

УДК: 624.1: 332.54

К.А. Мамонов, К.І. Вяткін, С.Г. Нестеренко

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків

СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Метою статті є визначення принципів та методів мобільного лазерного сканування для транспортної галузі. Розглянута можливість та способи застосування мобільних лазерних сканерів для проведення та обробки знімальних робіт. Визначені переваги мобільних лазерних сканерів в дорожній галузі. Проаналізовані програми та інструменти, що застосовуються для автоматизованої обробки результатів лазерного сканування.

Ключові слова: мобільні лазерні сканери, автоматизовані системи обробки результатів сканування, хмари точок, знімальні роботи.

Вступ

Мобільний лазерне сканування з'явилося більше 10 років тому і з тих пір зробило величезний технологічний прорив від експериментальних установок до сучасних геодезичних приладів. В Україні мобільне лазерне сканування з'явилося в 2000 роках і більше всього застосовується для виконання вимірювань лінійно-протяжних об'єктів, в першу чергу — автомобільних доріг, зйомки маршрутів міст та населених пунктів, залізничних шляхів [1].

Результатом сканування є дуже докладний та щільний набір (хмара) трьохвимірних точок поверхні, кількість яких може досягати сотні і тисячі на 1 м² знімальної поверхні. Приклад представлений на рис. 1. Мобільне лазерне сканування здійснюється, як правило, з візкових пристроїв або транспортних засобів зі швидкостями від 3 до 90 км/год в залежності від необхідної щільності хмари точок та детальності запланованого сканування. Головною причиною вибору саме мобільного лазерного сканування для вишукувань та складання проектної документації є виконання польових вимірювань з дуже високою та достатньою швидкістю і детальністю.

В першу чергу випробування мобільних лазерних сканерів проводилось на автомобільних дорогах міського та міжміського типів. Випробування несли за собою зіставний характер. В результаті перших випробувань були отримані неперевершені результати та продемонстровано готовність даної технології для геодезичних вишукувань, в тому числі таких відповідальних, як для проектів з ремонтів та реконструкцій ділянок і окремих об'єктів..

Мета та завдання статті

Метою статті є визначення принципів та методів мобільного лазерного сканування для транспортної галузі.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

- вивчити загальні процеси, які дозволяють з хмар точок лазерного сканування отримувати повноцінні моделі автомобільних та залізничних доріг;
- проаналізувати придатність результатів мобільного лазерного сканування для їх безпосередньої обробки у системах автоматизованого програмування та ГІС;
- розглянути можливість вирішення практичних задач проєктування та управління дорогами;
- розглянути порядок обробки та використання даних лазерного сканування в дорожній галузі.

Виклад основного матеріалу дослідження

Принцип роботи мобільних лазерних пристроїв сканування достатньо простий і зрозумілий. Високошвидкісний мобільний лазерний далекомір або його дзеркало встановлюється на поворотній основі. Така поворотна основа представляє собою головку для лазера. За один оберт головки далекомір може робити від сотні до тисячі вимірювань, що дає можливість детально оцінити профіль оточуючого простору в одній двохвимірній площині (рис. 2). При використанні лазерної головки, встановленої на рухомій базі з поступальним рухом під кутом до площини сканування, далекомір з кожним обігом головки буде знімати нову площину.



Рис. 1. Результати сканування у вигляді хмари точок

В результаті буде отримано безліч поперечних сканованих площин вздовж напрямку руху (рис. 3). Для обчислення координат окремих отриманих точок лазерного сканування необхідно знати точне положення і орієнтацію лазерної головки в просторі в момент фіксування кожного виміру. Для цього використовуються інерційні навігаційні системи (ІНС), суміщені з GPS/ГЛОНАСС - приймачем геодезичного класу.

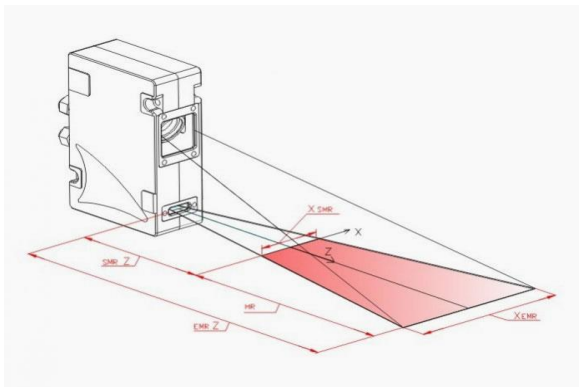


Рис. 2. Схема роботи мобільного лазерного скануючого пристрою

Області застосування лазерного сканування.

Лазерне сканування має дуже широку область застосування [2]:

- топографічна зйомка лінійних об'єктів (автодороги, залізниці, мости, тунелі);
- створення 3D моделей об'єктів;
- створення поздовжніх і поперечних профілів автодороги;
- поздовжні і поперечні ухили проїжджої частини;
- цифрова модель рельєфу і цифрова модель дорожнього покриття;
- створення паспорта автодороги;
- оцінка колійності та визначення поздовжньої рівності покриття;
- оцінка зон видимості;
- створення відомостей дорожніх знаків, дорожніх огорожень, інформаційних і рекламних щитів і т.д. з додатком фотоматеріалів.

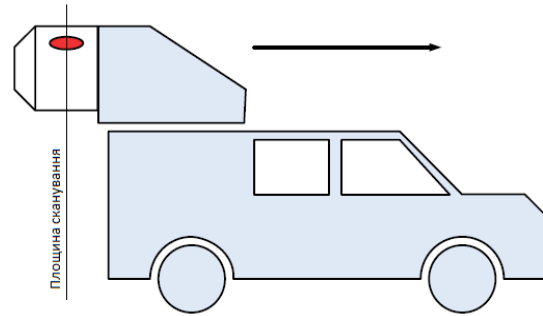


Рис. 3. Схема встановлення далекоміру на рухомій базі

В дорожній галузі лазерне сканування (рис. 4) ефективно застосовується у трьох широких областях: інженерно-геодезичні вишукування при проектуванні і виконавчої зйомки; для паспортизації, інвентаризації існуючої інфраструктури; для створення ГІС та геопросторових баз дорожніх даних. При проектуванні та проведенні виконавчої зйомки необхідна максимальна точність, особливо за висотою. Це досягається головним чином плануванням проведення вимірювань і застосуванням декількох базових станцій в районі робіт; по-друге, введенням опорних точок для вирівнювання траєкторій. При виконанні паспортизації та інвентаризації необхідне максимальне охоплення, особливо придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Лазерне сканування в таких випадках ефективно поєднувати з панорамною відео зйомкою. Такого типу поєднання необхідне для камерального дешифрування об'єктів проектування. Висока точність для проведення даних робіт не потрібна, можливе виконання роботи без базових станцій з високою швидкістю руху.



Рис. 4. Виконання зйомки мобільним лазерним сканувальним пристроєм

Створення ГІС і геопросторових баз дорожніх даних вимагає проміжної точності, але при цьому високої деталізації і максимального охоплення, зокрема придорожньої смуги, об'єктів сервісу,

побутових приміщень та інженерного облаштування. Особливу увагу приділяється зйомці укосів насипів та контрбанкетів, оголовків труб, елементів мостових споруд та переїздів. Необхідним є використання базових станцій, а також планування траєкторій руху на складних ділянках для повного покриття навколишнього оточення та маршруту зйомки.

При зйомці для проектування ремонтних робіт та реконструкції найбільш складним і важливим є докладне моделювання деталізації поверхні автомобільної або залізничної дороги з високою точністю в профільному та плановому відношеннях [3]. Традиційне нівелювання дає високу точність, однак не дає докладної моделі проїжджої частини, враховуючи тільки колійність або полосність, невеликі просадки і однорідні малі дефекти — в силу того, що точок зйомки досить мало. Лазерне сканування вирішує такі обмеження. Для отримання детального і високоточного результату зйомка виконується ділянками по 10-15 км. В районі робіт виставляється не менше 2 базових станцій (рис. 5). Обов'язковим є планування роботи при очікуваній достатньо високій точності сеансу вимірювань. У випадку необхідності зйомки насипу попередньо проводиться покіс трави на укосах для досягнення високої точності вимірювань і визначення підшви укосу і його форми.

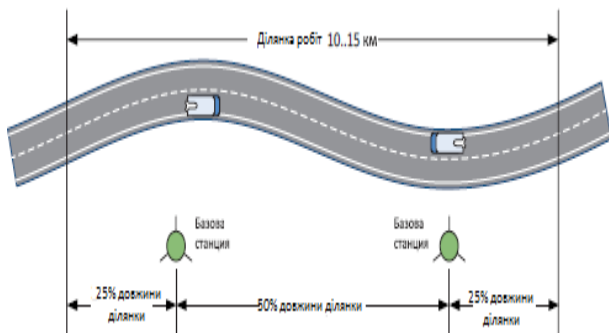


Рис. 5. Розміщення базових станцій в районі виконання сканувальних робіт

При зйомці для проведення ремонтів покриття або виправочних робіт на залізницях швидкість руху лабораторії обмежується до 20 км/год, для інших проектів — 30 км/год при зйомці [4]. Для підвищення абсолютної точності та посилення контролю за кожні 200 м на крайній смузі установлюються «опорні точки» з обох сторін дороги, вони маркуються світловідбиваючою фарбою, при цьому окремо виконується їх нівелювання. Після зйомки порівнюються траєкторії по базовим станціям за допомогою програмного забезпечення Novatel. Далі хмара точок накладається на опорні точки в IndorCAD або

AUTOCAD, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Після цього отримуємо остаточну хмару точок, яку використовуємо у потрібному програмному забезпеченні для розробки необхідної проектної документації. Перевага мобільного лазерного сканування перед традиційними зйомками - набагато більш детальна модель поверхні, яка відображає реальні ухили на всій поверхні шляху сканування з деталізацією дефектних місць та ін.

При зйомці для паспортизації розглядається особливий вид зйомки, який не вимагає дуже високої абсолютної точності, але вимагає охоплення всіх елементів дороги та придорожньої смуги. Матеріали такої зйомки можуть застосовуватися як власне для паспортизації, так і для інвентаризації майнового комплексу та для проектування організації дорожнього руху. В даному виді робіт проводиться зйомка ділянками, протяжність яких може досягати 100 км. Плануються роботи з достатньою точністю вимірювань для даного виду робіт. Швидкість руху мобільних лазерних пристроїв знаходиться в межах 60-80 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка. Для повного охоплення автомобільної або залізничної дороги виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики та об'єкти сервісу, обгонні колії, під'їзні шляхи. На автомобільних шляхах рух здійснюється по крайній правій смузі для того, щоб «тінь» від сусіднього транспорту не закривала огляд вправо і перекривалась зворотним проїздом. Після зйомки зіставляються траєкторії по опорним точкам та перехрестям за допомогою програмного забезпечення Novatel, AUTOCAD та ARCGIS. Далі хмари точок зіставляються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Після цього отримується остаточна хмара точок. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується, після чого будується спрощена модель автомобільної або залізничної дороги для формування паспортної документації.

При зйомці для ГІС і геопросторових баз даних роботи виконуються ділянками по 100 км. В районі робіт виставляється не менше 2 базових станцій. Швидкість руху знаходиться в межах 5-60 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка. Виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики, об'єкти сервісу, великі з'їзди. Рух здійснюється по одиночним маршрутам, з частковим заїздом на узбіччя у межах твердого покриття. Після зйомки зіставляються траєкторії по опорним точкам та перехрестям за допомогою програмного забезпечення Novatel, AUTOCAD та ARCGIS. Далі хмари точок зіставляються одна з одною у вигляді шарів, при

цьому нев'язкі розподіляються по траєкторії зйомки. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується для побудови моделі автомобільної дороги, маршрутних шляхів, залізничних шляхів і т.п.

Оцінка продуктивності. Продуктивність мобільного лазерного сканування при вишукуванні для паспортизації може досягати 300 км за день польових робіт однією лабораторією. Продуктивність при вишукуванні для ГІС — до 200 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення. Продуктивність при вишукуванні для проектування ремонтних робіт — до 50 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення.

Як видно, швидкість виконання польових робіт перевершує класичні методи в декілька разів, а при зйомці для проектування ремонтних робіт — на порядок. При обліку найвищої точності і детальності одержуваних даних можна робити чіткий висновок про доцільність широкомасштабного застосування мобільного лазерного сканування в дорожньому господарстві.

Обробка даних мобільного лазерного сканування. Як уже було сказано, в даний час мобільне лазерне сканування стає дуже популярною темою при замовленні проектно-вишукувальних робіт у дорожній галузі. З'являється велика кількість компаній, які освоїли технологію виконання мобільного лазерного сканування. У той же час виконання сканування та отримання хмари точок — це лише початок довгого шляху в проектуванні автомобільних та залізничних доріг.

Типовий порядок обробки даних. Розглянемо типовий порядок обробки даних мобільного лазерного сканування — від отримання вихідних даних до побудови моделі. Процес отримання хмари точок має досконалу технологію і досить добре опрацьований. Але для досягнення необхідної точності, особливо за висотою, необхідне якісне планово-висотне обґрунтування і поміщення хмар на контрольні точки. Процес обробки даних лазерного сканування практикується досить безсистемно і зазвичай зводиться до класифікації і розфарбування хмар точок. Цього явно виявляється замало для подальшої роботи інженерів в системах автоматичного програмування та ГІС. Для цього визначаються етапи, які потрібні для отримання практичних 3D-моделей, хоча деякі з них зазвичай не виконуються.

При виділенні модельних точок рельєфу розглядаються хмари точок лазерного сканування, які зазвичай містять десятки і сотні мільйонів точок, що належать до рельєфу. Дуже велика отримана кількість точок зовсім зайва, коли мова йде про побудову триангуляційної моделі рельєфу, що

застосовується як вихідний матеріал для проектування. Для того, щоб отримати таку модель рельєфу, з великої кількості вихідних точок, що належать до рельєфу, виокремлюють невелику кількість характерних модельних точок рельєфу. Модельними точками рельєфу називають такі точки хмари, які вносять найбільший внесок у форму рельєфу (рис. 6) і необхідні для становлення моделі рельєфу заданої точності. Зазвичай під «точністю» сформованого набору модельних точок розуміють максимально допустиме відхилення по висоті точок, що належать до рельєфу (вихідних точок хмари), від триангуляційної моделі, побудованої за модельним точкам.

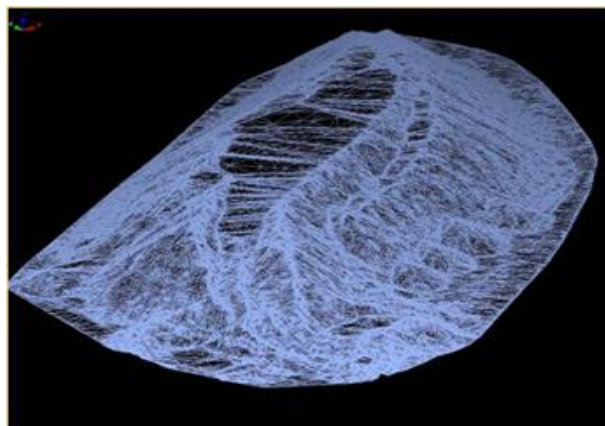


Рис. 6. Модельні точки рельєфу в загальній хмарі точок

Зазвичай число модельних точок для моделей рельєфу з заданою точністю 1 см буває на 2-3 порядки менше, ніж число вихідних точок, що належать до рельєфу (рис. 7). Модельні точки поверхні застосовуються для моделювання рельєфу поряд з автомобільною чи залізничною дорогою і задають цифрову модель рельєфу, придатну для застосування в будь-яких системах автоматичного програмування і ГІС, а також для швидкої тривимірної візуалізації [5].

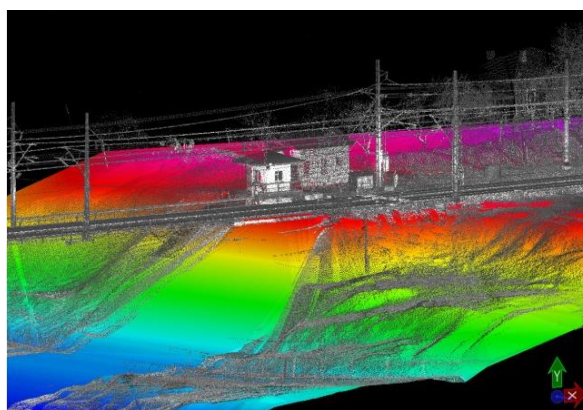


Рис. 7. Мобільні точки рельєфу в трьохмірному

вимірі

При оцифруванні структурних ліній дороги розглядають такі лінії, які задають базову просторову геометрію автомобільної або залізничної дороги. Такий процес є першим і найважливішим елементом, який необхідно визначати при створенні 3D-моделі дороги. Структурні лінії дороги включають в себе осьові лінії, кромки проїжджої частини, бровки, підшви, межі укосів виїмок, насипів, контр банкетів, берм і т.п. В даний час вже існує ряд алгоритмів і програмних продуктів, що дозволяють розпізнавати дані структурні лінії і будувати статистично згладжені просторові лінії за хмарою точок. Отримувані структурні лінії є найважливішим елементом моделі сканування дороги і використовуються напряму сучасними системами автоматичного програмування автомобільних і залізничних доріг. Слід зазначити, що автоматизоване розпізнавання структурних ліній дороги надійно працює тільки для нових доріг. У решти випадках точно розпізнати вісь дороги, напівзасипану кромку, зарослу травою бровку і ін. досить проблематично — в цьому випадку єдиним виходом є ручне оцифрування структурних ліній. Підмогою оператору тут може бути механізм локальної статистичної оцінки розподілу точок по висотах.

Таким чином, в результаті побудови структурних ліній дороги і моделі рельєфу придорожньої смуги на виході отримуються готові моделі для систем автоматичного програмування і ГІС автомобільних та залізничних доріг.

Моделювання об'єктів інженерного облаштування також являється важливим завданням при створенні моделей автомобільних та залізничних доріг. Поширені технології, реалізовані в багатьох програмних продуктах і є досить трудомісткими, так як не орієнтовані на специфічні об'єкти (стійки дорожніх знаків, огороження тощо). У той же час є в наявності досить ефективні спеціалізовані програмні продукти, що виконують дану задачу (хоч і не автоматично, але з високою швидкістю отримання моделей елементів інженерного облаштування автомобільних та залізничних доріг). При оцифруванні об'єктів інженерного облаштування оператор працює в 3D-виді. Хмара точок або розфарбовується в природні кольори, і оператор довільно «переміщається» у просторі, або використовуються панорамні знімки, на які «накладається» хмара точок. Перевага першого підходу полягає в тому, що є можливість наблизитися до об'єкта і подивитися на нього з потрібного ракурсу; перевага другого підходу - зображення не закрите надлишковим

числом точок і розпізнавання для складних, насичених ділянок виконується швидше.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Отже, у результаті дослідження визначені напрями розвитку мобільного лазерного сканування, охарактеризовані його характеристики та важливе значення у сфері автомобільного та залізничного будівництва і експлуатації.

Література

1. *Геоинформатика: учебник для студ. высш. учебн. заведений / Е.Г.Капралов, А.В.Кожкарев, В.С.Тикунув и др.; под ред. В.С.Тикунова. В 2 кн. Кн1. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 384 с.*
2. *Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник / В. Д. Шипулін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2010. - 313 с.*
3. *ArcGIS Marketplace – [Електронний ресурс] / Режим доступу - <https://marketplace.arcgis.com>*
4. *Офіційний сайт ArcGIS – [Електронний ресурс] / Режим доступу - <http://www.arcgis.com/home/>*
5. *Офіційний сайт LeicaGeosystem – [Електронний ресурс] / Режим доступу - <http://www.leica-geosystems.com>*
6. *Офіційний сайт Інститута «Гео» – [Електронний ресурс] / Режим доступу - <http://www.pgeo.ru>*

References

1. Kapralov, E. G., Koshkarev, A. V., Tikunov, V. S. (2008). Geoinformatics: Textbook for students. Executive instructional. Institutions. *Academia Publishing Center*. 384.
2. Shipulin, V. D. (2010). Basic principles of GIS: Training manual. *KSAME*. 313.
3. ArcGIS Marketplace. [Electronic Resource] .- URL: <https://marketplace.arcgis.com>.
4. Official Site ArcGIS. [Electronic Resource] .- URL: <http://www.arcgis.com/home/>.
5. Official Site LeicaGeosystem. [Electronic Resource] .- URL: <https://www.leica-geosystems.com/>.
6. Official Site Institute «Geo». [Electronic Resource] .- URL: [pgeo.ru](http://www.pgeo.ru).

Рецензент: доктор технічних наук, професор Метешкін Костянтин Олександрович, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем

Автор: ВЯТКІН Костянтин Ігорович асистент кафедри міського будівництва Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Автор: МАМОНОВ Костянтин Анатолійович Доктор економічних наук., професор, завідувач кафедри геоінформаційних систем, оцінки землі та нерухомого майна Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Автор: НЕСТЕРЕНКО Сергій Григорович асистент кафедри геоінформаційних систем, оцінки землі та нерухомого майна Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
E mail – nesterenko-sg@mail.ru

СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

К.А. Мамонов, К.И. Вяткин, С.Г. Нестеренко

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков

Целью статьи является определение принципов и методов мобильного лазерного сканирования для транспортной отрасли. Рассмотрена возможность и способы применения мобильных лазерных сканеров для проведения и обработки съемочных работ. Определены преимущества мобильных лазерных сканеров в дорожной отрасли. Проанализированы программы и инструменты, применяемые для автоматизированной обработки результатов лазерного сканирования.

Ключевые слова: *мобильные лазерные сканеры, автоматизированные системы обработки результатов сканирования, облака точек, съемочные работы.*

MOBILE SYSTEMS LASER SCANNING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

K. Mamonov, K. Vyatkin, S. Nesterenko

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

The aim of the article is to determine the principles and methods of mobile laser scanning for the transport industry. To achieve this goal the following objectives: to study the general processes that allow a point cloud of laser scanning to obtain full-fledged model of roads and railways; analyze the suitability of mobile laser scanning for their immediate processing results in automatic programming and GIS systems; consider the possibility of solving practical problems of design and road management; consider the procedure for the processing and use of laser scanning data in the road sector.

The possibility and methods of using the mobile laser scanners for surveying and processing. Certain advantages of mobile laser scanners in the road sector. Analyzed programs and tools used for the automated processing of the results of laser scanning.

Keywords: *mobile laser scanners, automated system scanning results processing point clouds, surveying work.*