

УДК 528.4

Спосіб визначення висоти фотографування при дистанційному зондуванні

В.Г. Бурачек¹, В.Ю. Беленок², Л.С. Мамонтова³

¹Університет новітніх технологій, м. Київ

²Національний авіаційний університет, м. Київ

³Чернігівський національний технологічний університет

У статті розглянуто новий спосіб визначення висоти фотографування при дистанційному зондуванні, заснований на застосуванні частотного методу світловіддалеметрії з подвоєнням частоти відбитих сигналів, що приймаються, які по чергово випромінюються та відбиваються. Завдяки високій точності методу маємо можливість на порядок знизити частоту випромінювання у порівнянні з фазовими віддалемірами. За рахунок введення контрольованих коливань висоти виконується частотне сканування по висоті, при цьому фіксують моменти появи подвійної частоти, що дозволяє визначити координати (за допомогою GPS-приймача) та висоту носія відносно місцевості (за значенням частоти).

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ, Бурачек В.Г., Беленок В.Ю., Мамонтова Л.С. — В статье рассмотрен новый способ определения высоты фотографирования при дистанционном зондировании, который основан на применении частотного метода светодальнометрии с удвоением частоты принимаемых отраженных сигналов, поочередно излучаемых и отражаемых. Высокая точность метода дает возможность понизить частоту излучения на порядок по сравнению с фазовыми дальнометрами. За счёт введения контролируемых колебаний частоты выполняется частотное сканирование по высоте, при этом фиксируются моменты появления двойной частоты, что позволяет определить координаты (по GPS-приемнику) и высоту носителя относительно местности (по значению частоты).

METHOD FOR DETERMINATION OF THE HEIGHT OF PHOTOGRAPHING FOR REMOTE SENSING, by Burachek V.G., Belenok V.Yu., Mamontova L.S. — A new method for determining the height of photographing for remote sensing, which is based on the use of frequency method with frequency doubling of light range finder's measurements receives reflected signals are alternately emitted and reflected is considered in this article. The high accuracy of the method makes it possible to reduce the frequency of the radiation on the order of magnitude compared with the phase range finder.

Ключевые слова: дистанционные аэрокосмические методы; светодальномер; измерение высоты; частотные и фазовые измерения.

Key words: remote sensing methods; light range finder; height measurement; frequency and phase measurement.

Визначення висоти фотографування має велике значення для одержання високої точності цифрового фотограмметричного знімання. Існуючі методи визначення висоти фотографування мають недостатню точність в аспекті перспективи підвищення точності знімання, особливо великих масштабів. Дана ситуація обумовлює актуальність створення методу визначення висоти фотографування з підвищеною точністю.

З літератури відомі наступні способи визначення висоти фотографування:

- радіовисотометрування [1, 2];
- лазерна альтиметрія [3];
- методика визначення висоти за допомогою GNSS (Глобальні навігаційні супутникові системи) [4].

Загальним недоліком першого і третього способів є низька точність визначення висоти знімання (декілька метрів), другий спосіб характеризується більш високою точністю визначення висоти в даній точці ($\pm 0,3$).

Підвищення вимог до точності побудови цифрової моделі рельєфу при сучасному цифровому великомасштабному зніманні вимагає підвищення точності до визначення висоти фотографування.

Високу точність мають світловіддалемірні вимірювання, зокрема, при використанні фазового методу [5]. Однак до недоліків фазового методу слід віднести вимогу статичного (нерухомого) положення світловіддалеміра при виконанні вимірювань, що є неприйнятним для носія аерофотознімальної апаратури, який виконує експозиції під час руху.

Реалізація світловіддалемірних способів [6, 7] статичне стабільне положення світловіддалемірного приладу, що при виконанні дистанційного зондування Землі не є можливим.

Точність визначення висоти за допомогою GPS є на порядок меншою точності визначення планових координат [4].

Метою даного дослідження є розробка фізичних основ вимірювання висоти фотографування з підвищеною точністю.

Запропонований спосіб визначення висоти фотографування відноситься до області дистанційного зондування Землі, зокрема, до аерофотознімання.

Розроблений спосіб вимірювання висоти фотографування з підвищеною точністю заснований на методі фіксації подвійної частоти проходження прямих і відбитих світловіддалемірних імпульсів. Відмінною особливістю даного способу є те, що при вимірюваннях виконують коливання частоти випромінювання в межах, що відповідають діапазону очікуваних перевищень місцевості знімання, при цьому фіксують висоти в моменти наявності подвійної частоти, а діапазон коливань частоти прямих імпульсів попередньо наближено визначають із зовнішніх джерел даних.

Результатом є підвищення точності визначення висоти фотографування та спрощення процесу вимірювань за рахунок виключення фазових вимірів.

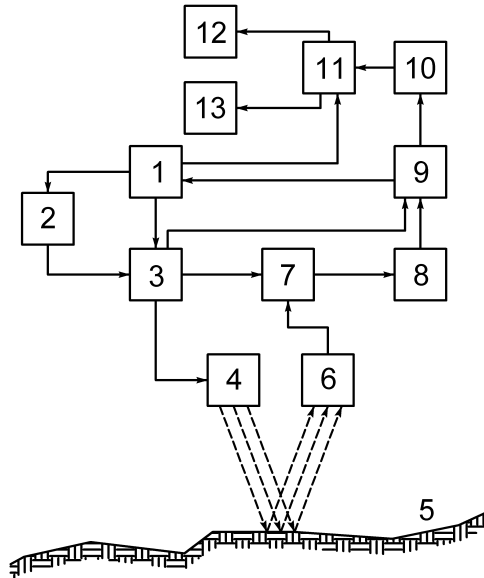


Рис. 1. Схема пристрою, що реалізує розроблений спосіб визначення висоти фотографування з підвищеною точністю

На рис. 1 представлена схема пристрою, який реалізує розроблений спосіб. Відповідними цифрами на ній позначено:

- 1 — блок управління та обробки інформації;
- 2 — блок зміни частоти;
- 3 — генератор електричних імпульсів змінної частоти;
- 4 — випромінювач світлових імпульсів;
- 5 — земна поверхня;
- 6 — оптико-електронний прийомний пристрій;
- 7 — змішувач частот;
- 8 — блок ділення частоти;
- 9 — блок порівняння частот;
- 10 — блок вимірювання частоти;
- 11 — блок обчислення висоти фотографування;
- 12 — блок індикації;
- 13 — блок запису і збереження інформації.

На рис. 1 суцільними лініями зі стрілками позначені електричні зв'язки, а штриховими лініями зі стрілками — оптичні зв'язки.

Власне висотомір (блоки 1–4, 6–13 на рис. 1) виконаний у корпусі, при роботі його встановлюють на літальному апараті.

Опис роботи даного пристрою пояснює сутність запропонованого способу і полягає в наступному. Із блоку управління та обробки інформації (блок 1) надходить сигнал про початок роботи генератора (блок 3). Генератор виробляє опорний сигнал масштабної частоти f_m і передає його у випромінювач світлових імпульсів (блок 4), який перетворює електричний сигнал від генератора і через формуючу оптику посиляє світлові імпульси такої ж частоти $f_{пр} = f_m$ з фазою прямих коливань $\theta_{пр}(t)$ у напрямку поверхні зондування (земна поверхня, позиція 5 на рис. 1).

Відбиті від поверхні зондування імпульси приймаються оптико-електронним приймальним пристроєм (блок 6), детектуються в електричний сигнал з частотою $f_{відб} = f_m$, що дорівнює масштабній, але з іншою

фазою $\theta_{\text{відб}}(t)$ та після попереднього підсилення у блоці 6 надходять у змішувач частот (блок 7). У блок 7 також надходять прямі імпульси від генератора масштабної частоти.

При прийомі прямих і відбитих імпульсів у приймальний канал будуть надходити дві однакові частоти: $f_{\text{пр}} = f_{\text{м}}$ і $f_{\text{відб}} = f_{\text{м}}$, що мають деяку різницю фаз $\Delta\theta = \theta_{\text{пр}}(t) - \theta_{\text{відб}}(t)$, яка може бути виражена в часовому проміжку (затримці) τ між моментами надходження імпульсів у змішувач ($\Delta\theta \sim \tau$). Умовою виконання вимірювань висоти у запропонованому способі визначення висоти фотографування при дистанційному зондуванні є фіксація моментів $t_{\text{ПЧ}}$, коли $\tau = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f_{\text{м}}}$, де T — період імпульсів.

Для отримання моментів $t_{\text{ПЧ}}$ блок управління 1 подає сигнал на блок зміни частоти (блок 2), який виконує колювання частоти опорного сигналу $f_{\text{м}}$, що виробляється генератором, на величину Δf в межах, які відповідають діапазону очікуваних перевищень місцевості знімання ΔH .

Діапазон очікуваних перевищень місцевості знімання ΔH визначається з додаткових зовнішніх джерел даних (за топографічними картами, цифровими моделями рельєфу, матеріалами попередніх знімків тощо).

При виконанні колювань частоти опорного сигналу $f_{\text{м}}$, що виробляється генератором, можна отримати момент часу $t = t_{\text{ПЧ},i}$, коли для поточного значення масштабної частоти $f_{\text{м}} = f_{\text{м}}(t_{\text{ПЧ},i})$ часова затримка $\tau \sim \Delta\theta$ між прямими і відбитими імпульсами, що надійшли у змішувач частот (блок 7), буде дорівнювати половині поточного періоду проходження імпульсів $T(t_{\text{ПЧ},i}) = \frac{1}{f_{\text{м}}(t_{\text{ПЧ},i})}$: $\tau = \frac{T(t_{\text{ПЧ},i})}{2} = \frac{1}{2f_{\text{м}}(t_{\text{ПЧ},i})}$, $i = \overline{1; m}$, m — кількість вимірювань висоти.

При цьому у моменти $t_{\text{ПЧ},i}$ у змішувачі (блок 7) отримують частоту проходження імпульсів $F_i = 2f_{\text{м}}(t_{\text{ПЧ},i})$, що є у два рази вищою, ніж поточна частота опорних колювань. Блок 7 передає сигнал подвійної частоти F_i у блок ділення частоти (блок 8), який ділить частоту даного сигналу і направляє сигнал зниженої таким чином вдвічі подвійної частоти $\frac{F_i}{2}$ в блок порівняння частот (блок 9). У блок 9 також надходить сигнал з генератора з частотою прямих імпульсів $f_{\text{м}}(t_{\text{ПЧ},i})$. При виконанні умови рівності частот $\frac{F_i}{2} = f_{\text{м}}(t_{\text{ПЧ},i})$ із блоку 9 у блок вимірювання частоти (блок 10) передають частотний сигнал для вимірювання значення частоти опорних імпульсів $f_{\text{м}}(t_{\text{ПЧ},i})$, на якій було зафіксовано появу подвійної частоти. Виміряне значення частоти передається до блоку обчислення висоти фотографування (блок 11), в якому визначається висота фотографування за формулою:

$$H = \frac{V \cdot n}{2F}, \quad (1)$$

при цьому середнє значення висоти фотографування для ділянки місцевості визначається за формулою:

$$H = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{V \cdot n_i}{2F_i}, \quad (2)$$

де m — кількість вимірювань висоти; V — швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль у даному середовищі; n — ціле непарне число, яке дорівнює кількості довжин хвиль подвійної частоти F , що вкладаються у вимірювану відстань (визначається за грубим датчиком, наприклад, радіовисотоміром).

З блоку 11 обчислене значення висоти фотографування H передається до блоків 12 (блок індикації) і 13 (блок запису і збереження інформації).

Диференціюванням виразу (2) отримуємо формулу для середньої квадратичної похибки визначення висоти фотографування:

$$\sigma_H = \frac{n}{2} \sqrt{\left(V \frac{\sigma_F}{F^2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{F}\right)^2}. \quad (3)$$

З формули (3) видно, що перша складова похибки характеризує високу точність визначення висоти H , яка залежить від частоти F .

У роботі [5] наведені величини відносних похибок визначення швидкості світла та вимірювання частоти при світловіддалемірних вимірах, які становлять: $\frac{\sigma_V}{V} = 0,7 \cdot 10^{-6}$, $\frac{\sigma_f}{f} \leq 3 \cdot 10^{-7}$. Використовуючи довжину хвилі $\lambda = 300$ м (частота складатиме $f \approx 1$ МГц), отримуємо значення першої складової похибки σ_H : $\sigma_H(F) = \frac{V}{F} \left(\frac{\sigma_F}{F}\right) \approx 0,09$ мм.

Тобто при достатньо невеликому значенні частоти F отримуємо величину похибки, якою можна знехтувати.

Друга складова формули (3) $\frac{\sigma_V}{F}$ являє собою частину довжини хвилі випромінювання λ , отриману як добуток λ на відношення середньої квадратичної похибки оцінки швидкості розповсюдження променів у земній атмосфері до швидкості світла, яка приймається в геодезії рівною $10^{-6} \div 10^{-7}$ (або $0,7 \cdot 10^{-6}$ згідно [5]). Тоді, $\sigma_H(V) = \lambda \frac{\sigma_V}{V} \approx 0,7 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda$ м, що при $\lambda = 300$ м складає 0,21 мм.

Підставивши отримані значення складових похибок σ_H у формулу (3), отримуємо: для $H = 1000$ м — $\sigma_H = 0,58$ мм, для $H = 3000$ м — $\sigma_H = 1,74$ мм.

Таким чином, розроблений спосіб визначення висоти фотографування при дистанційному зондуванні дозволяє суттєво підвищити точність визначення висоти фотографування і є доволі перспективним.

1. *Лаврова Н.П., Алмазов И.В., Прилепский А.Н.* Аэрофотосъемка. Автоматизация аэрофотосъемочных процессов. — М.: Недра, 1985. — 256 с.
2. *Савиных В.П., Кучко А.С., Стеценко А.Ф.* Аэрокосмическая фотосъемка. — М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 1997. — 378 с.
3. *Дорожинський О.Л., Тукай Р.* Фотограмметрія: Підручник. — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. — 332 с.
4. *Стеценко А.Ф., Бродская И.А., Горин С.И.* Применение глобальных навигационных спутниковых систем при выполнении аэросъемочных работ и оценка качества залета по результатам бортовых измерений // Известия высших учебных заведений. Раздел геодезия и аэрофотосъемка. — 2011. — № 5. — С. 46–53.
5. *Костецька Я.М.* Геодезичні прилади. Частина 2. Електронні геодезичні прилади. — Львів: ІЗМН, 2000. — 324 с.
6. Патент України на винахід № 94154, МПК G01C 3/08 (2006.01). Спосіб світловіддалемірних вимірювань / Беленок В.Ю., Бурачек В.Г., Малік Т.М., Параніч В.П.; заявник та патентовласник Коледж інформаційних технологій та землепорядкування НАУ. — № а200909306; заявл. 10.09.2009; опубл. 10.03.2011, бюл. № 5.
7. Патент України на винахід № 86917, МПК (2009) G01S 13/00. Спосіб світловіддалемірних вимірювань / Боровий В.О., Бурачек В.Г., Куреньов Ю.П., Мамонтова Л.С.; заявник та патентовласник Чернігівський державний інститут економіки та управління. — № u200707137; заявл. 25.06.2007; опубл. 25.12.2008, бюл. № 24.

Надійшла до редакції 21.11.2014