



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103491** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G01C 21/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

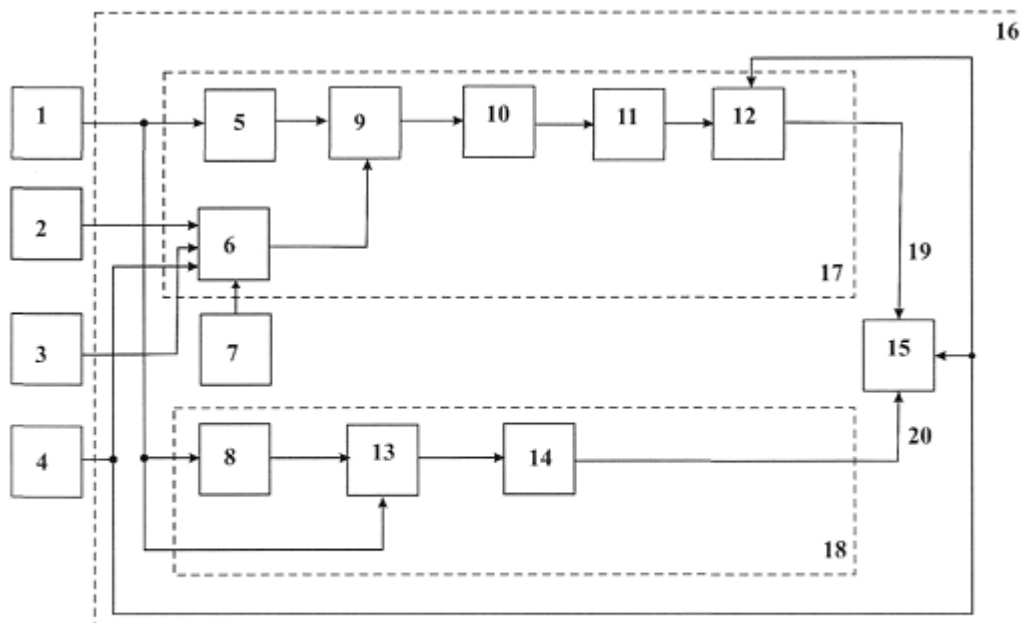
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 01422	(72) Винахідник(и): Харченко Володимир Петрович (UA), Мухіна Марина Петрівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.02.2015	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.12.2015	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.12.2015, Бюл.№ 24	

(54) ВІЗУАЛЬНА КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА

(57) Реферат:

Візуальна кореляційно-екстремальна навігаційна система містить блок комплексування інформації, інерціальну навігаційну систему (ІНС), магнітний компас, баровисотомір та камеру. Містить блок абсолютної навігації, який обчислює географічні координати, блок відносної навігації, який визначає складові лінійних швидкостей, базу даних геоінформаційної системи (ГІС), яка містить супутникові ортофотознімки земної поверхні з відповідними навігаційними даними.



Фіг. 1

UA 103491 U

Корисна модель належить до галузі автономних навігаційних засобів, зокрема класу кореляційно-екстремальних навігаційних систем (КЕНС), що ґрунтуються на однозначній відповідності розподілення аномального геофізичного поля певній ділянці земної поверхні.

Відома візуальна навігаційна система призначена для тримірного позиціонування об'єктів на поверхні за інформацією від декількох камер. Також система забезпечує візуальну однометрію за інформацією про положення об'єкта від декількох камер з відомим взаємним розташуванням. Крім цього система може ідентифікувати та позиціонувати характерні орієнтири на зображенні та проводити кореляційне порівняння з попередньо відомими з бази даних. Система є інтегрованою з такими навігаційними системами як інерціальна навігаційна система (ІНС) та супутникова навігаційна система (СМС) для підвищення достовірності даних та комплексної обробки даних.

Відома візуальна навігаційна система призначена для визначення орієнтації та напрямку руху об'єкта за зображенням, отриманим уздовж руху. Отримане зображення попередньо обробляється для компенсації кутів камери та уніфікується перед відправкою зображення на сервер. Орієнтація визначається шляхом порівняння отриманого зображення з еталонними з відомими координатами. Напрямок руху отримується через відстеження орієнтації об'єкта на серії кадрів.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення точності навігації, забезпечення автономності та є альтернативним варіантом комплексування ІНС за рахунок використання у складі візуальної КЕНС блоків відносної та абсолютної навігації, блок комплексування інформації та базу даних геоінформаційної системи (ГІС), що містить супутникові ортофотознімки земної поверхні з відповідними навігаційними даними. Вказані блоки дозволяють обчислювати географічні координати об'єкта та складові лінійних швидкостей за відеоданими та відповідно забезпечувати комплексування інформації від ІНС, що потребує корекції від зовнішніх джерел.

Поставлена задача вирішується тим, що візуальна кореляційно-екстремальна навігаційна система, яка містить блок комплексування інформації, інерціальну навігаційну систему (ІНС), магнітний компас, баровисотомір та камеру, згідно з корисною моделлю, містить блок абсолютної навігації, який обчислює географічні координати, блок відносної навігації, який визначає складові лінійних швидкостей, базу даних ГІС, яка містить супутникові ортофотознімки земної поверхні з відповідними навігаційними даними.

Пропонована візуальна КЕНС (Фіг. 1) містить такі наступні елементи: стандартні навігаційні датчики - магнітний компас 2, баровисотомір 3, ІНС 4, та додатково - відеокамеру 1. Інформація від датчиків надходить у бортовий обчислювач 16, що містить базу даних ГІС 7, блоки абсолютної 17 та відносної 18 навігації, блок комплексування інформації 15.

ІНС видає інформацію про географічні координати об'єкта - широту φ та довготу λ , що у загальному випадку спотворені зростаючою у часі похибкою. Ці дані використовуються для вибору еталонного знімку 21 з бази даних ГІС з заданою величиною початкової невизначеності R_{Σ} у вигляді регіону на земній поверхні, що здійснюється у блоці вибору знімків за апіорною інформацією 6. Після вибору знімку проводиться його масштабування за інформацію про поточну висоту польоту від баровисотоміра 3 H та обертання на поточний курс польоту ψ за даними від магнітного компасу 2. У результаті отримуємо ректифіковане зображення більшого розміру, ніж поточне зображення від відеокамери 1 (Фіг. 2).

Відеокамера 1 з відомими у процесі калібрування технічними характеристиками (елементи внутрішнього та зовнішнього орієнтування) видає відеоряд, що надходить у блоки абсолютної 17 та відносної 18 навігації. У блоці абсолютної навігації 17 кадр надходить спочатку до блока попередньої обробки відео 5, де відбувається його фільтрація та сегментація. Сегментоване зображення, в якому виділеними є границі (краї) з відповідними дескрипторами (детектор кутів Харріса) надходить до кореляційного блока 9. Тут відбувається зіставлення пари зображень - еталонного та поточного, шляхом мінімізації середнього ризику, який визначається за наступною формулою:

$$\begin{aligned}
 R &= \min [P(dx, dy, \psi, S)\delta] = \\
 &= \int_{dx1}^{dx2} \int_{dy1}^{dy2} \int_0^{2\pi} d\psi \int_{S1}^{S2} dS \int_{\Gamma} d\gamma \int_{\Omega1}^{\Omega2} df (F_1, F_2 | dx, dy, \psi, S) \times \\
 &\times C(\gamma, F_1, F_2) P(dx, dy, \psi, S) \delta(\gamma | F_1, F_2)
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $P(dx, dy, \psi, S)$ - апіорна функція щільності ймовірності, $f(F_1, F_2 | dx, dy, \psi, S)$ - умовний розподіл ймовірностей, F_1, F_2 - поточне і еталонне зображення, Ω_1, Ω_2 - варіанти можливих реалізацій F_1, F_2 ; $\delta(\gamma | F_1, F_2)$ - умовна ймовірність прийняття рішення γ на основі порівняння зображень F_1, F_2 , $C(\gamma, F_1, F_2)$ - функція втрат, що може бути прийнята в наступному вигляді

5

$$C(\gamma, F_1, F_2) = [F_1(x, y) - F_2(x_\gamma, y_\gamma)]^2, \quad (2)$$

Функція (2) мінімізується у блоці-оптимізаторі 10, на вихід якого надходить поточне зображення та найбільш близьке до нього еталонне, вибране із бази даних.

У фотограмметричному блоці 11 проводиться розв'язання колінеарних рівнянь.

10

Зокрема вводяться наступні системи координат (Фіг. 3): геоцентрична система координат (індекс ECEF-Earth-centered, Earth-fixed), геотопічна прямокутна (індекс NED-North-East-Down), зв'язана прямокутна система координат (індекс b-body-fixed), система координат камери (індекс c - camera), система координат зображення (без індексу).

Однакові точки на двох зображеннях пов'язані між собою через співвідношення

15

$$p_2 \propto H p_1, \quad (3)$$

де H - матриця гомографії 3×3 .

Зміни положення та орієнтації камери для двох зображень можна знайти за рахунок факторизації матриці гомографії:

20

$$H = C \left(R_{c1}^{c2} + \frac{1}{\tau} T_{c2} n_{c1}^T \right) C^{-1} a, \quad (4)$$

де матриця C - матриця калібровки камери, T_{c2} - вектор переносу в системі координат камери на 2-му зображенні, R_{c1}^{c2} - матриця обертання камери з 1-го до 2-го зображення, n_{c1} - одиничний вектор нормалі до площини, що спостерігається камерою на 1-му зображенні, τ - глибина зображення 1-го зображення.

25

Для узгодження розмірностей матриць при множенні, матриці та вектори (координати точок) отримують четверту складову (1) або рядок (0 0 0 1).

Матриця гомографії знаходиться за допомогою характерних особливостей, що відстежуються з кадру в кадр. Для прямого лінійного перетворення матриця знаходиться при мінімумі 4-х точок (колініарних). Рівняння (4) спрощується до наступного

30

$$T_{NED} n_{NED}^T = \tau \left(\left(R_{NED}^{c2} \right)^T C^{-1} H C \left(R_{c1}^{NED} \right)^T - 1 \right), \quad (5)$$

де T_{NED} - вектор переміщення камери в навігаційній геотопічній СК, R_{NED}^{c2} - матриця обертання з навігаційної геотопічної СК в СК камери на другому кадрі, і відповідно R_{c1}^{NED} - матриця обертання з СК камери на першому кадрі в навігаційну геотопічну СК.

35

Матриці обертання R_{NED}^{c2} і R_{c1}^{NED} розраховуються за інформацію від ІНС 4. Глибина зображення τ може обчислюється за інформацією від бортового вимірювача висоти 3.

Загальне перетворення координат від СК зображення до геотопічної навігаційної СК у блоці перетворення координат 12 буде таким:

40

$$p = [C \cdot B]^{-1} \tau q, \quad (6)$$

де матриця C є матрицею калібровки камери, τ - глибина зображення, а вектори q та p є координатами точки 19 у СК камери та геотопічній СК, що видаються до блока комплексування інформації 15.

$$B = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta & d_x \\ \sin \gamma \sin \theta \cos \psi - \cos \gamma \sin \psi & \sin \gamma \sin \theta \sin \psi + \cos \gamma \cos \psi & \sin \gamma \cos \theta & d_y \\ \cos \gamma \sin \theta \cos \psi + \sin \gamma \sin \psi & \cos \gamma \sin \theta \sin \psi + \sin \gamma \cos \psi & \cos \gamma \cos \theta & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

У блоці відносної навігації 18 відбувається зберігання попереднього кадру зображення для його співставлення з поточним (через блок затримки 8) у кореляційному блоці 13. Обраховується за аналогічним принципом детектори кутів Харріса та за формулою (5) добуток у лівій частині має розмірність 3×3 :

$$\begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_x \\ 0 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & d_z \end{bmatrix}.$$

При відомих складових правої частини рівняння (5) обчислюються d_x , d_y у блоці візуальної одометрії 14, які перераховуються у геотопічну СК та, відповідно, на виході отримуємо складові лінійних швидкостей об'єкта 20.

У блоці комплексування інформації 15 відбувається сумісна обробка даних від ІНС 4 та блоків візуальної абсолютної 17 та відносної 18 навігації за розділеною гаусівською точковою фільтрацією нелінійної частини та калманівською фільтрацією лінійних складових.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Візуальна кореляційно-екстремальна навігаційна система, яка містить блок комплексування інформації, інерціальну навігаційну систему (ІНС), магнітний компас, баровисотомір та камеру, яка **відрізняється** тим, що містить блок абсолютної навігації, який обчислює географічні координати, блок відносної навігації, який визначає складові лінійних швидкостей, базу даних геоінформаційної системи (ГІС), яка містить супутникові ортофотознімки земної поверхні з відповідними навігаційними даними.

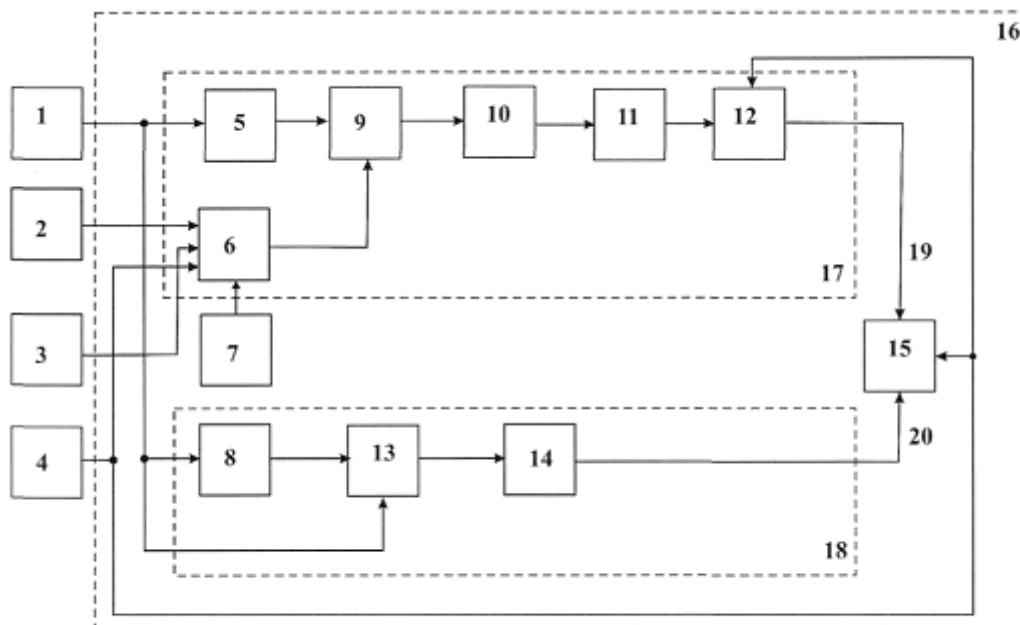
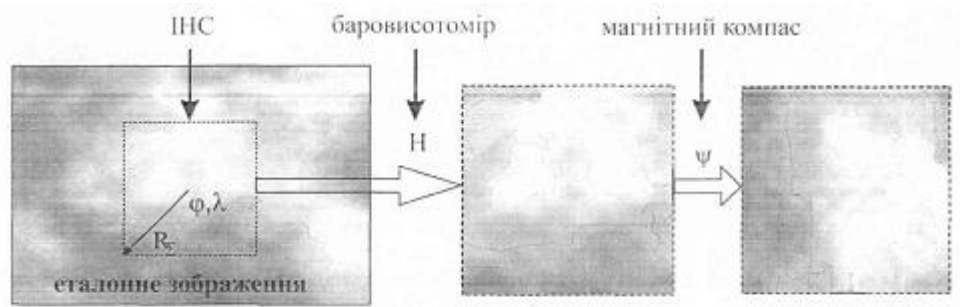
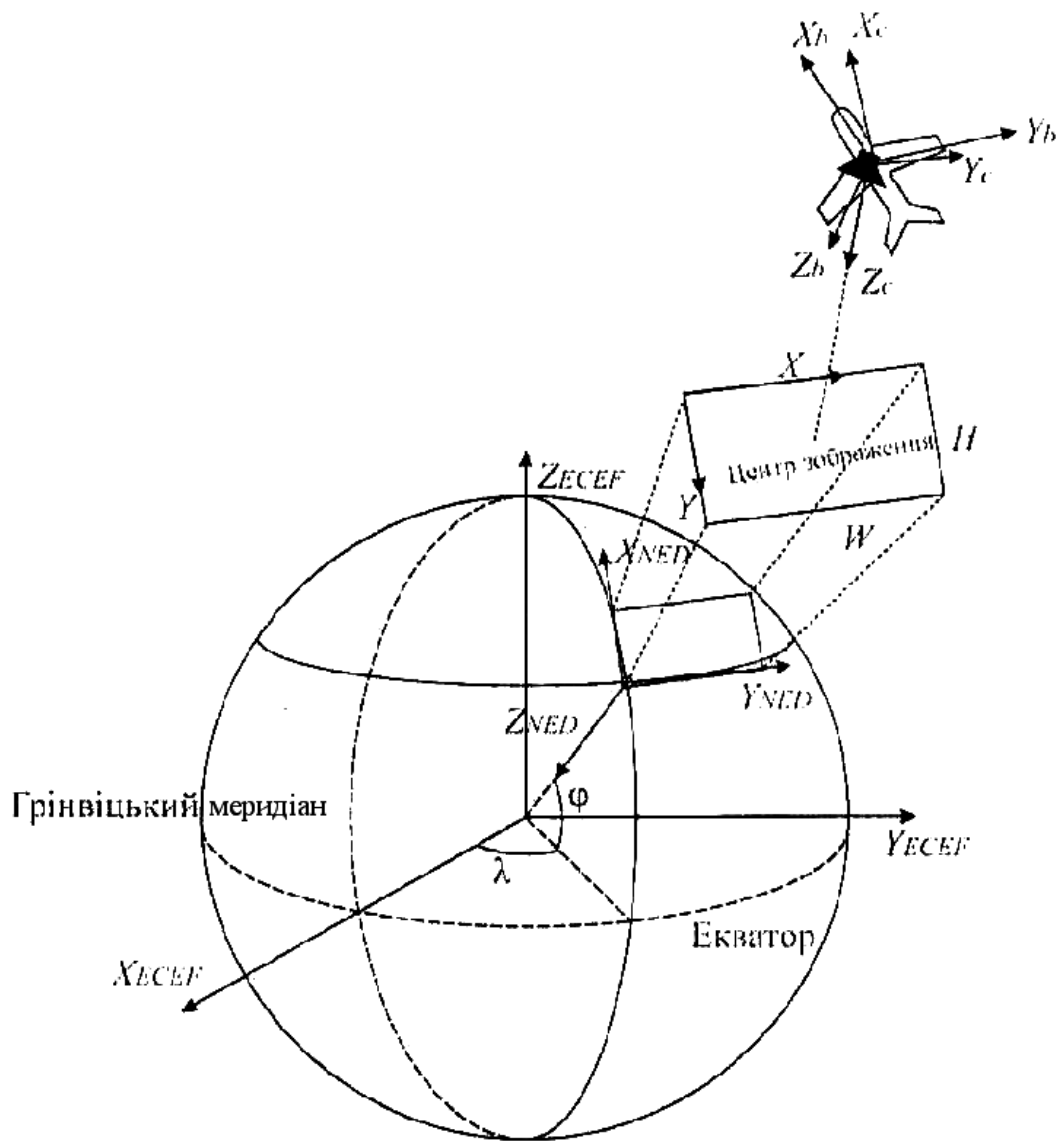


Fig. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601