

КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

УДК 528.71/72

В. М. ГЛОТОВ¹, Х. І. МАРУСАЖ²

¹ Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел. +38 (032)258-26-16, ел. пошта: Volodymyr.M. Hlotov@lpnu.ua

² Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (098)7668431, ел. пошта: Khrystyna.I. Marusazh@lpnu.ua

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.90.041>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ХМАРИ ТОЧОК МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Виконано експеримент, який полягав у дослідженні хмар точок, а саме їх щільності, інтервалу між точками, змін інтенсивності залежно від зміни відстані та кольору поверхні об'єкта сканування. Для досліджень використано наземний лазерний сканер Faro Focus 3D S120. Як спеціальну тестову марку обрано шліфовану скляну платівку розміром 30 см × 30 см, яку двічі покрито аерозолем з білою матовою фарбою з відбивною здатністю близько 80 % з однієї сторони марки та чорною матовою фарбою з відбивною здатністю близько 20 % з іншої сторони марки. Для виконання експериментальних робіт тестову марку встановлювали на підставку штатива за допомогою втулки, яка кріпиться до марки. Марку розташовували білою стороною на відстані 0,6 м від наземного лазерного сканера та виконували сканування. Потім марку обертали чорною стороною та повторювали сканування. Виміри повторювали на відстанях 1,5 м, 3 м, 5 м, 10 м. Загалом отримано 10 сканів. Значення інтенсивності експортовано з хмари точок за допомогою стандартного програмного забезпечення Faro SCENE. Для оцінення результатів дослідження проаналізовано графіки розподілу хмар точок в площинах YX та YZ верхніх лівих та центральних фрагментів білої та чорної сторін марок, інтенсивності відбитого лазерного випромінювання та стандартне відхилення значень інтенсивності. Подано та проаналізовано вплив якісно-кількісних характеристик об'єкта сканування на точність побудови хмар точок наземним лазерним сканером Faro Focus 3D S120.

Ключові слова: наземний лазерний сканер, хмара точок, відбиття, інтенсивність.

Вступ

Наземне лазерне сканування – один із найефективніших методів забезпечення високоточних і щільних точкових хмар, які застосовують для вимірювання об'єктів земної поверхні, моніторингу деформацій, побудови тривимірних просторових моделей та вирішення інших прикладних задач [Shan, & Toth, 2018].

Ця активна методика дистанційного зондування дає змогу здійснювати безпосереднє, швидке, безконтактне і точне вимірювання об'єктів та дає змогу одразу отримувати інформацію про досліджуваний об'єкт у вигляді хмари точок, що підвищує точність вимірювань [Soudarissanane, 2016].

Принцип роботи лазерних сканерів, пов'язаний із вимірюванням не окремої точки, а хмари точок, істотно ускладнює процедуру калібрування. За принципом функціонування моделі сканерів відрізняються, тому досі не

існує єдиного підходу до моделей та методик калібрування лазерних сканерів. Найвідомішими є роботи D. D. Lichti, Ю. Решетюка та T. Schultz, в яких виконано узагальнення цих моделей.

Калібрування сканерів є неможливим без використання спеціального високоточного устаткування. Відомості про внутрішню зміну сигналу системи часто невідомі, а застосування підходів, що ґрунтуються на моделях калібрування, є непрактичними [Tan, et al., 2018]. З іншого боку, процедури калібрування потребують трудомісткого отримання окремих опорних наборів даних з однорідними характеристиками відображення. Для дослідження впливу похибок наземного лазерного сканування розглянемо та проаналізуємо їх джерела.

Похибки НЛС умовно поділяють на чотири групи: [Staiger, 2005]. Інструментальні похибки є і систематичними, і випадковими та залежать від конструкції сканера. Оскільки наземний лазерний сканер складається з двох

блоків, відповідно похибки поділяють на похибки кутомірного та віддалемірного блоків.

Основним джерелом похибок, спричинених властивостями об'єкта сканування, є відбивна здатність поверхні об'єкта, оскільки сканер працює в режимі "без відбивача". Відбивну здатність об'єкта можна визначити як відношення потужності відбитого та падаючого сигналу лазерного випромінювання [Reshetyuk, 2009]. Це функція таких чинників: властивості матеріалу об'єкта: електропровідність, електричної та магнітної проникності, кольору об'єкта, довжини хвилі лазерного променя, кута падіння, шорсткості поверхні, яка пов'язана з довжиною хвилі і кутом падіння лазерного променя, температури та вологості об'єкта. Очевидно, темні об'єкти (чорного кольору) поглинають більшу частину падаючого лазерного випромінювання, тому точність вимірювань знижуватиметься шумом. Яскраві об'єкти з високим коефіцієнтом відбиття дають змогу отримати точніші вимірювання відстані й, отже, надійніші результати [Jaafar, et al., 2018].

Вплив довкілля пов'язаний з такими екологічними чинниками, як температура довкілля, тиск, відносна вологість, освітлення, вібрації тощо.

Похибки прив'язки хмари точок до певної системи координат виникають за неправильного вибору параметрів сканування, визначення координат точок розташування сканера і контрольних марок (сфер), а також під час камерального опрацювання даних сканування.

Хоча більшість виробників надають технічну інформацію про ефективність роботи своїх лазерних сканерів, рекомендовано виконувати експерименти для перевірки якості даних [Pesci, et al., 2011].

Розглянемо детальніше дослідження похибок наземного лазерного сканування.

Аналіз сучасного стану, технічних можливостей методу наземного лазерного сканування та методик калібрування наземного лазерного сканера розглянуто в праці [Shults, & Sossa, 2015]. Описано концепцію системного калібрування наземних лазерних сканерів та основну математичну модель, яку використовують під час калібрування. Наведено приклад вирішення однієї з методичних задач, що

виникають під час їх калібрування, а саме визначення моделі похибок сканера. Автори зазначають, що отримані СКП відповідають точності, заявленій виробником лазерного сканера. Проте інформації про досліджуваний сканер не подано.

У публікації [Jaafar et al., 2018] наведено результати кількісного аналізу впливу похибок наземного лазерного сканера з метою моніторингу. Автори провели експериментальні дослідження лазерних сканерів Leica Scanstation P20 і P40 в лабораторних умовах з метою мінімізації впливу похибок за атмосферні умови. Відповідно, щоб зменшити похибки, пов'язані з об'єктом сканування, рекомендовано обирати плоску поверхню білого кольору. Як зазначають автори, середня похибка менша, ніж опублікована виробником точність координат точок, з іншого боку, максимальна похибка набагато більша, ніж очікували, і досягає 5 см.

Варто зазначити, що очевидним недоліком дослідження є невідповідність між хмарами точок. Формулювання однозначних висновків ускладнені відсутністю можливістю порівняння результатів для різних відстаней.

У роботах [Schulz & Ingensand, 2004; Ingensand, 2006] використано лазерний сканер Zoller + Fröhlich Imager 5003 3D. Дослідники виявили, що найбільший вплив на точність має кут падіння і колір поверхні. Окрім того, встановлено, що рівень шуму збільшувався прямо пропорційно до збільшення діапазону сканування. Зазначимо, що автори розробили метод зменшення рівня шумів опрацюванням даних у полярній системі координат сканера.

Дослідження точності наземних лазерних систем сканування запропоновано у роботі [Mechelke, et al., 2007]. Порівняно точність декількох наземних лазерних сканерів: Trimble GX, Mensi GS100 / 200, Leica ScanStation, Z + F IMAGER 5006 і Faro LS880 HE. Подано результати тестування, які демонструють систематичний зсув до + 6 мм для хмари точок, отриманої імпульсними сканерами. Тестування вимірювань відстані порівняно з еталонними відстанями показали, що результати здебільшого відповідали характеристикам, наданим виробниками. Впливом кута падіння на точність можна знехтувати для імпульсних

сканерів, оскільки фазові сканери показують значні відхилення, якщо кут падіння менший ніж 45° . На точність також не впливає діаметр лазерного променя відносно кута падіння, як зазначають автори. Виявлено значний вплив деяких кольорів об'єктів на точність визначення відстані для сканерів Faro і Trimble. Результати дослідження демонструють вплив інструментальних похибок, які можна зменшити калібруванням приладів.

У дослідженнях [Tan, et al., 2015; Sun, et al., 2017; Tan, et al., 2018] наведено результати експериментальних робіт, що демонструють залежність потужності отриманого сигналу лазерного випромінювання від відстані сканування. Для тестування відібрано вісім тестових марок з різними матеріалами та характеристиками поверхні та наземний лазерний сканер Faro Focus3D 120. Оскільки врахувати вплив відстані, кута падіння та характеристик поверхні окремо неможливо, запропоновано використати значення інтенсивності для кількісного моделювання похибок. Істотною перевагою цього способу є те, що попередньої інформації про характер відбиття відсканованої марки, геометрію сканування та механізм інструменту не потрібно. Результати свідчать, що точність вимірювання відстані можна значно поліпшити після встановлення функції між похибками інтенсивності та відстані, що має велике значення для якості, надійності та подальшого опрацювання даних НЛС. Також автори вважають, що похибки вимірювання відстані більші ніж 5 мм зумовлені дзеркальними відбиттями.

Як свідчить аналіз останніх досліджень, зокрема [Soudarissanane, et al., 2011] для компенсації похибок вимірювання відстані потрібно враховувати лише конфігурацію та властивості поверхні сканування, оскільки атмосферні умови біля поверхні Землі є порівняно стабільними, а прилади, як правило, не змінюються протягом однієї кампанії спостережень. Вплив відстані та кута падіння на точність вимірювання відстані детально вивчено, водночас похибки вимірювання відстані, спричинені властивостями поверхні, досліджують порівняно недавно. Вимірювання у режимі "без відбивача" збільшує можливість впливу похибок вимірювання відстані через ослаблення

імпульсу повернутого сигналу лазерного випромінювання відбивними поверхнями. Похибки вимірювання відстані, спричинені властивостями шорстких і тьмяних поверхонь, зазвичай становлять кілька міліметрів. Однак ці похибки можуть істотно зрости до сантиметрових і навіть дециметрових значень для об'єктів з відносно гладкою або глянцевою поверхнею (наприклад, вода, свіжий лід, метал), де дзеркальні відбиття домінують над дифузними [Voegtler, & Wakaluk, 2009].

Проаналізувавши вищезгадані роботи, можна запропонувати рекомендації для кожної з груп джерел похибок НЛС. Для зменшення впливу інструментальних похибок рекомендовано використання приладу з низькою дивергенцією променя та високою точністю кутових вимірювань, розташування сканера якомога ближче до об'єктів сканування, застосування апаратних фільтрів та компенсатора.

Для мінімізації похибок, що спричинені властивостями об'єкта сканування, рекомендовано обирати сканер з меншою довжиною хвилі, уникати сканування дзеркальних поверхонь і сканування з високим кутом падіння лазерного променя та видаляти помилкові точки за допомогою ручного редагування.

Похибки за вплив довкілля можна зменшити встановленням сканера на стабільній поверхні, контролем температури сканера та об'єкта сканування, температури довкілля, атмосферного тиску та вологості, а також обираючи сканери з оптичними фільтрами.

Уникнути похибок, що пов'язані з методикою сканування, рекомендовано завдяки встановленню кроку сканування, що близький до 86 % від величини діаметру лазерного променя та максимального кута падіння, що не перевищує 65° , а також застосовуючи метод реєстрації сканів за допомогою координат контрольних марок (сфер).

Як свідчить аналіз літературних джерел, особливу увагу під час дослідження наземних лазерних сканерів надають вивченню питання впливу відстані сканування на спотворення відбитого лазерного випромінювання.

Meta

Як відомо, окрім 3D-координат, системи НЛС одночасно вимірюють потужність зворот-

ного розсіювання лазерного випромінювання кожної відсканованої точки та записують його як значення інтенсивності. Інтенсивність зазвичай використовують як атрибут для реалістичної візуалізації хмар точок. Однак цю величину все частіше застосовують для вирішення складніших завдань, таких як ідентифікація та класифікація даних.

На значення інтенсивності впливають: системні параметри сканера, довкілля, кут падіння, відстань між лазерним сканером та об'єктом. Внаслідок складного рельєфу поверхні, фізико-хімічних властивостей, кольору та форми об'єктів сканування відбувається спотворення відбитого лазерного випромінювання, що призводить до похибок вимірювання.

Вплив усіх цих змінних не завжди детально відомий користувачеві, оскільки деталі щодо внутрішньої зміни сигналу системи НЛС часто невідомі, а застосування підходів, що ґрунтуються на моделях калібрування, недоцільне. З іншого боку, процедури калібрування потребують ретельного отримання польових даних на спеціальних полігонах. Тому, мета роботи полягає в дослідженні впливу якісно-кількісних характеристик об'єкта сканування на точність побудови хмар точок наземним лазерним сканером залежно від відстані сканування.

Методика

Згідно з поставленими завданнями реалізовано експеримент, який полягав у дослідженні хмар точок, а саме їх щільності, інтервалу між точками, змін інтенсивності залежно від зміни відстані та кольору об'єкта сканування.

Наземне лазерне сканування виконували в лабораторних умовах зі стабільними параметрами довкілля. Кут падіння під час сканування був близький до нуля, тому його вплив не досліджено в роботі.

Для досліджень використано наземний лазерний сканер Faro Focus 3D S120 (LLS061101314) з довжиною хвилі 905 нм, який надає значення координат точок та інтенсивність лазерного випромінювання, яку записано в 11 бітах [0-2048] [FARO Laser Scanner Focus 3D Manual, 2013] (табл. 1).

Таблиця 1

Технічні характеристики Faro Focus 3D S120

Вимірювання	
“Прямий інтервал”:	153.49 m
Діапазон:	0,6 м – 120 м всередині/ поза приміщенням із розсіяним світлом і 90 % відбивальними поверхнями
Швидкість вимірювання:	122,000 / 244,000 / 488,000 / 976,000 points/sec
Системна похибка:	±2 мм на 10 м і 25 м, кожна за 90 % і 10 % відбиття
Системні шуми:	
10 м	– “сирі” дані: 0,6 мм – 90 % відб., 1.2 мм – 10 % відб. – фільтр шумів: 0.3 мм – 90 % відб., 0.6 мм – 10 % відб.
25 м	– “сирі” дані: 0.95 мм – 90 % відб., 2.2 мм – 10 % відб. – фільтр шумів: 0.5 мм – 90 % відб., 1.1 мм – 10 % відб.
Оптика	
Вертикальне/Горизонтальне поле зору:	300°/360°
Вертикальний/Горизонтальний крок:	0.009° (40,960 3D пікселів на 360°)
Макс. верт. швидкість сканування:	5,820 об./м або 97 Гц
Лазер (Оптичний трансмітер)	
Потужність лазера:	20 мВ (Клас лазера 3R)
Довжина хвилі:	905 нм
Розбіжність променя:	типове 0.19 мрад (0,011°)
Діаметр променя на виході:	3,8 мм у діаметрі

Щоб виконати експериментальні роботи, створено спеціальну тестову марку (рис. 1).

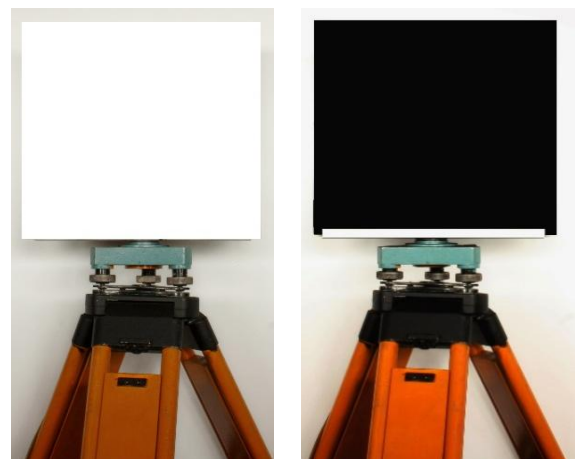


Рис. 1. Тестова марка

Для створення тестової марки обрано шліфовану скляну платівку розміром 30 см × 30 см, яку двічі покрито аерозолем з білою матовою фарбою з відбивною здатністю близько 80 % з однієї сторони марки та чорною матовою фарбою з відбивною здатністю близько 20 % з іншої сторони марки. Товщина покриття в такому разі не перевищує 2–3 мкм і не впливатиме на точність вимірювань.

Для виконання експериментальних робіт тестову марку встановлювали на підставку штатива за допомогою втулки, яка кріпиться до марки. Марку розташовували білою стороною на відстані 0,6 м від наземного лазерного сканера та виконували сканування. Потім марку обертали чорною стороною та повторювали сканування. Вимірювання повторювали на відстанях 1,5 м, 3 м, 5 м, 10 м (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри наземного лазерного сканування

Відстань, м	Крок, °	Крок, мм
0,6	0,009	0,1
1,5	0,009	0,3
3	0,009	0,6
5	0,009	0,8
10	0,009	1,5

Всього отримано 10 сканувань. Значення інтенсивності експортовано з хмари точок за допомогою стандартного програмного забезпечення Faro SCENE.

Результати

Для оцінювання результатів дослідження проаналізовано розподіл хмар точок у площинах YX та YZ верхніх лівих та центральних фрагментів (15x15 точок) білої та чорної сторін марок. Середні квадратичні похибки (СКП) координат Y і Z представлено в табл. 3.

Графіки розподілу центральних фрагментів хмар точок у площинах YX та YZ для білої та чорної сторін марок наведемо на рис. 2–7.

Аналізуючи результати експериментальних робіт, зробимо висновок, що за відстані між об'єктом сканування та сканером 0,6 м очевидною є неоднорідність щільності хмар точок і крок сканування не відповідає запланованому. Ситуація покращується зі збільшенням відстані, хоча, для фрагментів хмар точок тестової марки

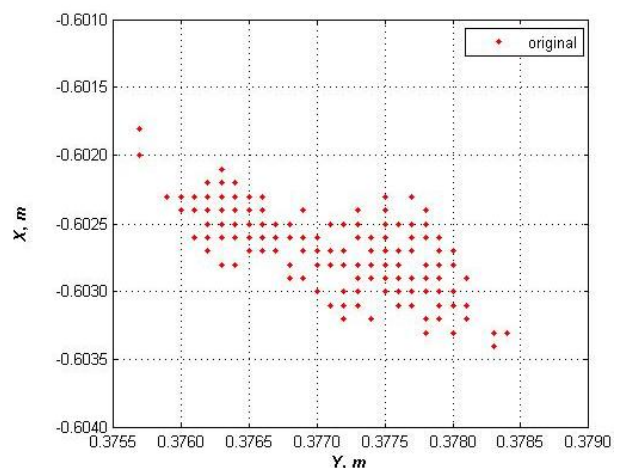
за відстані 10 м все ж спостерігається незначне зменшення горизонтального кроку сканування відносно запланованого.

Таблиця 3

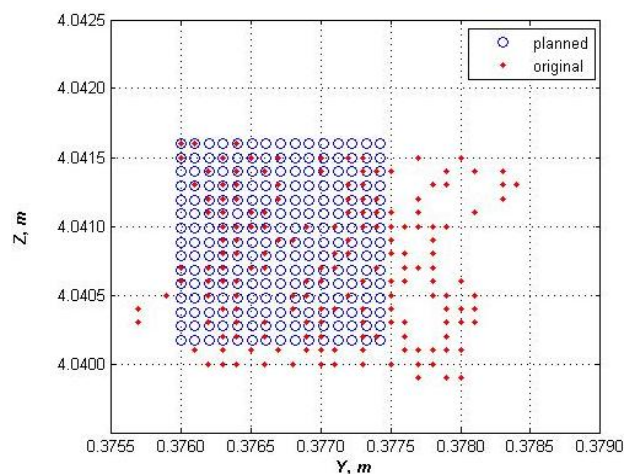
СКП координат Y та Z

Відстань	0,6, м		1,5, м		3, м	
	m_Y , мм	m_Z , мм	m_Y , мм	m_Z , мм	m_Y , мм	m_Z , мм
Білий	0,4	0,1	0,5	0,2	1,0	0,1
Чорний	0,7	0,1	0,7	0,2	1,7	0,1

Відстань	5, м		10, м	
	m_Y , мм	m_Z , мм	m_Y , мм	m_Z , мм
Білий	1.9	0.1	4.1	0.2
Чорний	2.1	0.2	4.9	0.6

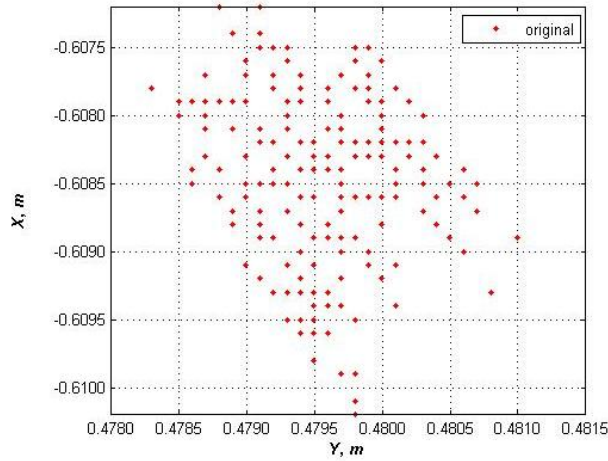


а

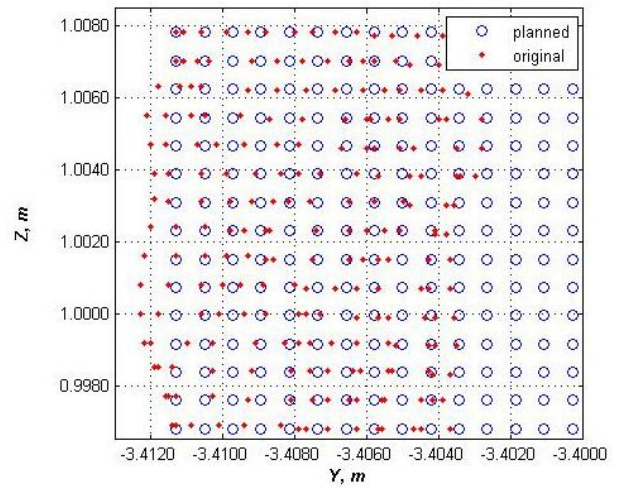


б

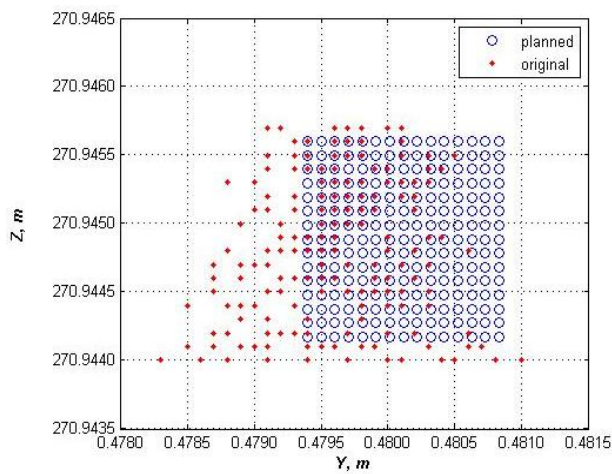
Рис. 2. Розподіл центрального фрагмента хмари точок білої сторони марки в площинах YX (а) та YZ (б) для відстані сканування 0,6 м



а

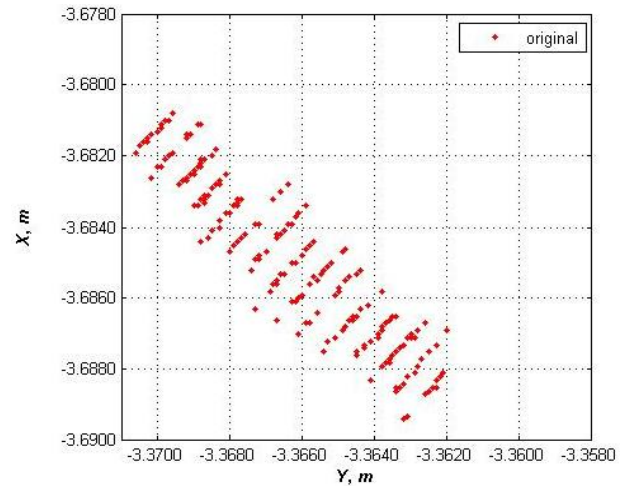


б

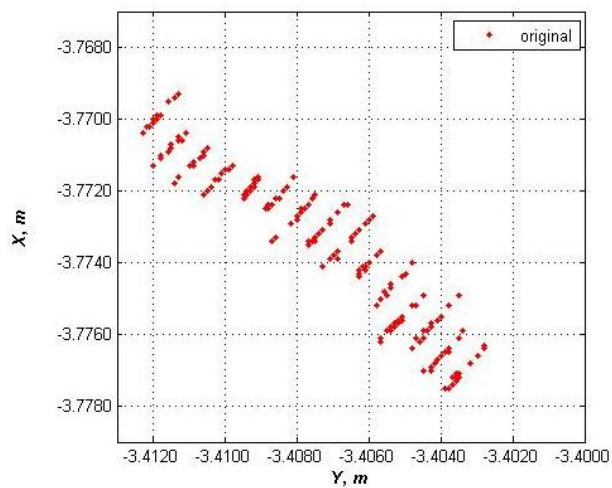


б

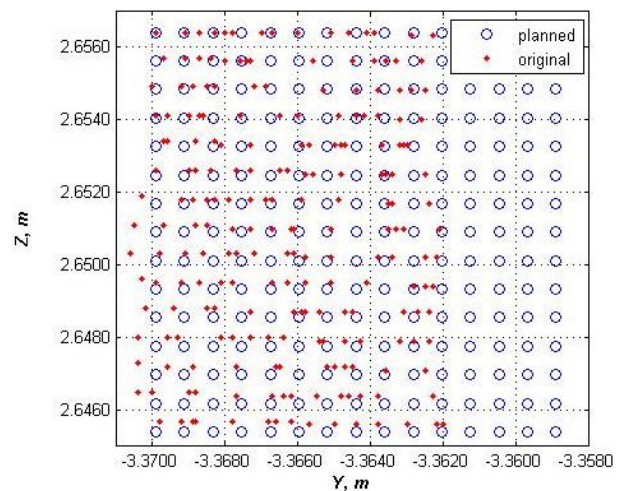
Рис. 3. Розподіл центрального фрагмента хмари точок чорної сторони марки в площинах YX (а) та YZ (б) для відстані сканування 0,6 м



а



а



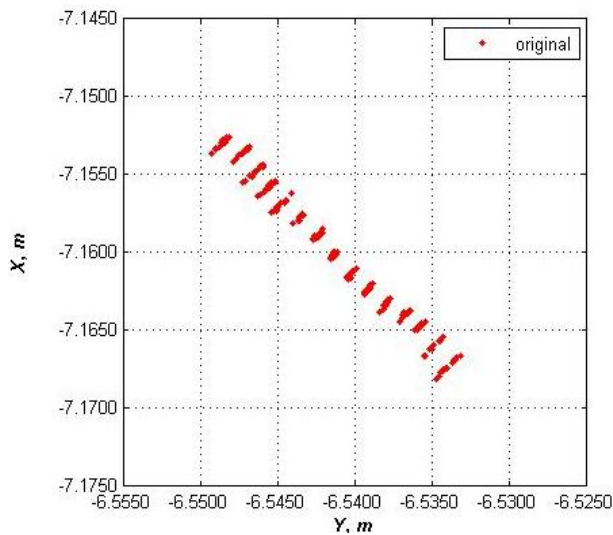
б

Рис. 4. Розподіл центрального фрагмента хмари точок білої сторони марки в площинах YX (а) та YZ (б) для відстані сканування 5 м

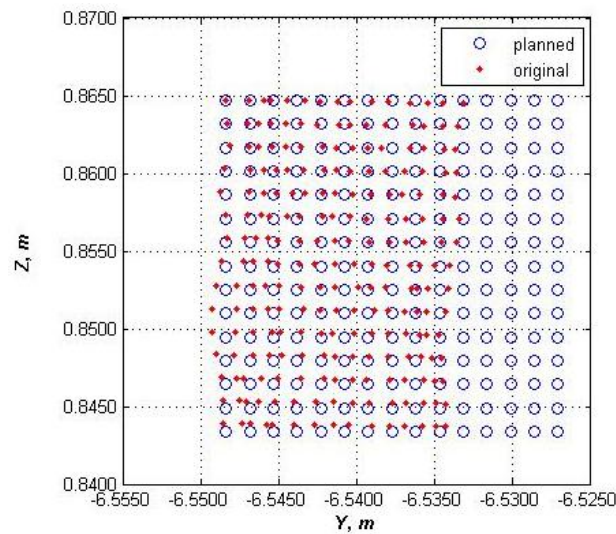
Рис. 5. (продовження). Розподіл центрального фрагмента хмари точок білої сторони марки в площинах YX (а) та YZ (б) для відстані сканування 5 м

Щодо значень інтенсивності, то найбільша потужність лазерного випромінювання спостерігається для відстані 0,6 м та 5 м (рис. 8). На рис. 9 наведено розподіл стандартного відхилення інтенсивності зі зміною відстані.

Як бачимо з рисунка, значення стандартного відхилення найбільші для відстані 3 м. Також, очевидно, що значення для білої поверхні марки значно менші. Це свідчить про однорідність значень інтенсивності лазерного випромінювання для білої поверхні марки.

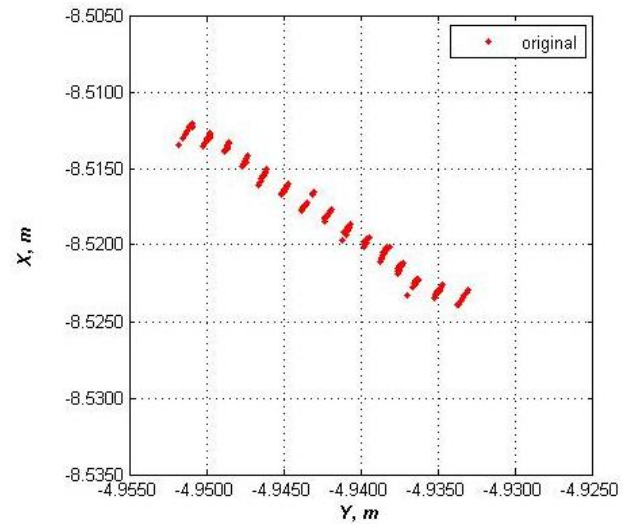


а

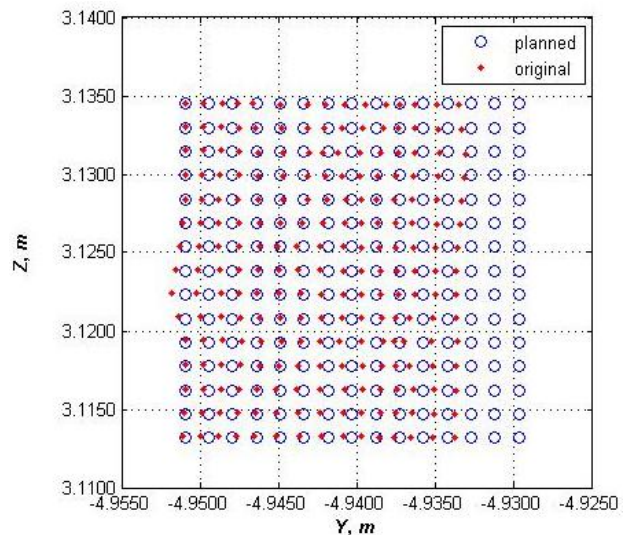


б

Рис. 7. Розподіл центрального фрагмента хмари точок білої сторони марки в площинах YX (а) та YZ (б) для відстані сканування 10 м



а



б

Рис. 8. Розподіл центрального фрагмента хмари точок чорної сторони марки в площинах YX (а) та YZ (б) для відстані сканування 10 м

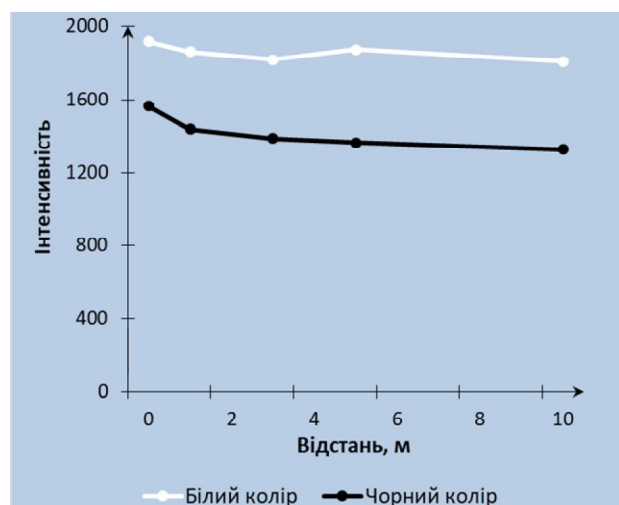


Рис. 8. Залежність значень інтенсивності від зміни відстані до об'єкта

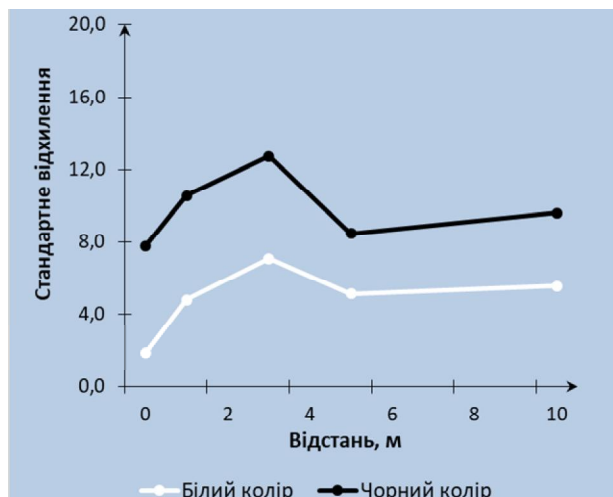


Рис. 9. Розподіл стандартного відхилення інтенсивності зі зміною відстані до об'єкта

Наукова новизна та практична значущість

Наведено та проаналізовано вплив якісно-кількісних характеристик об'єкта сканування на точність побудови хмар точок наземним лазерним сканером Faro Focus 3D S120. Дослідження дасть змогу оптимізувати вибір параметрів наземного лазерного сканування залежно від властивостей об'єкта та відстані сканування.

Публікацію фінансує Польське національне агентство з питань академічного обміну за програмою Міжнародних академічних партнерств з проекту "Організація 9 Міжнародної науково-технічної конференції "Інженерія довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку".

Висновки

1. За результатами експериментальних робіт очевидно є неоднорідність щільності хмар точок для відстані сканування 0,6 м.

2. Найбільші значення інтенсивності лазерного випромінювання зафіксовано для відстані сканування 0,6 м та 5 м.

3. Середнє значення стандартного відхилення інтенсивності лазерного випромінювання для білої поверхні марки становить 4,9, а чорної – 9,8. Це свідчить про те, що однорідність значень інтенсивності лазерного випромінювання вища для білої поверхні марки.

4. У діапазоні, що досліджувався, максимальну точність можна отримати для відстані сканування 5 м.

5. Надалі заплановано виконати аналогічні дослідження в польових умовах та збільшити діапазон сканування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Шульц Р. В., Сосса Б. Р. Системне калібрування наземних лазерних сканерів: моделі та методики. Вісник геодезії та картографії, 2015. Вип. 2. С. 25-30.
- FARO Laser Scanner Focus 3D Manual, 2013. URL: <https://faro.app.box.com/s/>.
- Ingensand, H. (2006). Metrological aspects in terrestrial laser-scanning technology. In *Proceedings of the 3rd IAG/12th FIG symposium, Baden, Austria* (Vol. 2224).
- Jaafar, H. A., Meng, X., & Sowter, A. (2018). Terrestrial laser scanner error quantification for the purpose of monitoring. *Survey Review*, 50(360), 232-248.
- Mechelke, K., Kersten, T. P., & Lindstaedt, M. (2007). Comparative investigations into the accuracy behaviour of the new generation of terrestrial laser scanning systems. *Proc. in the Optical*, 3, 19-327.
- Pesci, A., Teza, G., & Bonali, E. (2011). Terrestrial laser scanner resolution: Numerical simulations and experiments on spatial sampling optimization. *Remote Sensing*, 3(1), 167-184.
- Reshetyuk, Y. (2009). *Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning* (Doctoral dissertation, KTH).
- Schulz, T., & Ingensand, H. (2004). Influencing variables, precision and accuracy of terrestrial laser scanners. In *Proceedings of INGENO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia*.
- Shan, J., & Toth, C. K. (2018). *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press.
- Soudarissanane, S. S. (2016). The geometry of terrestrial laser scanning; identification of errors, modeling and mitigation of scanning geometry.
- Soudarissanane, S., Lindenbergh, R., Menenti, M., & Teunissen, P. (2011). Scanning geometry: Influencing factor on the quality of terrestrial laser scanning points. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 66(4), 389-399.
- Staiger, R. (2005). The geometrical quality of terrestrial laser scanner (TLS). In *Proceedings of FIG Working Week* (pp. 1-11).
- Sun, X., Liu, Y., Yu, X., Wu, H., & Zhang, N. (2017). Three-dimensional measurement for specular reflection surface based on reflection component separation and priority region filling theory. *Sensors*, 17(1), 215.

- Tan, K., Cheng, X., Ding, X., & Zhang, Q. (2015). Intensity data correction for the distance effect in terrestrial laser scanners. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(1), 304-312.
- Tan, K., Zhang, W., Shen, F., & Cheng, X. (2018). Investigation of TLS intensity data and distance measurement errors from target specular reflections. *Remote Sensing*, 10(7), 1077.
- Voegtle, T., & Wakaluk, S. (2009). Effects on the measurements of the terrestrial laser scanner HDS 6000 (Leica) caused by different object materials. *Proceedings of ISPRS Work*, 38(2009), 68-74.

V. HLOTOV¹, KH. MARUSAZH²

¹ Department of Photogrammetry and Geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. 38 (032) 258-26-16, e-mail: Volodymyr.M. Hlotov@lpnu.ua

² Department of Photogrammetry and Geoinformatics Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine, tel. 38 (098) 766-84-31, e-mail: Khrystyna.I. Marusazh@lpnu.ua

ACCURACY INVESTIGATION OF POINT CLOUDS WITH FARO FOCUS 3D S120 TERRESTRIAL LASER SCANNER

Aim. Terrestrial laser scanning is a powerful method for collecting spatial data. This method of remote sensing allows fast, non-contact and precise measurement of objects. Terrestrial laser scanning systems deliver 3D coordinates and the power of the backscattered laser scan signal of each point which registered it as an intensity value. Intensity values are affected by the characteristic of the measured object and the parameters of the environment. The backscattered electromagnetic signal is influenced in its strength by the reflectivity of the scanned object surface, the incidence angle, the distance between laser scanner and object and the atmospheric respectively system specific setting of the TLS-measurement. Since details about system internal alteration of the signal are often unknown to the user, model driven approaches are impractical. On the other hand, existing data driven calibration procedures require laborious acquisition of separate reference datasets or areas of homogenous reflection characteristics from the field data. Therefore, the impact of qualitative and quantitative characteristics of the scanning object for accuracy investigation of point clouds with the Faro Focus 3D S120 terrestrial laser scanner is the aim of work. **Methods.** According to the tasks, an experiment was performed, which was to investigation the point clouds: density, interval between points, and intensity changes with distance and color of the scanning object. Faro Focus 3D S120 terrestrial laser scanner was used for the research. As a special test target was chosen a polished glass plate with size 30 cm × 30 cm, which was twice covered with an aerosol with white matte paint with a reflectivity of about 80 % on one side of the target and black matte paint with a reflectivity of about 20 % on the other side of the target. To perform the experimental work, the test target was mounted on a tripod using a sleeve that attaches to the target. The target was placed on the white side at a distance of 0.6 m from the terrestrial laser scanner and was scanned. Then the target was turned to the black side and the scanning was repeated. The measurements were repeated at distances of 1.5 m, 3 m, 5 m and 10m. Our test data covers 10 terrestrial scans. The intensity values were exported from the point clouds using Faro SCENE software. **Results.** The results of the experimental work were considered for the fragments of point clouds of black and white sides of the test target (the size of the fragment is 15x15 points). The distribution of point clouds in the YX and YZ planes of the upper left and center fragments of the white and black sides of the targets, the intensity of the reflected signal and the standard deviation of the intensity values were analyzed. **Scientific novelty.** The influence of the qualitative and quantitative characteristics of the scanning object on the accuracy of point clouds construction with the Faro Focus 3D S120 laser scanner is presented and analyzed. **Practical significance.** The study will optimize the choice of terrestrial laser scanning settings based on the properties of the object and the scanning distance.

Key words: terrestrial laser scanner, point cloud, reflection, intensity.

Надійшла 30.10.2019 р.