



## Спосіб та пристрій дистанційного знімання місцевості

Д.Ф. Байса<sup>1</sup>, В.Г. Бурачек<sup>1</sup>, В.І. Зацерковний<sup>2</sup>, В.Ю. Беленок<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський інститут землевпорядкування та інформаційних технологій  
при Національному авіаційному університеті

<sup>2</sup>Чернігівський державний інститут економіки і управління

*У статті описано новий запропонований спосіб та пристрій дистанційного знімання місцевості, який дозволяє отримати підвищення точності знімання і відображення рельєфу на цифровому знімку при виключенні складної фотограмметричної технології обробки даних.*

*СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОЙ СЪЕМКИ МЕСТНОСТИ, Байса Д.Ф., Бурачек В.Г., Зацерковный В.И., Беленок В.Ю. — В статье описан новый предложенный способ и устройство дистанционной съемки местности, который позволяет получить повышение точности съемки и отображение рельефа на цифровом снимке при исключении сложной фотограмметрической технологии обработки данных.*

*A METHOD AND DEVICE FOR REMOTE TERRAIN SURVEY, by Baysa D.F., Burachek V.G., Zatserkovniy V.I., Belenok V.Yu. — A new proposed method and device for remote terrain survey which makes it possible to improve a survey precision and relief imaging without complicated photogrammetric data processing are described.*

### 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На сьогодні існує багато методів та засобів виконання дистанційного знімання земної поверхні, що можуть класифікуватися за різними параметрами: спектральним діапазоном використовуваного електромагнітного випромінювання, типом реєстрованого сигналу (власне чи відбите випромінювання, природне чи спрямоване від штучного джерела), способом реєстрації електромагнітних хвиль, розрізненістю тощо. Розглянемо апаратну складову. Системи дистанційного зондування можна розділити на два широкі класи: фотографічні та нефотографічні ("безсрібні"). Загальновідомим недоліком фотографічних методів (аерофотознімання та космічна зйомка) є застосування фотоплівки з витікаючою необхідністю проведення обробки негативів, виконання монтажу і т. ін., проведення складної обробки аерокосмічних знімків. Відомі, наприклад, способи аерофотозйомки, засновані на стереофотограмметричних методах [1]. До недоліків даних способів можна віднести складність та великий обсяг обробки стереоданих. Великою перевагою фотографічних методів залишається висока розрізненість фотоматеріалів. Ще одним недоліком фотографічної зйомки з космосу є необхідність доставки фотоплівки на Землю для обробки, після її експонування на борту літального апарата. Цей недолік усувається при використанні нефотографічних систем. Ці системи дають можливість систематичного одержання зображення поверхні Землі протягом тривалого часу при швидкій передачі його на прийомні станції. Нефотографічні системи дистанційного знімання можна розділити на: телевізійні камери, радіолокатори (тобто активні датчики — радари) й радіометри (пасивні датчики), сканери та системи, що використовують прилади з зарядовим зв'язком (ПЗЗ-системи). До загальних недоліків методів сканерного знімання відноситься недостатня точність скануючих пристроїв, що використовуються, яка негативно впливає на загальну точність методу [2]. До сканувальних систем слід також віднести спосіб аерокосмічних лазерних світловіддалемірних вимірювань за допомогою лідарів (або, інакше, лазерних сканерів, або лазерні локатори). Проблема сканування лазерного променя така ж сама, як у всіх методах сканерного знімання [3]. Основні недоліки радіолокаційного знімання — більш низька метрична точність у порівнянні з фотограмметричною та залежність від відбиваючих властивостей поверхні.

### 2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ПУБЛІКАЦІЙ

За способом виконання розгортки поля огляду до основних скануючих систем можна віднести: механічні, оптико-механічні, фотоелектронні, електрооптичні, ультразвукові та інші. У механічних скануючих системах оптична система розміщується на механічному пристрої, що змінює просторове положення її оптичної осі. Ці системи внаслідок їх складності, громіздкості, малої частоти сканування, великих похибок, що виникають у механічних передачах, велика інерційність зараз застосовуються рідко, за винятком оптико-електронної системи з багатоелементними приймачами випромінювання, що встановлюється на рухомому носії, наприклад, літаку чи супутнику.

В оптико-механічних скануючих системах огляд поля зондування виконують шляхом переміщення не всієї оптичної системи, а лише одного-двох її компонентів. У цих системах використовують різні оптичні елементи: клини, лінзи, плоскопаралельні пластини, призми (Дове, Пехана та ін.), дзеркала (що обертаються або качаються). Недоліки цих систем — велика інерційність (але менша, ніж у механічних системах) та малі кути відхилення променів, тобто мале поле зондування.

Фотоелектронні скануючі системи здійснюють сканування в просторі зображень. Об'єктив приймальної оптичної системи будує зображення всього поля зондування в площині чутливого шару приймача випромінювання фотоелектронної скануючої системи. Зарядовий рельєф, що утворився, зчитується, як правило, за допомогою електронного променя (фотоелектронні вакуумні скануючі системи — відікони, передавальні телевізійні трубки) або шляхом переносу носіїв току (напівпровідникові аналізатори). Зараз для покращення розрізненості знімків на зміну фотоелектронним вакуумним скануючим системам прийшли багатоелементні лінійні й матричні приймачі випромінювання, що складаються із багатьох тисяч дрібних світлочутливих елементів-детекторів, які називаються приладами з зарядовим зв'язком, робота яких заснована на явищі внутрішнього фото ефекту.

Широкого розповсюдження набули способи сканування за допомогою електрооптичних, акустооптичних та деяких інших пристроїв — дефлекторів. Ці пристрої застосовуються як у приймальних, так і в передавальних оптичних системах. Електрооптичні дефлектори забезпечують велику частоту сканування, високу просторову розрізненість. Одним із основних їх недоліків є досить висока напруга живлення, обмежений спектральний діапазон та великі втрати на поглинання [4].

Знімання в радіодіапазоні поділяється на пасивне радіометричне знімання та радіолокацію (використовується активний сенсор). Основні недоліки радіолокаційного знімання — більш низька метрична точність у порівнянні з фотограмметричною та залежність від відбиваючих властивостей поверхні.

У лазерному скануванні вимірювання похилої дальності виконується двома методами — імпульсним і фазовими [5]. Суть імпульсного методу — визначення часу  $\tau$  розповсюдження короткого лазерного імпульсу від випромінювача до об'єкту і назад до приймача. Похила віддаль  $D$  визначається за відомою формулою:

$$D = \frac{c\tau}{2}. \quad (1)$$

Переваги імпульсного методу: висока стійкість методу вимірювання, досить проста схема оптико-електронного тракту, можливість реєстрації багаторазового відбиття. Недоліки імпульсного методу: обмеження за точністю та розрізненістю, обмеження продуктивності при використанні одиного приймача у співвідношенні "висота знімання—частота імпульсів".

У фазовому методі як вимірювальний пристрій використовують фазометр, що вимірює різницю фаз між прямими (безпосередніми) і відбитими від об'єкта коливаннями, що пройшли подвійну відстань між приймачем (випромінювачем) і об'єктом. При відомій частоті  $f$  випромінюваних коливань, швидкості поширення їх у повітрі  $V$  та виміряній різниці фаз  $\Delta\varphi$  між прямими і відбитими від об'єкта коливаннями вимірюють відстань  $S$ . Великим недоліком фазового методу є те, що фазометри вимірюють тільки фазовий домір, що призводить до багатозначності. Основна формула фазового методу:

$$S = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{V}{2f}. \quad (2)$$

Переваги фазового методу: найвища точність вимірювань, більш висока продуктивність. Недоліки фазового методу: обмеження дальності вимірювань, багатозначність, висока споживча потужність випромінювача, неможливість реєстрації багаторазового відбивання.

У сучасній лазерній локації розгортку виконують за допомогою: дзеркала, що качається, обертової призми, оптичного клину.

Описаний у даній статті спосіб та пристрій дистанційного знімання місцевості дозволяє спростити технології обробки інформації за рахунок виключення використання стереофотограмметрії та підвищити точність картографування рельєфу за рахунок введення сканування місцевості парою оптичних клинів по точній спіралі.

### 3. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

З огляду на переваги та недоліки вищенаведених способів та пристроїв дистанційного знімання, завданням розробки було створення нового способу та пристрою дистанційного знімання місцевості, що дозволяє отримати підвищення точності знімання і відображення рельєфу на цифровому знімку при виключенні складної фотограмметричної технології.

#### 4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонований спосіб відноситься до області геодезії, зокрема до методів аерокосмічного знімання місцевості і реалізується за допомогою пристрою, який містить: пару оптичних поворотних клинів з приводами і датчиками кутів повороту, відрізняється тим, що він містить електрично пов'язаний з блоком обробки інформації блок регулювання різниці швидкостей обертання клинів, при цьому вхід блока управління електрично пов'язаний з виходом блока обробки інформації, виходи блока управління електрично пов'язані з відповідними входами блока обробки інформації, блока лазерного висотоміра з блоком випромінювання, блоків приводів відповідно першого та другого скануючих клинів, навігаційного приладу, приймача супутникових сигналів GPS, датчика вертикалі, цифрової знімальної камери, вихід блока обробки інформації електрично пов'язаний з входом блока регулювання різниці швидкостей обертання клинів, інший вихід блока обробки інформації електрично пов'язаний з входом блока формування цифрового контурного плану та побудови цифрової моделі рельєфу, входи блока обробки інформації електрично пов'язані з виходами датчика вертикалі, цифрової знімальної камери, блоків датчиків кутів повороту відповідно першого та другого скануючих клинів, лазерного висотоміра, навігаційного приладу, приймача супутникових сигналів GPS, датчик швидкості руху летального апарату, вихід лазерного висотоміра оптично пов'язаний з входом двохклинового скануючого приладу, вхід лазерного висотоміра електрично пов'язаний з виходом блока приймача лазерного висотоміра, вхід цифрової знімальної камери оптично пов'язаний з відбитим світловим потоком випромінювання від місцевості, два входи двохклинового скануючого приладу електрично пов'язані з відповідними виходами блоків приводів відповідно першого та другого скануючих клинів, два виходи двохклинового скануючого приладу електрично пов'язані з відповідними входами блоків датчиків кутів повороту відповідно першого та другого скануючих клинів, вхід блока приймача лазерного висотоміра оптично пов'язаний з відбитим світловим потоком випромінювання від місцевості, вихід блока формування цифрового контурного плану та побудови цифрової моделі рельєфу електрично пов'язаний з входом блока запису та збереження інформації, вихід блока регулювання різниці швидкостей обертання клинів електрично пов'язаний з входом блока обробки інформації.

На рис.1 представлена блок-схема запропонованого пристрою. Цифрами на ній позначено:

- 1 — блок управління;
- 2 — блок обробки інформації;
- 3 — лазерний висотомір з блоком випромінювання;
- 4 — цифрова знімальна камера;
- 5 — двохклиновий скануючий прилад;
- 6, 7 — блоки приводів відповідно першого та другого скануючих клинів приладу 5;
- 8, 9 — блоки датчиків кутів повороту відповідно першого та другого скануючих клинів приладу 5;
- 10 — навігаційний прилад;
- 11 — приймач супутникових сигналів GPS;
- 12 — датчик вертикалі;
- 13 — блок запису та збереження інформації;
- 14 — датчик швидкості руху летального апарату;
- 15 — вихід блока управління;
- 16 — вихід блока управління;
- 17 — вхід блоку запису та збереження інформації;
- 18 — вихід блока управління;
- 19 — вихід блока управління;
- 20 — вихід блока управління.

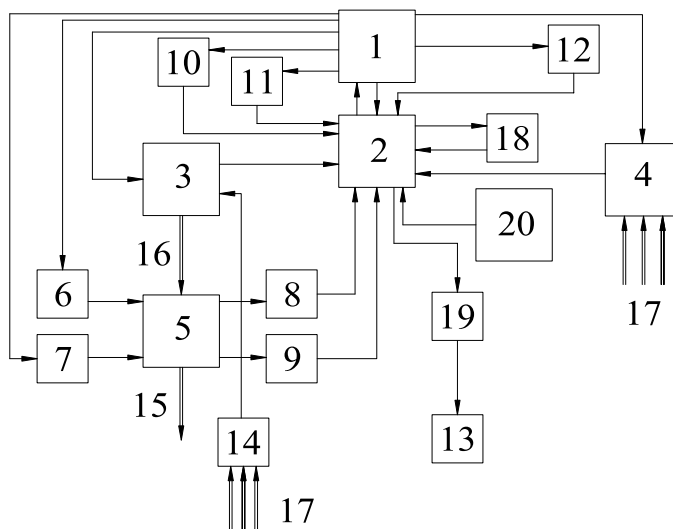


Рис. 1. Блок-схема пристрою дистанційного знімання місцевості

- 14 — блок приймача лазерного висотоміра;
- 15 — скануючий промінь висотоміра;
- 16 — світловий потік (імпульс) лазерного випромінювання;
- 17 — відбитий світловий потік випромінювання від місцевості;
- 18 — блок регулювання різниці швидкостей обертання клинів;
- 19 — блок формування цифрового плану та рельєфу;
- 20 — датчик швидкості руху летального апарату.

Усі блоки встановлені на літальному апараті, при цьому блоки 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12 жорстко зв'язані з осями апарату.

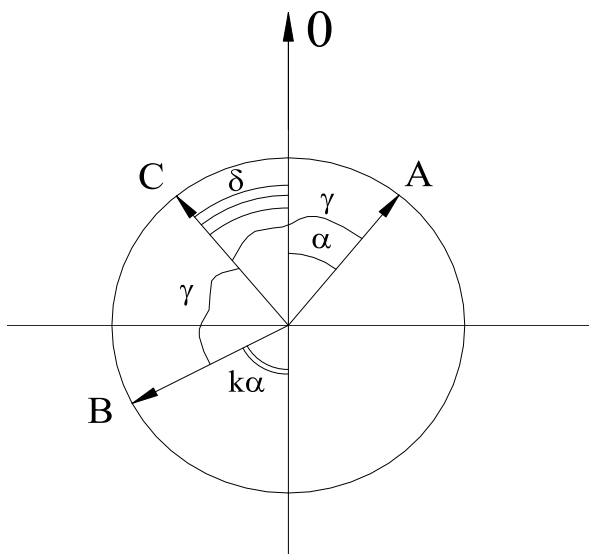
Пристрій працює наступним чином. За допомогою блока управління включають усі прилади та блоки пристрою. Блоки 10, 11, 12 передають в блок 2 поточні дані: координати місця положення носія, орієнтацію носія в просторі, швидкість польоту, значення висоти польоту та ін.

Якщо виконувати сканування двохклиновою оптичною системою зі статичного летального апарату, то розгорнення буде виконуватись по спіралі. При русі летального апарату й використанні двохклинової оптичної систем розгорнення виконується по складній кривій, що наближено являє собою спіраль, витягнуту у напрямку руху летального апарату.

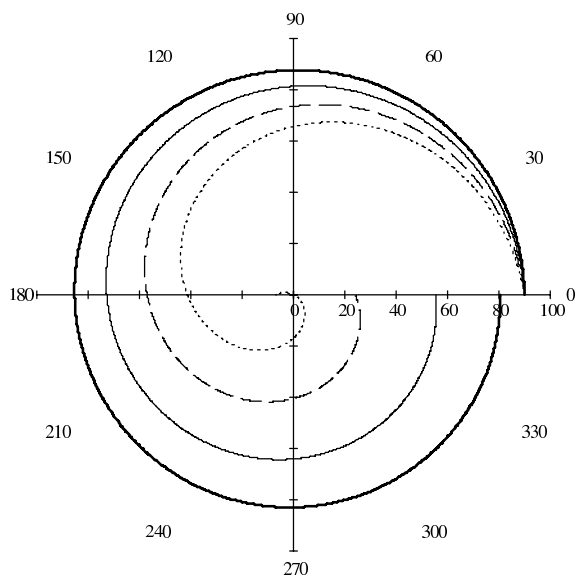
Лазерний висотомір 3 за допомогою приладу 5 сканує місцевість. Обертання оптичних клинів приладу 5 виконується приводами 6, 7 з різними швидкостями. Блоки 8, 9 датчиків кутів повороту клинів передають в блок 2 значення кутів повороту клинів приладу 5 на кожний момент часу. При цьому в блоці 2 по сигналу з приладу 3 про посилення імпульсу 16 лазера фіксують значення кутів повороту клинів на даний момент часу та вираховують координати точки на контурному плані, що отримують в приладі 4 після перетворення відбитого світлового потоку 17 від місцевості в електронний код, який передається з приладу 4 в блок 2.

Значення вимірюваних висот надходять з приладу 3 в блок 2. У блоці 2 у величини вимірюваних значень вводять поправку за нахил скануючого лазерного променя (розраховують за даними датчика 12 і блоків 8, 9) і передають у блок 19 формування цифрового плану та рельєфу, де будують рельєф на цифровому контурному плані по отриманим значенням координат точок сканування та їх висотним характеристикам. Із блоку 19 значення передають у блок запису та збереження інформації 13.

При скануванні щільність точок на місцевості буде різною: у центрі вона буде вищою, ніж на периферії, тому для більш рівномірного розташування точок сканування змінюють швидкість обертання оптичних клинів. Із блоку 2 у блок 18 надходить електричний сигнал із значеннями поточної швидкості обертання клинів, яку блок 2 отримує з блоку 1. Також у блок 18 надходять значення кутів повороту клинів приладу 5 на даний момент часу із блоків 8, 9. Блок 18 на основі отриманих даних вираховує швидкість обертання клинів блоку 5, яка забезпечує необхідну частоту сканування (щільність точок) у залежності від необхідного масштабу знімків та заданого перерізу рельєфу, та передає значення швидкостей у блок 1 (зادля регулювання блоком 1 швидкості обертання клинів) та



**Рис. 2.** Напрямок розповсюдження променя висотоміра після проходження двохклинової оптичної системи



**Рис. 3.** Приклади зображення траєкторії спіралі на місцевості

у блок 2 (зادля розрахунків блоком 2 координат точок).

При цьому, координати  $(x, y)$  положення точки місцевості на цифровому контурному плані в системі координат цифрової знімальної камери можна виразити функцією:

$$(x, y) = f(\alpha_1, \alpha_2, H, x_n, y_n), \quad (3)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  — значення кутів повороту відповідно першого та другого клинів двохклинового скануючого приладу;  $H$  — висота точки на плані;  $x_n, y_n$  — координати носія.

Скануючий промінь висотоміра після проходження двохклинової оптичної системи буде поширюватись у напрямі бісектриси кута, який утворено напрямками найбільшого заломлення клинів (рис. 2). На рис. 2:

0 — нульовий напрямок, від якого відраховують кути повороту відповідно першого та другого скануючих клинів у блоках 8 і 9;

A — напрямок найбільшого заломлення першого клину;

B — напрямок найбільшого заломлення другого клину;

C — напрямок поширення скануючого променя висотоміра після проходження двохклинової оптичної системи;

$\delta$  — кут між напрямком поширення скануючого променя висотоміра після проходження двохклинової оптичної системи та нульовим напрямком;

$\gamma$  — кут, рівний половині кута між напрямками найбільшого заломлення клинів;

$\alpha$  — кут між нульовим напрямком і напрямком найбільшого заломлення першого клину;

$k\alpha$  — кут між нульовим напрямком і напрямком найбільшого заломлення другого клину.

Кути  $\alpha$  і  $k\alpha$  фіксуються блоками 8, 9.

Напрямок поширення скануючого променя висотоміра після проходження двохклинової оптичної системи можна визначити за кутом відхилення  $\delta$  з формули:

$$\delta = \gamma - \alpha = \frac{180^\circ - \alpha(k+1)}{2}. \quad (4)$$

Для спрощення викладу траєкторію розгорнення приймемо спіраль, яка за формою нагадує архімедову. У залежності від співвідношення швидкостей обертання оптичних клинів, яка регулюється блоками 6 і 7, траєкторія спіралі на місцевості є різною. Наприклад, при значення коефіцієнта  $k$ , відповідно, 2, 10, 20 та 30, спіраль має вигляд, зображений у полярних координатах на рис. 3.

На рис. 3:

———— — траєкторія спіралі при  $k = 2$ ;

———— — траєкторія спіралі при  $k = 10$ ;

----- — траєкторія спіралі при  $k = 20$ ;

..... — траєкторія спіралі при  $k = 30$ .

З рис. 3 видно, що чим швидше відносно один одного обертаються клини, тим щільнішою є спіраль. Цю властивість використовують при визначенні необхідної щільності точок, що залежить від цілей задачі, яка вирішується.

## 5. ВИСНОВКИ

Розроблений спосіб та пристрій дистанційного знімання місцевості із застосуванням пари оптичних клинів, які обертаються в одному напрямку з різними кутовими швидкостями, з приводами і датчиками кутів повороту дозволяють отримати підвищення точності знімання і відображення рельєфу на цифровому знімку при виключенні складної фотограмметричної технології, суттєво спрощує процес обробки інформації та дистанційного знімання в порівнянні зі стереофотограмметричним методом та дає можливість підвищити точність отримання рельєфу за рахунок використання двохклинового двохшвидкісного методу сканування місцевості лазерним променем по спіралі.

1. Лаврова Н.П., Стеценко А.Ф. Аэрофотосъёмка. Аэрофотосъёмочное оборудование. — М.: Недра, 1981. — 296 с.
2. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. — М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2001. — 227 с.
3. Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрія: Підручник. — Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. — 332 с.
4. Якушенков Ю.Г. Теория и расчёт оптико-электронных приборов: Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов. — М.: Машиностроение, 1989. — 360 с.
5. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: Учебное пособие. — М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н.Сукачёва СО РАН, 2007. — 230 с.

Надійшла до редакції 30.12.2009