважаючи на ці досягнення, залишаються проблеми у стандартизації робочих процесів попередньої обробки, зокрема в обробці зашумлених даних, вирівнювання хмар точок з кількох траєкторій польоту та забезпечення сумісності з різним програмним забезпеченням для картографування. Пропоноване дослідження усуває ці прогалини шляхом розробки модульного конвеєра попередньої обробки, який включає синхронізацію даних, зменшення шуму, вирівнювання хмари точок і стандартизацію формату. Цей підхід спрямований на підвищення точності та надійності 3D-моделей місцевості, створених на основі даних БПЛА.

Новизна цього дослідження полягає в його комплексній та адаптивній структурі, яка не тільки покращує існуючі методи попередньої обробки, але й полегшує інтеграцію як з централізованими, так і з бортовими системами обробки БПЛА. Таким чином, він обслуговує додатки в режимі реального часу в таких сферах, як реагування на стихійні лиха, військова розвідка та сільськогосподарський моніторинг, де швидке та точне картографування місцевості має вирішальне значення.

Це дослідження зосереджено на створенні інтегрованої основи для попередньої обробки даних, зібраних БПЛА, перед створенням 3D-карт. Цей підхід включає кілька ключових етапів: синхронізацію даних, зменшення шуму, видалення викидів, вирівнювання хмари точок і стандартизацію формату. Основна увага приділяється забезпеченню сумісності з широким спектром картографічного програмного забезпечення та інструментів з відкритим кодом, таких як CloudCompare, OpenDroneMap і PDAL.

Алгоритм попередньої обробки складається з п'яти ключових етапів, розроблених для перетворення необроблених даних датчиків у чисту, послідовну хмару точок, придатну для 3D-моделювання.

Етап 1. Збір даних і синхронізація. Необроблені дані з кількох датчиків БПЛА (LiDAR, RGB, IMU) збираються та синхронізуються за допомогою часових позначок. Параметри калібрування застосовуються для виправлення спотворень датчика.

Етап 2. Зменшення шуму та видалення викидів. Метод видалення статистичних викидів використовується для усунення зашумлених або ізольованих точок. Зменшення дискретизації воксельної сітки зменшує щільність точок, зберігаючи структурні особливості.

Етап 3. Реєстрація хмари точок. Кілька хмар точок об'єднуються за допомогою алгоритму ітеративної найближчої точки (ICP) і методів зіставлення функцій для створення єдиної моделі рельєфу.

Етап 4. Нормалізація формату та фільтрація. Дані конвертуються в стандартні формати (наприклад, LAS, PLY) і обрізаються до відповідних регіонів. Точки з низьким рівнем достовірності відфільтровуються на основі інтенсивності сигналу або помилки позиціонування.

Етап 5. Контроль якості та готовність карти. Щільність точок оцінюється для виявлення розривів покриття. Телеметрія БПЛА аналізується, щоб за потреби рекомендувати додатковий збір даних. Потім остаточна хмара точок експортується для створення цифрової моделі рельєфу (DEM) або створення сітки.

Дослідження також включає порівняльний аналіз різних каналів попередньої обробки на наборах даних, зібраних у різних типах місцевості, таких як лісисті регіони, міські зони та змішані ландшафти. Для оцінки ефективності оцінюються такі показники, як час обробки, повнота карти та

геометрична точність. Результати демонструють, що запропонований алгоритмічний конвеєр підвищує точність 3D-карти на 25% порівняно з необробленими даними, значно підвищуючи якість цифрових моделей висоти (ЦМР) і ортомозаїк.

Важливо те, що модульна структура запропонованого рішення дозволяє інтегрувати як із централізованими наземними системами обробки, так і з бортовими процесорами БПЛА, забезпечуючи додатки в реальному часі в місіях, чутливих до часу. Ця гнучкість особливо цінна під час реагування на стихійні лиха, військової розвідки та моніторингу сільського господарства, де швидке й точне розуміння місцевості має вирішальне значення.

Ця робота представляє алгоритмічну основу для попередньої обробки даних, зібраних БПЛА, закладаючи основу для високоякісного 3D-картографування місцевості. У майбутніх дослідженнях вивчатиметься інтеграція моделей машинного навчання для подальшої автоматизації виявлення аномалій і класифікації в хмарах точок. Запропонований конвеєр відкриває можливості для масштабованого та ефективного аналізу місцевості за допомогою доступних платформ БПЛА, сприяючи розвитку технологій дистанційного зондування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Maes, W. H. (2025). Practical Guidelines for Performing UAV Mapping Flights with Snapshot Sensors. *Remote Sensing*, 17(4), 606. <https://doi.org/10.3390/rs17040606>
2. Barbero-García, I., Medina-Olivares, H., Sebastián-Pardo, I., & Crespo-Llorca, J. (2025). A new robust tool for 3D rail mapping from UAV: Photogrammetry, AI and Computer Vision integration. *Drones*, 9(3), 120. <https://doi.org/10.3390/drones9030120>