

with a specific goal in mind makes it possible to minimize analytical work, ‘preventing oneself’ from the necessity of collecting extensive initial data.

1. Schmid (i in.). 2004. Kulturlandschaftsprojekt Ostthüringen. Historisch geprägte Kulturlandschaften und spezifische Landschaftsbilder in Ostthüringen Forschungsprojekt im Auftrag der Regionalen Planungsgemeinschaft Ostthüringen FH Erfurt, Fachbereich Landschaftsarchitektur, Erfurt im Dezember 2004. 2. Spiegler, Dower. 2006. Landscape Identification. A Guide To Good Practice. European Council for the Village and Small Town ECOVAST. Wien / Cheltenham

Recenzował: prof. dr hab. inż. Krzysztof Koreleski

УДК 528.72/73

З. Кузик

Національний університет „Львівська політехніка”

## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ УТВОРЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ’ЄКТІВ У НАЗЕМНОМУ ЛАЗЕРНОМУ СКАНУВАННІ

© Кузик З.О. 2007

*The main principles of method of terrestrial laser scanning of objects creation of point - clouds by laser scanner, obtaining of graphical imaging, visualization and object modeling are described in the paper.*

*В статье приведены основные принципы метода наземного лазерного сканирования объектов - построения облака точек лазерным сканером, образование графического изображения, визуализации и моделирования объектов.*

**Постановка проблеми.** У теорії та практиці фотограмметричної науки наприкінці 1990-х років відбулись прогресивні зміни, новий поштовх, зумовлений розробкою та впровадженням лазерних технологій. Хоча метод цифрового фотограмметричного знімання залишається актуальним, а цифрові технології успішно застосовуються й удосконалюються, все ж метод лазерного сканування та моделювання об’єктів щоразу більше завойовує простір світової науки та практики. Фотограмметричні лазерні сканери застосовують тепер як бортові прилади в аерофотозніманні, так і стаціонарно в наземному зніманні. Зокрема, у наземній фотограмметрії лазерне сканування дозволяє строго визначати координати безлічі вимірюваних точок та положення об’єкта, точне відтворення та моделювання його поверхні.

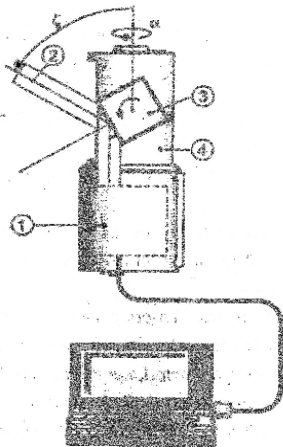
Метод наземного лазерного сканування об’єктів, завдяки високій точності та дистанційності, представляє особливий інтерес для фахівців таких галузей як будівництво та архітектура, реставрація та документація споруд, геологія, археологія, спалеологія та ін.

**Дослідження та публікації останніх років.** Тема лазерного сканування об’єктів продиктована часом та особливо популярна в останні роки; вона висвітлюється на сторінках науково-технічної літератури, у матеріалах міжнародних наукових конференцій. Зокрема, основну концепцію і теорію методу лазерного сканування з точки зору фотограмметричної науки запропонували та розробляли такі вчені як Н.Пфайфер, К.Краус, Люман Т, Р.Шварц, А.Ульріх та ін. Практичною реалізацією методу на прикладі численних експериментів займались С.Брізе,

Н.Пфайфер, А.Гарінг, Г.Фанчі, Ф.Фіорі, С.Декуа та ін. Результати останніх досліджень, прогнози та рекомендації щодо застосування приведені у матеріалах наукових конференцій таких міжнародних організацій як CIPA та ISPRS. Провідні фотограмметричні фірми світу працюють над створенням лазерних сканерів та програмного забезпечення до них, наповнюючи ринок високоточною і дорогою продукцією.

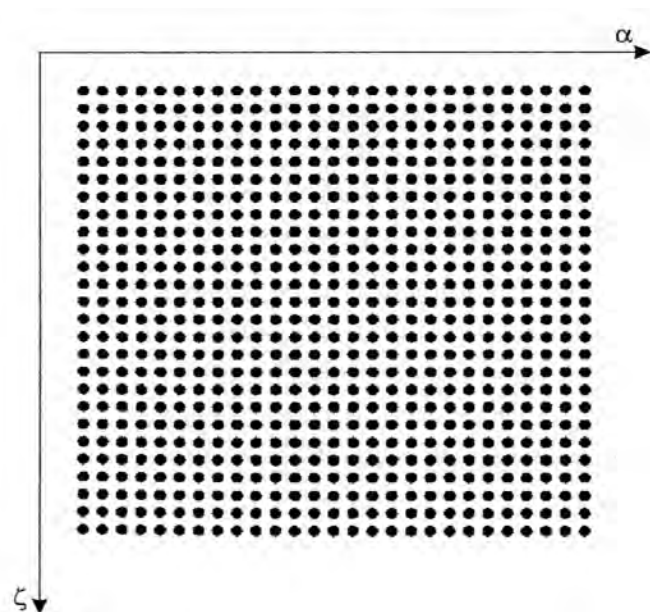
**Формулювання цілей статті.** Метою даної статті є висвітлення стратегії моделювання об'єктів, одержаних лазерним скануванням, а саме: основні принципи лазерного вимірювання, визначення систем координат, які беруть участь у перетворенні хмари точок у структурований опис об'єкта за допомогою ліній та елементарних площин, що дозволяє побудувати з високою точністю графічне зображення об'єктів та виконувати їх обміри і 3D-моделювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основною передумовою реалізації методу лазерного сканування у наземній фотограмметрії є наявність спеціального технічного оснащення та програмного забезпечення. Скануючий прилад – наземний стаціонарний лазерний сканер (мал.1) посилає пульсуючий лазерний промінь у двох напрямках – вертикальному (кут нахилу оптичної осі  $\xi$ ) та горизонтальному (кут повороту приладу навколо вертикальної осі  $\alpha$ ). Скануючий лазерний промінь відбивається від точки об'єкта, попадає на кубічну призму, яка обертається з відносно великою швидкістю, відбивається від неї та скеровується до наступної точки об'єкта, проходячи вздовж профілю вертикального кута  $\xi$ . В цей час верхня частина сканера повертається на деякий кут  $\Delta\alpha$ , а лазерний промінь починає сканувати („намацувати“) точки наступного профілю  $\xi$ .



**Мал. 1. Принципова схема лазерного сканера Riegl LMS-Z360:**

- 1- електронний блок сканера;
- 2 - лазерний промінь;
- 3 - рухома оптична призма;
- 4 - оптичний блок сканера



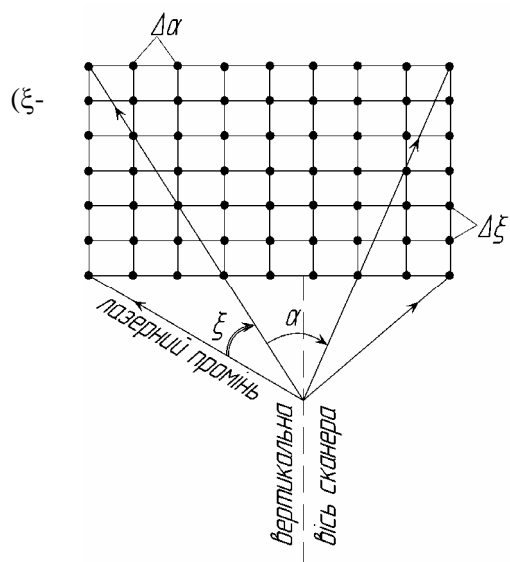
**Мал. 2 Лазерні точки у площині  $\alpha\xi$**

Слід зауважити, що інтервал сканування (дігіталізації), або мінімальний крок лазерного променя в обох напрямках (для лазерного сканера Riegl LMS-Z360) становить 0,18 мрад, тобто на віддалі до об'єкта 100м інтервал сканування становить 1,8см, а на віддалі до об'єкта 50м – відповідно 9мм. Позиціонування приладу найкраще виконується за допомогою GPS. У результаті лазерного сканування одержують досить великий масив вимірних точок, т.зв. хмару точок, причому положення кожної точки задане полярними координатами  $\alpha, \xi, s$ ,

відомими під одним терміном *scan* (*s* – це відстань від пункту стояння сканера до вимірюваних точок).

Масив вимірних точок можна представити у площині  $\alpha\xi$  і розглядати як матрицю, в якій відомі координати кожної точки. (мал. 2).

На відміну від традиційного фотограмметричного знімка, де кожній точці можна присвоювати атрибути (кут будинку, інформацію про топологічні зв'язки чи зв'язки з іншими точками тощо), точки лазерного знімка не несуть жодного змістового навантаження. Однак, певну змістову інформацію із хмари точок лазерного сканування все ж таки потрібно і можливо роздобути. Для цього у хмарі точок, матриці, потрібно виокремити приховані там лінії і площини (мал. 3).



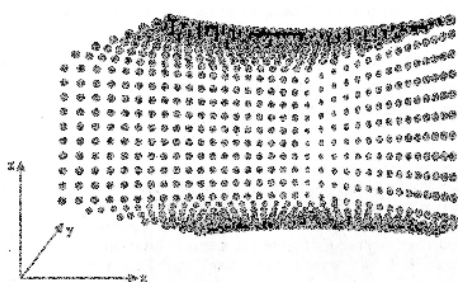
Мал. 3. Геометричні зв'язки у площині лазерних точок  $\alpha\xi$ .

У стовпцях містяться точки об'єкта, утворені перетином вертикальної площини з поверхнею об'єкта (профіль). Будь-яка вертикальна площина містить центр знімання, а її положення визначається горизонтальним кутом  $\alpha$ . Відстань між точками  $\xi$ -профілю задають через приріст координат  $\Delta\xi$ .

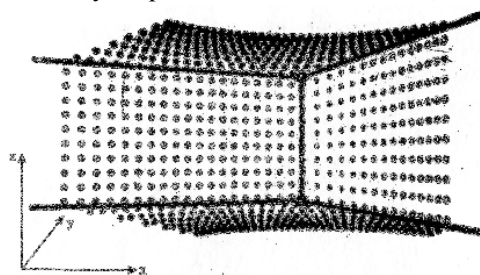
Хмару точок, одержану в результаті лазерного сканування і представлену у полярній системі координат  $\alpha, \xi, s$ , можна перетворити за допомогою матричного зв'язку у систему координат  $x, y, z$ .

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s \sin \xi \cos \alpha \\ s \sin \xi \sin \alpha \\ s \cos \xi \end{pmatrix}$$

Під час цього перетворення у систему координат  $x, y, z$  втрачається рівновіддаленість між лазерними точками. Однак, між ними зберігаються незмінні топологічні зв'язки. Крім цього, у системі координат  $x, y, z$  можна віднайти плоскі ділянки, наприклад, 4 плоскі ділянки на поверхні об'єкта (мал. 4). Після їх сегментації та розрізання утворюються лінії і точки (мал. 5).



Мал.4. Лазерні точки у системі координат  $x, y, z$  як результат сегментування .



Мал.5. Розрізання площин лініями.

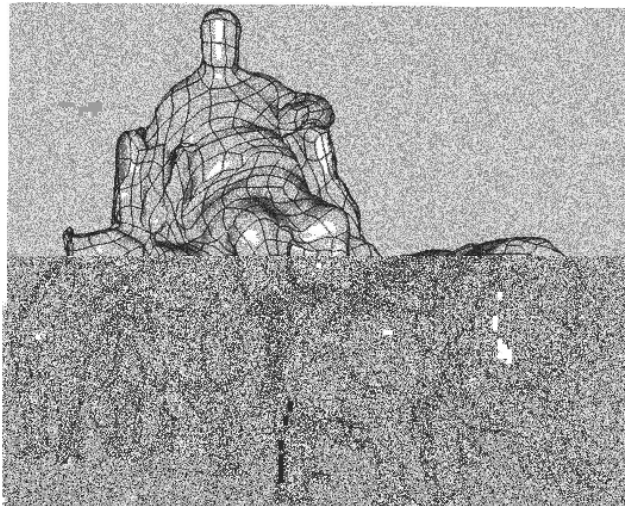
Отже, в основі лазерного сканування лежить наступна стратегія моделювання поверхні об'єкта:

- 1) із хмар точок виділяють групи, які належать окремим плоским частинам поверхні об'єкта (у наведеному вище прикладі – 4 площини);
- 2) шляхом сегментації та розрізання визначають межі окремих плоских ділянок (викривлені або прямі лінії), на перетині яких утворюються шукані точки об'єкта.

У традиційних фотограмметричних методах побудова об'єкта відбувається у зворотній послідовності: спочатку вимірюють точки, потім вводять інформацію про топологію, викреслюють лінії, які разом з точками на плоских поверхнях утворюють окремі елементи поверхні деякого об'єкта.

Я вже зазначалось вище, у лазерному скануванні дуже висока точність визначення ліній і точок, оскільки надлишковий масив точок, у порівнянні з поодинокими вимірами традиційними методами, призводить до суттєвого підвищення точності визначення поверхні об'єкта. Фільтрування, тобто зменшення впливу випадкових помилок вимірювання, виконують для гладких елементарних поверхонь об'єкта згідно інтерполяції поверхні за методом найменших квадратів. Як підказує практика, сегментація і „розрізання” хмари точок на елементарні плоскі ділянки та фільтрацію випадкових помилок слід виконувати по чергово.

Приклад відображення та моделювання об'єктів у наземному лазерному скануванні



**Мал.6. Результат лазерного сканування та моделювання об'єкта - скульптури Марка Антонія**

представлений на мал. 6. Статуя відзнята наземним лазерним сканером LMS-Z360 з багатьох пунктів стояння приладу. Всі елементи сканування *scan* були перетворені в координатну систему  $x, y, z$ . А допомогою програмного забезпечення Geomagic Studio, була здійснена побудова, згладжування точок, тобто фільтрація нерегулярних помилок через утворення т.зв. сплайну NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) та моделювання об'єкта в поєднанні з його фотозображенням.

**Висновки і перспективи подальших розвідок.** Сучасний і перспективний метод наземного лазерного сканування дає можливості для всебічного конструювання та моделювання об'єктів незалежно від складності їх зовнішньої форми та освітлення. Лазерний інструмент дає можливість проникнути та зафіксувати ділянки об'єкта, недосяжні для знімання цифровими камерами. Завдяки цьому методу, практично вирішується проблема „мертвих зон” у фотограмметрії. Однак, у більшості випадків, наземні лазерні сканери комбінують із фотокамерами, щоб високу графічну точність лазерного зображення поєднати із глибиною змісту фотознімка. Розробки науковців та провідних фірм направлені сьогодні на покращення функціональних можливостей лазерних технологій та створення програмного забезпечення, яке б задовольняло вимоги користувачів таких галузей як ГІС, архітектура, проектування, будівництво, реставрація, археологія та багато інших.

1. Briese C., Haring A, *Proceedings der CIPA-Konferenz in Antalya, Tuerkei, 2003.* 2. **Kraus K.** *Photogrammetrie. Band 1. Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7. Auflage. WdeG. Berlin-New York. 2004.* 3. Luhmann T. *Photogrammetrie und Laserscanning. Wichmann-Verlag, 2002.* 4. Pfeifer N., Kraus K., Schwarz R, Ulrich A. *Ingenieurvermessung 2000, Wittwer-Verlag, 2000.* 5. Pottmann H, Leopoldeder S., Hofer M., *IAPRS, Graz 2002.* 6. Rees W. *Physical priciples of remote sensing. Cambridge University Press, 2002.*