



УКРАЇНА

(19) UA (11) 19565 (13) U
(51) МПК (2006)
G03B 37/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ПОБУДОВИ ПАНОРАМНОГО ФОТОГРАМЕТРИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ

1

2

(21) u200607578

(22) 07.07.2006

(24) 15.12.2006

(46) 15.12.2006, Бюл. № 12, 2006 р.

(72) Луньов Андрій Олександрович, Могильний
Сергій Георгійович

(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб побудови панорамного фотограмметричного зображення, що включає використання декількох знімків, виконаних з однієї точки простору шляхом повороту камери в горизонтальному і вертикальному напрямках, який **відрізняється** тим, що їх з'єднують в еквівалентне панорамне зображення на основі точок, розташованих в областях перекриття суміжних знімків на основі вираження:

$$\left. \begin{aligned} f \frac{a_1^{(i)} x_k^{(i)} + a_2^{(i)} y_k^{(i)} + a_3^{(i)} f}{c_1^{(i)} x_k^{(i)} + c_2^{(i)} y_k^{(i)} + c_3^{(i)} f} - f \frac{a_1^{(j)} x_k^{(j)} + a_2^{(j)} y_k^{(j)} + a_3^{(j)} f}{c_1^{(j)} x_k^{(j)} + c_2^{(j)} y_k^{(j)} + c_3^{(j)} f} = 0 \\ f \frac{b_1^{(i)} x_k^{(i)} + b_2^{(i)} y_k^{(i)} + b_3^{(i)} f}{c_1^{(i)} x_k^{(i)} + c_2^{(i)} y_k^{(i)} + c_3^{(i)} f} - f \frac{b_1^{(j)} x_k^{(j)} + b_2^{(j)} y_k^{(j)} + b_3^{(j)} f}{c_1^{(j)} x_k^{(j)} + c_2^{(j)} y_k^{(j)} + c_3^{(j)} f} = 0 \end{aligned} \right\}$$

де $x_k^{(i)}, y_k^{(i)}$ і $x_k^{(j)}, y_k^{(j)}$ - координати точок на і та j знімках відповідно;

$a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, \dots, c_3^{(i)}$ і $a_1^{(j)}, a_2^{(j)}, \dots, c_3^{(j)}$ - направляючі косинуси відповідно і та j знімків, обчислені по їх кутах повороту відносно осей панорамного знімка, причому необхідна наявність не менше однієї камери.

Корисна модель відноситься до області фотограмметрії з близьких відстаней при наземній зйомці і може бути використана в геодезичному виробництві при фотографуванні фасадів будинків і споруджень, а також у маркшейдерському виробництві на відкритих гірських роботах.

Відомий спосіб побудови панорамного фотограмметричного зображення [патент US 6.704.460 B1 «Remote mosaic imaging system having high-resolution, wide field-of-view and low bandwidth» - (Дистанційна система побудови мозаїчного низькочастотного зображення, що має високу роздільну здатність і широке поле огляду), кл. G03B37/04, публ. 09.03.2004] заснований на використанні відеокамер і виводі отриманого зображення на екрані монітора. Отримані знімки на екрані монітора єднаються в одне загальне відеозображення, що обробляється як єдине ціле.

Аналог не дозволяє одержувати точність достатню для більшості фотограмметричних робіт, що викликано нецентральною проекцією передачі зображення при відеозйомці.

Найбільш близьким аналогом є спосіб побудови панорамного фотограмметричного зображення цифровими аерофотокамерами [Публікація на XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul,

Turkey, Commission 1, pp. 501-506 - Make wide-angled aerial camera by combining small-sized areal array CCD sensors - Побудова ширококутової аерофотокамери шляхом об'єднання декількох малих CCD-матриць (від англ. ПЗЗ - прилад із зарядовим зв'язком)]. Система будується на об'єднанні декількох (3-4) відкаліброваних камер в один вузол з відомими значеннями елементів взаємного орієнтування, на підставі яких отримані зображення з кожної камери поєднуються в єдиний знімок. Побудова панорамного фотограмметричного зображення з використанням найбільш близького аналога камери розташовуються таким чином, щоб їхні точки фотографування утворювали лінію для 3-х камер або квадрат для 4-х камер. У випадку з 3-мя камерами середня оптична вісь розташовується вертикально щодо поверхні фотографування, а сусідні осі відхилені від неї на деякий кут нахилу в одну й іншу сторону відповідно. Для 4-х камер всі оптичні осі відхилені симетрично щодо центральної мнимі осі. Це дозволяє в першому випадку збільшити кут полю зору камер у три рази по напрямку осі X і залишити без зміни кут полю зору по напрямку осі Y. Для 4-х камерної системи кут полю зору по напрямку обох осей збільшується в два рази. Камери в описуваній моделі розташовані і

UA (19) 19565 (11) (13) U

закріплені на спеціальній платформі, на якій також мається командний модуль, що стежить за синхронізацією експозиції. Для її фотограмметричного застосування виконується калібрування, при якому визначаються і коректуються значення елементів внутрішнього орієнтування (фокусна відстань і координати головної точки), елементи взаємного орієнтування камер у модулі (кути нахилу і координати точок фотографування в системі модуля), а також додаткові параметри, що враховують помилки, викликані впливом оптичної дісторсії.

Найбільш близький аналог способу побудови панорамного фотограмметричного зображення в силу жорсткого кріплення камер на платформі не дозволяє гнучко змінювати форму і кількість знімків у ньому. Необхідність викликана тим, що в залежності від умов фотографування і форми об'єкта, що знімається, доцільно мобільно регулювати ці характеристики. Виконання невід'ємної частини фотограмметричних знімальних робіт - калібрування знімальної апаратури - у розглянутій моделі передбачається в два етапи: калібрування всіх об'єктивів пристрою і калібрування з метою визначення елементів взаємного орієнтування камер однієї щодо іншої на платформі.

Ознаки, що збігаються з істотними ознаками корисної моделі, що заявляється:

- використовують декілька знімків;
- знімки виконані з однієї точки простору шляхом повороту камери в горизонтальному і вертикальному напрямках.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу побудови панорамного фотограмметричного зображення за рахунок об'єднання декількох суміжних знімків, виконаних з однієї точки простору, що приведе до одержання технічного результату - збільшення області зображення, що знімається, без утрати точності виконання фотограмметричних робіт.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомому способі, що включає використання декількох знімків, виконаних з однієї точки простору шляхом повороту камери в горизонтальному і вертикальному напрямках відповідно до корисної моделі поєднують в еквівалентне панорамне зображення на підставі точок, розташованих в областях перекриття суміжних знімків на підставі вираження:

$$\left. \begin{aligned} f \frac{a_1^{(i)}x_k^{(i)} + a_2^{(i)}y_k^{(i)} + a_3^{(i)}f}{c_1^{(i)}x_k^{(i)} + c_2^{(i)}y_k^{(i)} + c_3^{(i)}f} - f \frac{a_1^{(j)}x_k^{(j)} + a_2^{(j)}y_k^{(j)} + a_3^{(j)}f}{c_1^{(j)}x_k^{(j)} + c_2^{(j)}y_k^{(j)} + c_3^{(j)}f} = 0 \\ f \frac{b_1^{(i)}x_k^{(i)} + b_2^{(i)}y_k^{(i)} + b_3^{(i)}f}{c_1^{(i)}x_k^{(i)} + c_2^{(i)}y_k^{(i)} + c_3^{(i)}f} - f \frac{b_1^{(j)}x_k^{(j)} + b_2^{(j)}y_k^{(j)} + b_3^{(j)}f}{c_1^{(j)}x_k^{(j)} + c_2^{(j)}y_k^{(j)} + c_3^{(j)}f} = 0 \end{aligned} \right\}$$

де $x_k^{(i)}, y_k^{(i)}$ і $x_k^{(j)}, y_k^{(j)}$ - координати точок на і-том та j-том знімках відповідно;

$a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, \dots, c_3^{(i)}$ і $a_1^{(j)}, a_2^{(j)}, \dots, c_3^{(j)}$ - направляючі косинуси відповідно і-того та j-того знімків, обчислені по їх кутах повороту відносно осей панорамного знімка, причому необхідно наявність не менш однієї камери.

Зазначені ознаки складають суть корисної мо-

делі, тому що є необхідними і достатніми для досягнення технічного результату - збільшенні області зображення, що знімається, без утрати точності виконання фотограмметричних робіт.

Причинно-наслідковий зв'язок ознак, що складають суть корисної моделі і технічного результату, що досягається, пояснюється наступним.

Приклад 1.

На фігурі 1 показана схема фотографування з використанням технології побудови панорамного фотограмметричного зображення. На фігурі 2 показано збільшений фрагмент частини схеми з фігурі 1.

Спосіб реалізується наступним чином.

З базису фотографування 1, що визначає розташування лівої 2 і правої 3 точок фотографування, виконувалася зйомка об'єкта гірських робіт 4 - кар'єр на Докучаєвському флюсо-доломітному комбінаті. Дальність до об'єкта зйомки в середньому складала 850м. З кожної точки фотографування виконувалося по три знімки, відповідно позиції 5 і 6. Отримані групи знімків оброблялися на цифровий фотограмметричний станції (кожна група окремо) у наступному порядку. Вимірялися координати відповідних точок 7, розташованих у зонах перекриття суміжних знімків, у системі координат кожного знімка. Подальша обробка велася на підставі принципу: якщо та сама точка об'єкта зобразилася на двох різних вихідних знімках однієї групи, те відповідні координати її зображення на панорамному знімку, отримані з двох знімків збігаються, тобто виконується наступне рівняння:

де $x_k^{(i)}, y_k^{(i)}$ і $x_k^{(j)}, y_k^{(j)}$ - координати точок на і-том та j-том знімках відповідно;

$a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, \dots, c_3^{(i)}$ і $a_1^{(j)}, a_2^{(j)}, \dots, c_3^{(j)}$ - направляючі косинуси відповідно і-того та j-того знімків, обчислені по їх кутах повороту відносно осей панорамного знімка.

Такі рівняння, склалися для всіх пар відповідних точок у зонах перекриття знімків однієї групи. Після лінеаризації рівнянь була отримана система лінійних рівнянь, яку можна записати як

$$(A^T \cdot A) \cdot \Delta - A^T \cdot L = 0,$$

де A - матриця коефіцієнтів складених рівнянь; A^T - транспонована матриця коефіцієнтів; Δ - вектор-стовпець поправок в кутові елементи орієнтування знімків в групі; L - вектор вільних членів.

Система рівнянь вирішувалася методом найменших квадратів при виконанні умови

$$\Delta^T \cdot \Delta = \min.$$

Отримане рішення є кути нахилу всіх знімків групи відносно панорамного знімка. Іншими словами при рішенні системи рівнянь було знайдено таке положення панорамного знімка, при якому

кути нахилу всіх знімків групи щодо нього були мінімальними. По отриманих кутах нахилу знімків у групі на підставі алгоритму зворотного трансформування будувалося кінцеве панорамне зображення. Тобто для кожного пікселя на панорамному зображенні знаходилося його колірне значення на вихідних знімках. Для другої групи знімків був виконаний такий же набір операцій. У підсумку виконання процесу обробки було отримано два панорамних зображення 8 і 9, відповідно для лівої 3 і правої 4 точок фотографування. Подальша обробка велася зі стереопарою - двома панорамними зображеннями. У системі координат кожного з них вимірялися координати опорних точок 10 - жорстко закріплені на поверхні об'єкта, що знімається, пункти, геодезичні координати яких визначені заздалегідь з достатньою точністю. Для отриманих вимірів складалися рівняння колінеарності. Після їхньої лінеаризації була отримана система рівнянь, рішення якої було виконано параметричним способом на підставі методу найменших квадратів. У результаті були отримані координати точок

фотографування і кути нахилу кожного панорамного знімка в геодезичній системі координат (у системі координат жорстких пунктів). Це дало можливість оцінити точність сформованих панорамних зображень.

Приклад 2.

При фотографуванні об'єкта гірських робіт 4 було досить виконати по трьох знімках з кожної точки для його повного покриття. Для дослідження точності панорамних зображень у залежності від кількості вхідних у них знімків було виконане наступне. З кожної точки фотографування було знято по 25 знімків. Обробка виконувалася аналогічно приведеної в прикладі 1 схемі. Мірою точності виступало фактичне відхилення координат опорних пунктів від координат цих же пунктів, переобчислених у геодезичну систему після виміру на панорамним зображенні. Для оцінки в більшості використувалися точки, що потрапили на край панорамних зображень. Результати оцінки точності показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Залежність точності координат на панорамному зображенні від кількості використовуваних знімків

№	Знімків по горизонталі	Знімків по вертикалі	Фактич. відхил. на краю панор. знімка	Примітка
1	2	3	4	5
1	2	2	9-12 см	Висока точність, але незначне збільшення кута поля зору
2	3	2	до 15 см	Схема придатна для зйомки горизонтально витягнутих об'єктів
3	2	3	до 14 см	Схема придатна для зйомки вертикально витягнутих об'єктів
4	3	3	до 16см	Максимальний розмір кута поля зору в обох напрямках. Оптимальне значення співвідношення кута поля зору і точності координат
5	4	4	30-40 см	Невисока точність при великому куті поля зору, може застосовуватися для таких видів робіт, де не потрібна висока точність.
6	5	5	не більш 2 м	Великі значення помилок. В геодезичному і маркшейдерському виробництві застосовуватися не може.

Таким чином, у результаті ведення наземної фотограмметричної зйомки за допомогою запропонованого способу можна скоротити кількість точок фотографування і при цьому цілком покрити знімками об'єкт, що знімається. Використання панорамних знімків дозволяє виконувати зйомку при

максимальному значенні фокусної відстані камери, тобто, коли вплив помилок, викликаних оптичною дісторсією об'єктива, стає мінімальним. Скорочення кількості точок фотографування дозволяє в камеральних умовах скоротити необхідний час для їхньої математичної обробки.

