

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Р. Шульц

Київський національний університет будівництва і архітектури

Ключові слова: наземне лазерне сканування.

Постановка проблеми

Серед головних факторів, що впливають на точність та якість лазерного сканування, більшість спеціалістів виділяють такі головні фактори: точність приладу (калібрування); умови сканування (атмосферні фактори); властивості об'єкта сканування (відбивна здатність); геометрія сканування; попередня обробка матеріалів сканування. Під час виконання польових робіт з наземного лазерного сканування параметрам сканування, які формують геометрію, приділяється дуже мало уваги. Дотепер питання методики розрахунку оптимальних параметрів наземного лазерного сканування залишається відкритим. Як головні параметри польових робіт, які необхідно розрахувати, запропоновано вибрати кількість станцій сканування та відстань до об'єкта сканування. Ці величини, своєю чергою, залежать від: максимально допустимого кута падіння лазерного променя; точності вимірювання відстані лазерним сканером; мінімального кроку сканування лазерного сканера.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються цієї проблематики

Існує декілька підходів до питання розрахунку параметрів наземного лазерного сканування. У роботі [1] розрахунок параметрів виконують на основі попереднього розрахунку точності лазерного сканування. Для кожної станції сканування (СС) будують ізолінії похибок визначення координат. Накладаючи ізолінії на план об'єкта сканування, визначають положення СС, з якої забезпечується необхідна точність. Проте такий підхід має низку істотних недоліків. По-перше, не враховується той факт, що точність сканування істотно знижується при збільшенні кутів падіння лазерного променя на поверхню об'єкта, і, по-друге, при такому розрахунку неможливо встановити необхідну кількість СС. Інший підхід запропоновано в роботі [2]. В цьому способі об'єкт розділяють на елементарні ділянки, для кожної з яких виконують апроксимацію площиною. За результатами відхилень кожної ділянки роблять висновок про правильність вибору положення СС. Головні

недоліки цього способу полягають у: необхідності виконання попереднього сканування об'єкта для визначення його конфігурації; складності та неочевидності виділення елементарних ділянок на хмарі точок. Рациональніший і правильніший підхід запропоновано в роботі [3], де розрахунок виконано за умови обмеження на максимально можливий кут падіння лазерного променя на поверхню об'єкта.

Постановка завдання

Метою роботи є розроблення методики розрахунку параметрів наземного лазерного сканування. Як головні параметри польових робіт, які необхідно оптимізувати, вибрано кількість станцій сканування та відстань до об'єкта сканування.

Основний зміст роботи

Головною умовою розташування станцій сканування є збереження допустимого значення кута падіння лазерного променя на поверхню об'єкта. Розглянемо найпростіший випадок, коли об'єкт сканування є площиною. Об'єкти такого типу найпоширеніші, це фасади будівель, промислові споруди тощо. Для початку обчислимо параметри сканування в проекції на горизонтальну площину. Основні параметри сканування зображено на рис. 1.

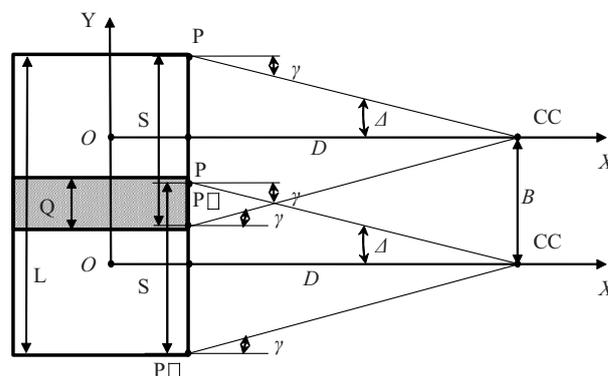


Рис. 1. Вихідні дані для розрахунку параметрів сканування:

γ – кут падіння лазерного променя; Δ – кут між лінією сканування по нормалі до поверхні та лінією сканування на точку P; D – відстань між

станцією сканування та поверхнею по нормалі до поверхні; B – відстань між CC ; S – відстань між точками поверхні PP (захоплення).

Якщо прийняти, що для заданої відстані D в точках PP кут падіння γ є максимальним, то за рис. 1 маємо можливість обчислити максимальне захоплення об'єкта по горизонталі при заданій відстані сканування D :

$$\Delta = \gamma$$

$$S = 2D \operatorname{tg} \Delta. \quad (1)$$

Тоді без перекриття Q між сканами отримаємо кількість CC при загальній довжині об'єкта L :

$$N = \frac{L}{S}. \quad (2)$$

За умови, що кожен скан забезпечений мінімум 4 опорними точками, або кожна CC встановлена на пункті з відомими координатами та зорієнтована відносно певної місцевої системи координат, сканування об'єкта виконують без перекриття. Найчастіше кількість точок з відомими координатами є обмеженою, тому для орієнтування всіх сканів в одну модель в заданій системі координат, а також для підвищення точності зшивання сканів в одну модель сканування виконують з певним перекриттям за аналогією з наземним фототеодолітним зніманням. Найчастіше величина такого перекриття є незначною порівняно з стереофотограмметричним зніманням. Якщо прийняти величину можливого перекриття Q такою, що дорівнює:

$$Q = (0,1 \div 0,3) S,$$

тоді можна обчислити величину відстані B між CC та їх кількість за виразами (3-4):

$$B = S - Q, \quad (3)$$

$$N' = \frac{L + (N - 1)Q}{S}. \quad (4)$$

Проблема полягає в тому, що кут падіння γ є просторовим, а отже, необхідно враховувати не лише його горизонтальну проекцію, а й вертикальну. Для обчислення просторового кута падіння γ розглянемо рис. 2.

Тут γ – просторовий кут падіння лазерного променя; \vec{m} – вектор променя сканування; \vec{n} – вектор нормалі до площини; α – кут, утворений перетином векторів \vec{n} і \vec{m} ; H – висота площини.

На рис. 2, окрім відомих величин, додається висота об'єкта сканування H . Значення кутів розраховують за формулами скалярного добутку вектора сканування і вектора нормалі до поверхні сканування [5]:

$$\gamma = \pi - \alpha, \quad (5)$$

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\vec{n} \cdot \vec{m}}{\|\vec{n}\| \|\vec{m}\|} \right), \quad (6)$$

де

$$\vec{m} = (X_{P_H} - X_{CC}, Y_{P_H} - Y_{CC}, Z_{P_H} - Z_{CC});$$

$$\vec{n} = (X_{CC} - X_O, Y_{CC} - Y_O, Z_{CC} - Z_O)$$

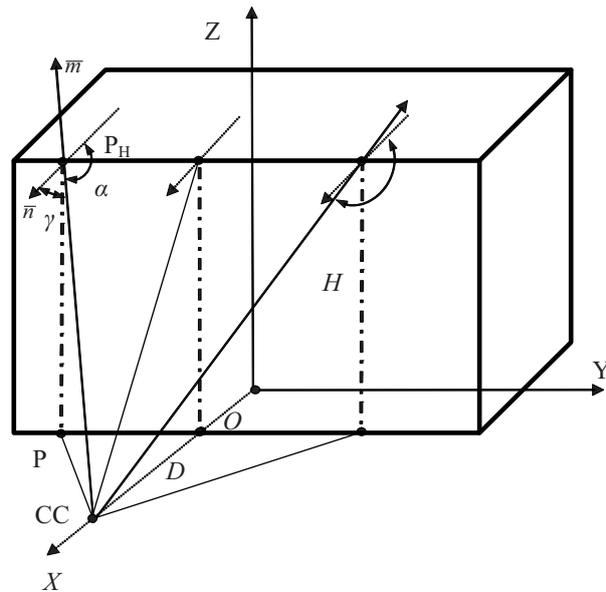


Рис. 2. Просторові параметри сканування

За виразами (5), (6) розраховують просторовий кут падіння лазерного променя. В умовах, коли відстань до об'єкта та його висота є фіксованими, за виразами (1)–(6) визначають кількість CC . Якщо істотного обмеження на відстань сканування немає, то за виразами (1)–(4) підбирають мінімальну кількість CC , за умови збереження необхідної точності отримання координат точок об'єкта [4].

Складнішим стосовно виконання робіт є сканування вертикальної циліндричної поверхні. Такі поверхні трапляються в промисловості, особливо в нафтогазовій галузі. При скануванні поверхні циліндра зсередини особливих питань не виникає. Інший випадок – це сканування зовнішньої поверхні вертикального циліндра. Вихідними даними для сканування циліндричної поверхні є: радіус і висота циліндра, відстань по нормалі до поверхні, максимально допустимий кут падіння. Тоді можна розрахувати мінімально необхідну кількість станцій сканування за умови відсутності перекриття між сусідніми сканами та заданої відстані до об'єкта [4]. Горизонтальну проекцію вертикального циліндра подано на рис. 3.

Планові координати точки P_H будуть змінюватись залежно від радіуса споруди на висоті H :

$$\begin{aligned} X_{P_H} &= (R - Htg\varepsilon)\cos\left(\frac{\Theta}{2}\right); \\ Y_{P_H} &= (R - Htg\varepsilon)\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right). \end{aligned} \quad (11)$$

У виразах (11) R – радіус конічної поверхні на висоті станції сканування.

Отримані в роботі вирази дають змогу розрахувати кількість станцій сканування, відстань між станціями сканування та відстань сканування залежно від заданого максимального кута падіння лазерного променя. Вирази можна використувати для об'єктів іншої форми, для цього достатньо подати об'єкт у проєкціях на горизонтальну та вертикальну площину. Наприклад при скануванні поверхні горизонтального циліндра зсередини [6] в проєкції на горизонтальну площину отримаємо сканування звичайної площини, а в проєкції на вертикальні площини – сканування площини та циліндра відповідно.

Висновки та рекомендації

Запропонована методика розрахунку параметрів наземного лазерного сканування враховує такі важливі характеристики, як відстань до об'єкта сканування, його геометричну форму та максимальний можливий кут падіння лазерного променя. При виконанні розрахунків можна за наближеними характеристиками об'єкта сканування визначити обсяги польових робіт та забезпечити оптимальну геометрію розташування станцій сканування. Важливий фактор, який необхідно надалі врахувати, – це щільність точок на 1 м^2 . Ця характеристика істотно впливає на якість отриманих результатів і швидкість виконання робіт. Вплив цієї характеристики буде досліджено в подальших роботах.

Література

1. Kopačik A., Korbašová M. Optimal Configuration of Standpoints by Application of Laser Terrestrial Scanners. INGENEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia, November 11–13, 2004
2. Soudarissanane S., Lindenbergh R., Gorte B. Reducing the error in terrestrial laser scanning by optimizing the measurement set-up. ISPRS WG V/3 Workshop, Enschede, the Netherlands.

3. Gairns C. Development of a Semi-Automated System for Structural Monitoring Using a Reflectorless Total Station. Thesis for the Degree of Master of Science. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada 2008, p. 117.

4. Boehler W., Bordas Vicent M., Marbs A. Investigating laser scanner accuracy. XIXth CIPA Symposium at Antalya, Turkey, October 2003.

5. Soudarissanane S., Lindenbergh R., Menenti M., Teunissen P. Incidence angle influence on the quality of terrestrial laser scanning points. ISPRS WG V/3 Workshop, Enschede, the Netherlands.

6. Lindenbergh R., Pfeifer N., Rabbani T. Accuracy analysis of the leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring. ISPRS WG III/3 Workshop “Laser scanning 2005”, Enschede, the Netherlands, September 12–14, 2005 бр.

Розрахунок параметрів наземного лазерного сканування

Р. Шульц

Запропоновано методику розрахунку оптимальних параметрів наземного лазерного сканування. Як головні параметри польових робіт, які необхідно оптимізувати, вибрано кількість станцій сканування та відстань до об'єкта сканування.

Расчет параметров наземного лазерного сканирования

Р. Шульц

Предложена методика расчета оптимальных параметров наземного лазерного сканирования. В качестве главных параметров полевых работ, которые необходимо оптимизировать, приняты количество станций сканирования и расстояние до объекта сканирования.

Calculation of terrestrial laser scanning parameters

R. Schultz

The method of terrestrial laser scanning optimum parameters calculation is offered in work. As main parameters of the field works which must be optimized accepted amount of the stations of scan and distance to the object of scan.