

ВИКОРИСТАННЯ SLAM-АЛГОРИТМІВ СМАРТФОНІВ ДЛЯ КАРТОГРАФУВАННЯ БУДІВЕЛЬ

СЕМЕНЮК Максим Олегович

*студент 3-го курсу
спеціальності «Геодезія та землеустрій»*

ШАПРАН Юрій Ігорович

*студент 3-го курсу
спеціальності «Геодезія та землеустрій»*

Науковий керівник

БУЛАКЕВИЧ Сергій Васильович

*викладач,
ВСП «Рівненський фаховий коледж
Національного університету
біоресурсів і природокористування України»,
м. Рівне, Україна,
s.geotechnology@gmail.com*

Сучасні виклики, пов'язані з необхідністю швидкої фіксації руйнувань об'єктів цивільної та критичної інфраструктури, вимагають впровадження мобільних та економічно ефективних методів дистанційного зондування. Традиційні методи наземного лазерного сканування (TLS), попри їхню високу точність, часто є надто громіздкими та тривалими в умовах, де час на обстеження обмежений ризиками обвалів або логістичними труднощами. Інтеграція сенсорів LiDAR у масові мобільні пристрої (смартфони та планшети) відкриває нові можливості для оперативного збору 3D-даних силами лінійних інженерів без спеціальної підготовки.

Дистанційне керування LiDAR не є новим винаходом. У 1962 році Массачусетський технологічний інститут використав його для вимірювання відстані між Землею та Місяцем. Відтоді ця технологія також зарекомендувала себе на смартфонах та планшетах Apple (iPad Pro, iPhone 12 Pro, 13 Pro та 14 Pro). Інтегрований LiDAR складається з масиву лазера з вертикальним резонатором, що випромінює поверхню (VCSEL), та CMOS-датчика зображення (CIS) ближнього інфрачервоного (NIR) діапазону з прямим вимірюванням часу прольоту (dToF) та масиву однофотонних лавинних діодів (SPAD) [1].

У дослідженні протестований смартфон iPhone 14 Pro. Технічні параметри моделі iPhone 14 Pro передбачають вагу 206 г, товщину 7,85 мм та наявність 6,1-дюймового дисплея Super Retina XDR, інтегрованого з функціональними рішеннями Always-On і Dynamic Island. Він працює на базі чіпа A16 Bionic із 6-ядерним процесором, 5-ядерним графічним процесором, 16-ядерним нейронним двигуном, 6 ГБ оперативної пам'яті та 256 ГБ вбудованої пам'яті.

Система камер iPhone 14 Pro складається з трьох модулів та сканера LiDAR (ToF). Основна камера оснащена 48-мегапіксельним сенсором з технологією quad-pixel та діафрагмою $\{f/1.78\}$, що забезпечує значно вищу деталізацію зображень. Вона доповнена двома 12-мегапіксельними модулями: телеоб'єктивом із 3-кратним оптичним зумом (діафрагма $\{f/2.8\}$) та надширококутною камерою з кутом огляду 120° (діафрагма $\{f/2.2\}$).

Apple не пропонує спеціалізованого додатку для 3D-сканування, користувачі можуть отримати доступ до датчиків на iOS 14 та пізніших версіях через ARKit для створення додатків для 3D-картографування. Додатки для 3D-сканування – 3DScanner, PolyCam, Scaniverse, SiteScape тощо.

Пристрій генерує матрицю інфрачервоних точок (дифракційну решітку), що дозволяє миттєво отримувати інформацію про глибину сцени. Сенсор працює на частотах до 30-60 Гц, що забезпечує безперервний потік даних навіть при швидкому переміщенні оператора. Ефективна дистанція роботи обмежена енергоспоживанням та становить від 0.5 до 5 метрів, що визначає сферу застосування: інтер'єрні обстеження та деталізація окремих конструктивних вузлів. Сама по собі хмара точок з лідара є «сирою». Для того, щоб перетворити її на цілісну 3D-модель, система використовує алгоритм VI-SLAM (Visual-Inertial Simultaneous Localization and Mapping), який об'єднує дані з трьох джерел:

LiDAR надає точну геометричну відстань до поверхонь; камера (Visual Odometry) аналізує візуальні ознаки (кути, текстури стін) для відстеження зміщення пристрою в просторі; інерціальна система (IMU) гіроскоп та акселерометр фіксують кути нахилу та прискорення смартфона. Процес обробки даних на смартфоні зазвичай відбувається у два етапи: Online-обробка, передбачає попередню візуалізацію хмари точок у реальному часі на екрані пристрою для контролю повноти покриття об'єкта; Global Optimization (Loop Closure) – етап автоматично виправляє накопичену похибку (дрейф) після завершення сканування, розпізнаючи місця, де оператор проходив двічі, та «замикаючи» траєкторію для підвищення точності.

Метою дослідження було вивчення можливості лідара iPhone 14 Pro як недорогої альтернативи датчику для 3D-документування зовнішнього середовища, з акцентом на якість датчика та згенерованої хмари точок. Для дослідження було проведено сканування будівлі стороннього землекористування на території ВСП «РФК НУБіП України» у розміром 6 на 6 метрів. Сканування проходило у двох частинах за допомогою програми Pix4D Catch, створюючи цикл для кожної частини. Процес сканування повторюється кілька разів, і оптимальний результат був досягнутий, коли телефон тримали паралельно стінам і рухали вгору та вниз, повільно ковзаючи в один бік на кожному кроці. Увага приділяється підтримці відстані між сканованою поверхнею та камерою, гарантуючи, що вона не перевищує 5 м, як рекомендовано програмами. Час сканування займав від 20 до 25 хвилин. Після збору даних, вся обробка даних проводилася за допомогою програмного забезпечення з відкритим кодом для обробки хмар точок CloudCompare.

У ході експериментальних порівнянь було встановлено, що мобільне LiDAR-сканування демонструє стабільні результати в межах коротких дистанцій (до 5 метрів). Середньоквадратичне відхилення (RMSE) склало 1.5-2.5 см для лінійних обмірів приміщень площею до 50 м². При збільшенні площі сканування без замикання траєкторії (loop closure) похибка зростає через накопичення «дрейфу» гіроскопа. Технологія дозволяє чітко ідентифікувати тріщини шириною від 5 мм та деформації конструкцій (прогини, нахили стін), що є достатнім для первинної інспекції. Використання смартфона дозволяє скоротити час польових робіт у 5-8 разів порівняно з методом ручного обміру (рис.1).



Рисунок 1 – Результати мобільного LiDAR-сканування iPhone 14 Pro за допомогою додатку Pix4D Catch

Мобільні телефони з LiDAR-сенсорами є ефективним інструментом для «швидких обстежень» (Rapid Mapping). Сферами його застосування можуть стати: попередня фіксація обсягів руйнувань; швидке створення планів приміщень для гуманітарних потреб, документування пошкоджень у важкодоступних місцях, де неможливо встановити штатив зі сканером. Важливо, що для підвищення точності слід завжди замикати маршрут сканування в початковій точці, уникати сканування дзеркальних та скляних поверхонь, які дезорієнтують лазер та поєднувати дані LiDAR з якісною фотофіксацією (Photogrammetry-assisted LiDAR) для кращої текстури моделей. Основне обмеження це те, що смартфон не може замінити професійний MLS/TLS у задачах, що потребують міліметрової точності або сканування об'єктів на відстані понад 5 метрів (наприклад, фасади висотних будівель або мостові прогони).

Список використаних джерел:

1. Askar, C.; Sternberg, H. Use of Smartphone Lidar Technology for Low-Cost 3D Building Documentation with iPhone 13 Pro: A Comparative Analysis of Mobile Scanning Applications. *Geomatics* 2023. № 3 563-579. <https://doi.org/10.3390/geomatics3040030>



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ**

**ЗБІРНИК ТЕЗ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

«GEOPOINT»

5-6 березня 2026 року

**PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE**

«GEOPOINT»

March 5-6, 2026

УДК 332.2/.7:528.4/.9"364"(082)

ISBN 978-617-8798-98-7

«GEOPPOINT»: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 5-6 березня 2026 року: матеріали конференції. Київ: НУБіП України. 2026. 332 с.

Рекомендовано Вченою радою факультету землевпорядкування Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 5 від 19 березня 2026 року)

У збірнику матеріалів конференції подано результати сучасних наукових досліджень за секціями: землеустрій та кадастр в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення, оцінка земель, врахування збитків та управління ризиками, геопросторові технології та ДЗЗ. Розраховано для науково-педагогічних працівників, представників науково-дослідних установ, науковців, спеціалістів установ та фахівців землевпорядного напрямку, аспірантів, студентів.

У разі повного або часткового використання матеріалів збірника посилання обов'язкове. Автори матеріалів несуть повну відповідальність за точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей, відповідаючи принципам академічної доброчесності.

Відповідальні за випуск: І. А. Опенько, О. Д. Грищак