

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ НАВІГАЦІЇ МАЛОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ЗА ОПТИЧНИМ ПОЛЕМ ЗЕМЛІ В УМОВАХ ПРОПАДАННЯ СИГНАЛІВ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Під час виконання польотів малого безпілотною літального апарата за маршрутом часто виникають ситуації, коли через вплив засобів радіоелектронної боротьби пропадають сигнали супутникових радіонавігаційних систем, що призводить до суттєвого погіршення якості навігації. Для цього випадку в статті запропоновано технологію навігації малого безпілотною літального апарата за оптичним полем Землі на основі бортової камери видимого діапазону. Технологія базується на відомому принципі зіставлення знімка з еталонною картою. Однак створення еталонної карти ведеться за встановленим маршрутом польоту на основі попередньої обробки інформації з геоінформаційних сервісів зі збереженням сітки контурів об'єктів, прив'язаних до обраної системи координат. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити об'єм інформації, що необхідно зберігати на борту малого безпілотною літального апарата. Під час виконання польоту малого безпілотною літального апарата в разі пропадання сигналів супутникових радіонавігаційних систем отримані знімки з бортової камери оброблюються та порівнюються з еталонною картою, за рахунок чого і здійснюється визначення координат літального апарата. Одержані результати підтверджують працездатність інформаційної технології.

Ключові слова: малий безпілотною літальний апарат, навігація, маршрут, сигнал, супутникова радіонавігаційна система.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Беззаперечні переваги сучасних безпілотною літальних апаратів (БПЛА) спричинили їхню інтенсивну розробку й масове застосування в провідних країнах світу, а наукові досягнення у сфері мікро- і нанотехнологій надали можливості технічної реалізації малих безпілотною літальних апаратів (МБПЛА). Останні мають значно обмежені масогабаритні й енергетичні показники, ніж великі БПЛА, що і зумовлює особливості їх розробки та застосування. Так, наприклад, указані обмеження не дозволяють розмістити на борту повний спектр навігаційної апаратури, що може застосовуватися для визначення місцеположення літального апарата. Як правило, для розв'язання навігаційної задачі в МБПЛА використовують мікромеханічні чи мікроелектронні датчики, що мають невисоку точність та ефект накопичення помилок з часом [1]. Для усунення ефекту накопичення помилок за опорні використовують сигнали глобальних супутникових радіонавігаційних систем (GPS і ГЛОНАСС тощо). Однак, у разі пропадання таких сигналів (наприклад, подавлення сигналу засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ)), безпечна навігація МБПЛА стає фактично неможливою. Тому тема роботи, направлена на розробку інформаційної технології навігації МБПЛА в умовах пропадання сигналів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС), є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розв'язанню питань навігації БПЛА присвячено велику кількість публікацій, у яких у тому числі запропоновано використання оптичних полів. Це як класичні підходи, описані в [2], так і більш сучасні [3–5], у разі застосування яких навігація за оптичним полем розглядається як інформаційна технологія «машинного зору». Зазначені підходи досить добре опрацьовані в теоретичному плані, але під час їх практичної реалізації потребують великих об'ємів пам'яті та потужних обчислювальних ресурсів, що є критичним для МБПЛА.

Окремо можна виділити і робототехнічний підхід до навігації з одночасним картуванням місцевості (SLAM), у рамках якого було багато спроб розв'язання схожої задачі [7, 8]. Загальна постановка задачі SLAM у цілому збігається з необхідною, але розв'язується вона в основному на площині, в обмежених приміщеннях і з використанням лазерних дальномірів, що на даний час неприйнятно для МБПЛА.

Формулювання завдання дослідження. Метою цієї роботи є розробка інформаційної технології навігації МБПЛА за оптичним полем Землі в умовах пропадання сигналів СРНС та типових обмежень малих літальних апаратів. Сформулюємо загальну постановку завдання.

Дано: МБПЛА, що отримує планове зображення місцевості за допомогою камери у видимому діапазоні.

На кожному МБПЛА є бортова інерціальна навігаційна система (БІНС), помилки якої швидко накопичуються.

Робота приймачів супутникових глобальних радіонавігаційних систем порушена частково чи повністю.

Необхідно: скоректувати показання ІНС шляхом порівняння відеозображення з картою місцевості та продовжити рух за заданою програмою.

Виклад основного матеріалу. Для розв'язання цієї задачі будемо використовувати геоінформаційні технології та технології «машинного зору».

З технічного погляду проблема використання цих технологій для навігації МБПЛА формулюється в такий спосіб [4]:

необхідно зіставити поточне й еталонне зображення з подальшою локалізацією на поточному заданих об'єктів сцени і визначенням значень їх поточних координат з метою формування сигналів управління рухом літального апарата та використання:

існуючої апріорної інформації про розглянуту сцену (ділянку земної поверхні (ЗП)), що включає тип і кількість її об'єктів, їх взаємне розташування, геометричні та яскравісні характеристики, що дозволяє побудувати її еталонне зображення;

апостеріорної інформації про сцену, що спостерігається в процесі польоту (умови її спостереження, характеристики сенсорних датчиків і їх помилки та ін.), що є поточним зображенням на виході бортового сенсора (камери) у тому чи іншому спектральному діапазоні.

При цьому поняття «еталонне зображення» («еталонна карта») може розглядатися в найширшому сенсі: безпосередньо 2D чи 3D зображення, геометричні моделі, вектори ознак, неформальні описи об'єктів і сцен тощо.

Істотними обмеженнями практичної можливості розв'язання сформульованої технічної проблеми є [5]:

наявність суттєвої апріорної невизначеності в інформації про об'єкти розпізнавання і сцени в цілому (неточність визначення координат об'єктів, мінливість двовимірних полів тощо);

досить малі площі поверхні, яка попадає у миттєве поле зору камери, що суттєво зменшує кількість об'єктів для розпізнавання;

наявність так званих «ізоморфних перетворень (спотворень)» поточного зображення (зміна загального рівня яскравості, масштабу, зрушення і поворот зображення відносно всіх трьох ортогональних осей і т. д.), що призводять до його просторово-часової трансформації;

наявність перешкод природного та штучного походження, зокрема повного або часткового затінення об'єктів або сцени в цілому (вплив хмар, туману, погіршення чутливості в сутінках тощо).

Виходячи зі сказаного, виділяють три основні напрямки досліджень для розв'язання зазначеної проблеми [5].

1. Розробка методів, технічних засобів і технологій формування еталонних зображень (описів) на основі використання аеро- і космознімків заданих ділянок ЗП, каталогів відбивних характеристик, описів визначальних рис об'єктів природного та штучного походження, апріорної інформації про умови спостереження розглянутих сцен у ході отримання поточних зображень і т. д.

2. Розробка бортових алгоритмів суміщення еталонних і поточних зображень, локалізації та визначення координат заданих об'єктів, що забезпечують стійкість до зміни апріорних припущень про характеристики зображень спостережуваних сцен, оптимальну організацію обчислювального процесу в бортових обчислювальних пристроях тощо.

3. Формування системи управління, що використовує бортові сенсорні пристрої різного типу та бортові обчислювальні пристрої, які реалізують алгоритми суміщення еталонних і поточних зображень, а також визначення координат заданих об'єктів сцени, для корекції та наведення літального апарата на обрану точку прицілювання.

Щодо проблем навігації та наведення МБПЛА предметом даного розгляду є системи другого класу (автономні), у яких підготовка еталонної інформації здійснюється заздалегідь, до вильоту літака, за допомогою спеціалізованого наземного комплексу управління. Серед завдань, що вирішуються таким комплексом, є і вибір оптимального маршруту автономного польоту БПЛА, вибір найкращих зон корекції системи навігації, у тому числі з використанням характеристик фізичних полів Землі (поля рельєфу, поля оптичного контрасту тощо), визначення зони виявлення, розпізнавання і цілевказівок заданого об'єкта, формування еталонного опису сцени і заданого об'єкта і т. д.

Інформаційну технологію навігації МБПЛА за відеоінформацією подамо у вигляді послідовних кроків.

Крок 1. Планування маршруту польоту. Управління рухом БПЛА за заданою траєкторією (лінією заданого шляху — ЛЗШ) здійснюється послідовним його виведенням в поворотні пункти маршруту (ППМ) маршрутним способом. На сьогоднішній день планування польоту МБПЛА реалізується за допомогою програмного забезпечення з використанням геоінформаційних сервісів. Приклад такого програмного забезпечення наведено на рис. 1.

Точки, у яких МБПЛА повинен здійснити маневр, наносяться безпосередньо на електронну карту, за яку найчастіше використовують прив'язані до певної системи координат аерокосмічні знімки, завантажені з геоінформаційного сервісу. Тобто з математичного погляду маршрут МБПЛА формується у вигляді точок з відомими

координатами та висотами, між якими інтерполяційними методами можна побудувати маршрут.

Для конкретного виду МБПЛА з урахуванням його особливостей розраховується еталонна швидкість руху між точками V_0 .

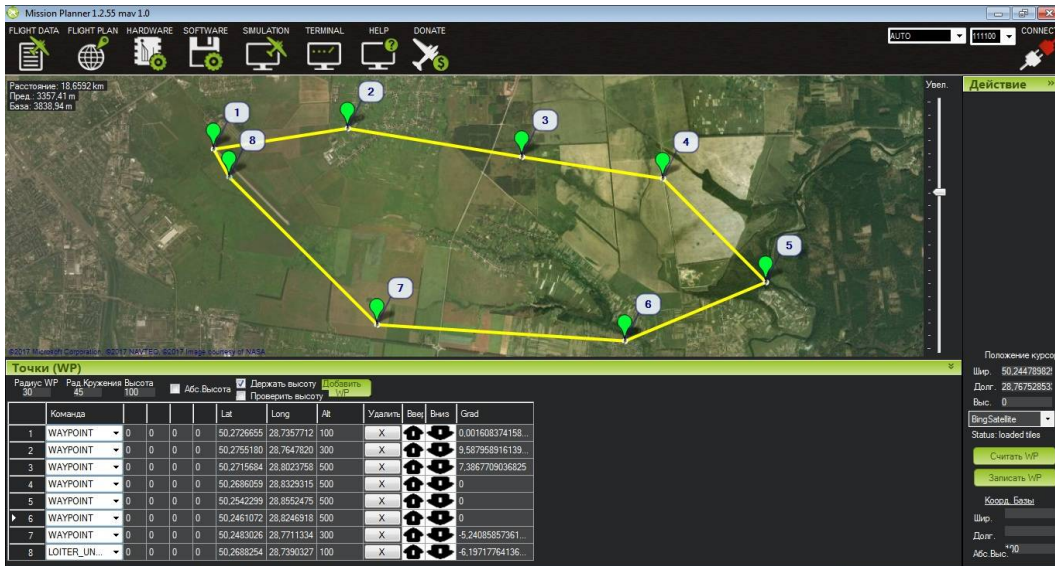


Рис. 1. Приклад планування польоту МБПЛА

Точки, де здійснюється поворот, доцільно обирати над районами з великою кількістю наземних орієнтирів (перехрестя доріг, околиці населених пунктів тощо).

Крок 2. Розрахунок профілю висот, приведеної детальності та масштабу знімка. Маючи координати точок ППМ, за допомогою формул лінійної інтерполяції (1) розраховуємо профіль висот над ЗП (рис. 2):

$$y = y_{i-1} + \frac{\Delta y_{i-1}}{h}(x - x_{i-1}), \quad (1)$$

де h – крок інтерполяції;

Δy_{i-1} – різниця між поточним і попереднім значеннями функції.

З теорії обчислювальних методів відомо, що похибка лінійної інтерполяції розраховується в такий спосіб: $R_i(x) = f(x) - \left(y_{i-1} + \frac{\Delta y_{i-1}}{h}(x - x_{i-1}) \right)$.



Рис. 2. Профіль висот польоту над поверхнею Землі

Вводимо параметри знімальної камери (фокусну відстань, довжину і ширину елементарного фотоприймача (ФП) та в цілому пристрою із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) – матриці).



Рис. 3. Вікно введення параметрів камери

Спираючись на профіль висот, розраховуємо проекцію елементарного ФП ПЗЗ-матриці на ЗП. Для спрощеного розрахунку миттєвого поля зору елементарного ФП потрібно знати лише розміри елементарного ФП ПЗЗ Δx , фокусну відстань об'єктива f і висоту знімання H (рис. 4).

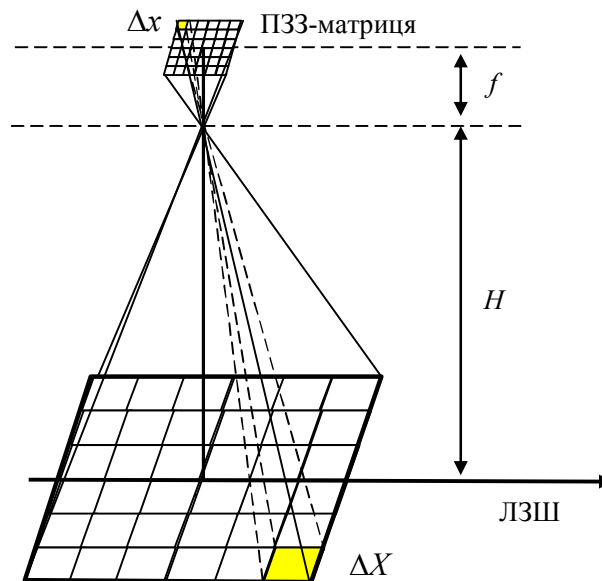


Рис. 4. Геометричні співвідношення проекції елементарного ФП на ЗП

Проекцію поля зору елементарного ФП на ЗП ΔX знаходимо з формули:

$$\Delta X = H(ctg(90 - \varphi + \beta) - ctg(90 - \varphi - \beta)), \quad (2)$$

де H – висота польоту МБПЛА;

φ – кут нахилу оптичної осі об'єктива датчика (у нашому випадку при спрощених розрахунках $\varphi = 0$);

$\beta = arctg\left(\frac{\Delta x}{2f}\right)$ – половина кута зору елементарного ФП.

Приведену детальність знімка без урахування лінійних викривлень атмосфери та контрастів оцінюємо за формулою $d^* = \Delta X$.

У загальному випадку планового фотознімання масштаб зображення характеризує відношення довжини зображення відрізка Δl на знімку до дійсної довжини ΔL цього відрізка на місцевості:

$$\frac{1}{M} = \frac{\Delta l}{\Delta L}. \quad (3)$$

Для аерознімання на сучасні ПЗЗ-камери масштаб цифрового знімка визначають проекцією поля зору елементарного ФП на ЗП, а отже, висотою H , кутом нахилу знімка φ , фокусною відстанню знімальної камери f :

$$M = \frac{f}{H}. \quad (4)$$

Крок 3. Формування смуги можливого зміщення та файлу з тайлів геоприв'язаних космічних знімків. Щоб не зберігати на борту великі обсяги інформації, формуємо карту лише під маршрут і смугу можливого зміщення. Під смугою можливого зміщення $2y$ (рис. 5) будемо розуміти максимально можливе зміщення МБПЛА при розрахунковій швидкості V_0 від лінії заданого шляху за встановлений час (3–5 с).

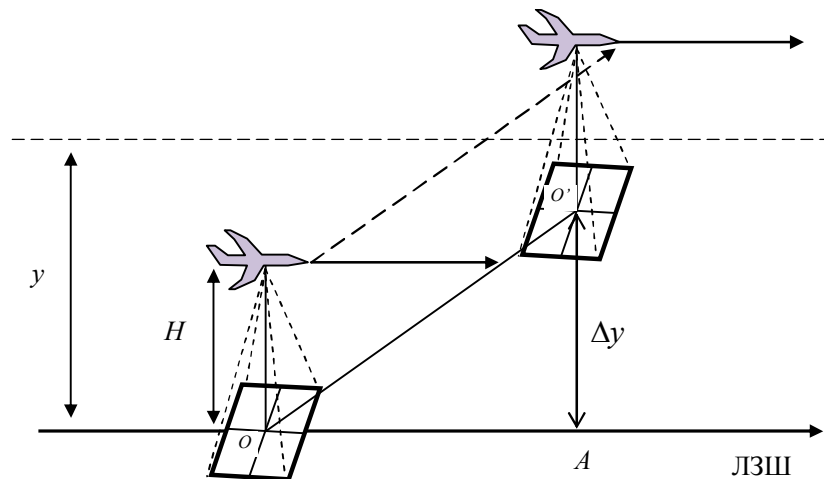


Рис. 5. Розрахункове зміщення МБПЛА за встановлений час

Маючи смугу знімання і масштаб знімка, для кожної інтерпольованої точки маршруту польоту проводиться завантаження з геоінформаційного сервісу тайлів геоприв'язаних космічних знімків, що відповідають масштабу і координатам маршруту. Зрозуміло, що повністю масштаби рівнів для тайлів космічних знімків геоінформаційних сервісів і прогнозованого знімання з МБПЛА можуть не збігатися, тоді доцільно завантажувати найближчий рівень з більшою просторовою розрізненністю. Для низьковисотного знімання з МБПЛА (до 2 км), як правило, використовуються рівні з 17 по 20.

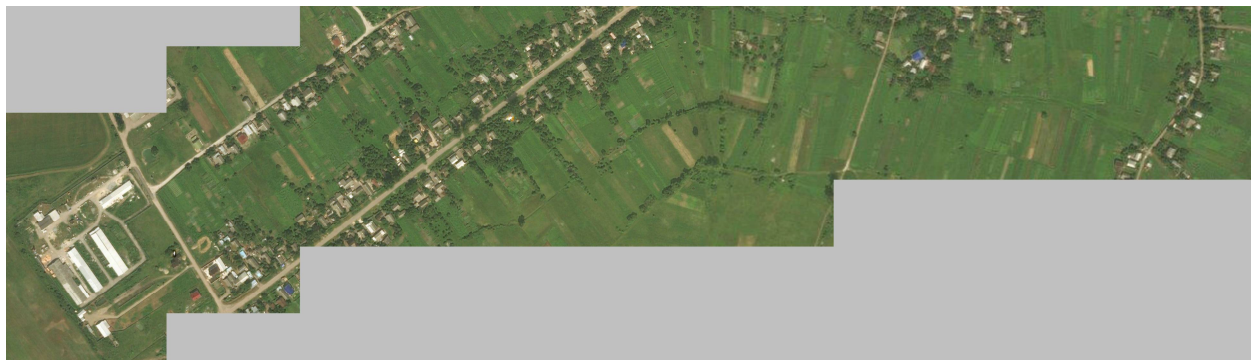


Рис. 6. Приклад формування еталонних зображень

Крок 4. Створення еталонної карти з файлу космічних знімків та запис його на борт. Далі проводяться операції обробки вирізки з космічних знімків (аналог детектора Canny) (рис. 6).

4.1. Перетворення зображення з RGB у відтінки сірого, яке можна подати в такому вигляді:

$$GR = \frac{R}{3} + \frac{G}{3} + \frac{B}{3}. \quad (5)$$

4.2. Розмиття для усунення шуму фільтром Гауса:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

Для спрощення розрахунків на борту його можна апроксимувати наближеною залежністю.

4.3. Пошук меж за допомогою градієнтів:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad \Theta_G = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right). \quad (7)$$

Градієнт округлюється до таких кутів: 0°, 45°, 90°, 135°.

4.4. Подавлення немаксимумів.

4.5. Подвійна порогова фільтрація.

4.6. Трасування областей неоднорідностей для виділення лише сильних країв.

Отримана еталонна карта записується на борт МБПЛА. Її особливостями є (рис. 7): зміна масштабу відповідно до профілю висот польоту; обмежені розміри за шириною смуги можливого зміщення МБПЛА. По суті, це карта контурів об'єктів.

Крок 5. Політ та супроводження переміщення МБПЛА за GPS та еталонною картою. Під час польоту здійснюється стандартна навігація за сигналами СРНС, водночас за координатами місцеположення МБПЛА відслідковується його положення на еталонній карті.

Крок 6. У разі зникнення сигналу СРНС, МБПЛА переводиться на навігацію за еталонною картою.



Рис. 7. Приклад еталонної карти

Визначається останнє відоме місцеположення на момент t_i (рис. 8). Оскільки МБПЛА безперервно рухається, то за показниками телеметрії (літакові кути, поточна швидкість відносно Землі) формується ділянка площі на еталонній карті, де передбачається місцезнаходження МБПЛА на момент часу $t_i + \Delta t$, та створюється відповідна карта локального еталона.

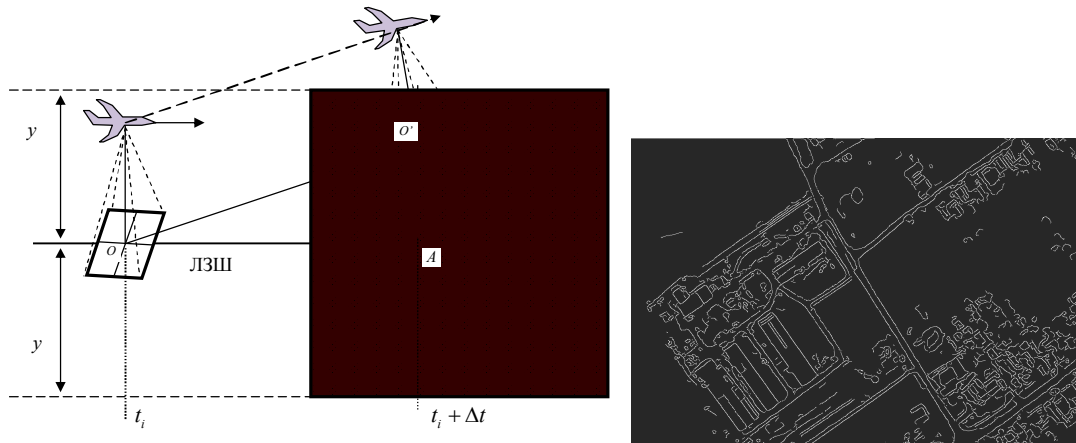


Рис. 8. Формування карти локального еталона

Крок 7. Локалізація положення МБПЛА за знімком та картою. Отриманий з камери відеопотік розбивається на кадри зображень відповідно до необхідного кроку корекції Δt . Для конкретних систем цей крок повинен розраховуватися індивідуально. Він залежить від основних параметрів знімання, якості БІНС і в середньому може тривати 5–20 с.

Кадр орієнтується на північ шляхом повертання на значення кута рискання для того, щоб приблизно відповідати орієнтації карти локального еталона.

Далі отримане зображення проходить такі ж самі операції обробки, як на кроці 4.

Підготовлене зображення локалізується на карті локального еталона (рис. 9).

Крок 8. Розрахунок реального місцеположення БПЛА та введення координат точки навігаційної корекції в алгоритм управління. Для розрахунку координат розв'язується відома зворотна фотограмметрична задача [9] або у спрощеному варіанті визначаються координати центра знімка.

Нехай точка A має відомі координати X, Y, Z у системі $OXYZ$ (рис. 10). У системі SXY^*Z' позначимо її координати через X', Y', Z' . Знайдемо залежність між координатами в обох системах, а потім визначимо координати точки a на знімку.

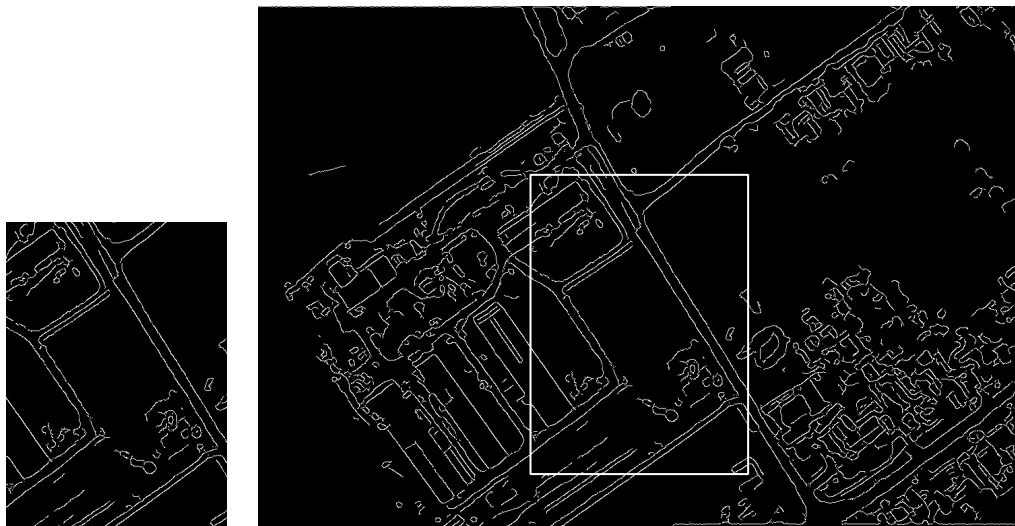


Рис. 9. Локалізація локального еталона на фрагменті еталонної карти

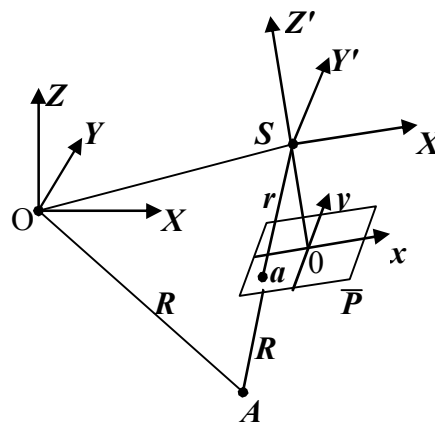


Рис. 10. Визначення координат точки знімка за відомих координат точки об'єкта

Перехід від системи $OXYZ$ до системи $SXYZ'$ передбачає дві операції: паралельне перенесення початку координат з точки O в точку S , а також «поворот простору» за допомогою кутів Ейлера α , ω , κ та напрямних косинусів. Отже, отримаємо:

$$\begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} = A_{\alpha, \omega, \kappa} \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

де $A_{\alpha, \omega, \kappa}$ – матриця напрямних косинусів;

$$A_{\alpha, \omega, \kappa} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

З математики відомо, що матриця $A_{\alpha, \omega, \kappa}$ є ортогональною, тому транспонована та обернена матриці рівні, тобто

$$A_{\alpha, \omega, \kappa}^T = A_{\alpha, \omega, \kappa}^{-1}. \quad (10)$$

Тому з (8) маємо

$$\begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \bar{X} &= a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s), \\ \bar{Y} &= a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s), \\ \bar{Z} &= a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s). \end{aligned} \quad (12)$$

На підставі пропорційності векторів (рис. 10) та їхніх компонентів запишемо

$$\frac{X'}{\bar{X}} = \frac{Y'}{\bar{Y}} = \frac{Z'}{\bar{Z}} \quad (13)$$

або

$$\frac{x - x_0}{\bar{X}} = \frac{y - y_0}{\bar{Z}} = \frac{-f}{\bar{Z}}. \quad (14)$$

З урахуванням (12) остаточно отримаємо рівняннями колінеарності [9]:

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}, \\ \acute{o} - \acute{o}_0 &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Для горизонтального знімка $\alpha = \omega = \kappa = 0$, тому матриця напрямних косинусів є одиничною:

$$A_{\alpha, \omega, \kappa} = E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Формули (15) матимуть такий вигляд при $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $X_s = Y_s = 0$, $Z_s = -H$:

$$\begin{aligned} X &= H \frac{x}{f}, & Y &= H \frac{y}{f}, \\ x &= \frac{f}{H} X, & y &= \frac{f}{H} Y. \end{aligned} \quad (17)$$

Таким чином, формули (17) встановлюють однозначний зв'язок між точками на знімку і на карті.

Отримані значення координат вводять як опорну точку в алгоритм управління.

Крок 9. Пункти 6–8 повторюються до появи сигналу СРНС, після чого управління здійснюється в стандартному режимі.

Детальні дослідження якості функціонування розробленої технології за різних умов функціонування поки що не проводилися. Однак для перевірки працездатності було проведено низку експериментів для різних сцен та висот польоту H , результати яких зведені в таблицю 1. Для оцінювання якості розробленої технології використано запропоновані в [10] критерії: надійності локалізації (частота (імовірність) правильного виявлення P_D , частота (імовірність) хибної тривоги P_F); точності локалізації МБПЛА (середньоквадратичне відхилення визначення широти та довготи σ_{Lat} та σ_{Lon} у метрах).

Таблиця 1

Результати експериментів

	H , м	P_D	P_F	σ_{Lat} , м	σ_{Lon} , м
1	500	0,861	0,32	8,16	8,54
2	1000	0,933	0,28	6,68	6,79
3	1500	0,964	0,25	5,18	5,36
4	2000	0,986	0,18	3,68	3,92

Висновки. Таким чином, розроблена інформаційна технологія навігації МБПЛА за оптичним полем Землі в умовах пропадання сигналів СРНС цілком працездатна. Точність місцевизначення МБПЛА за цією технологією хоча і гірша, ніж у разі використання сигналів СРНС, однак достатня для руху за встановленим маршрутом польоту. У подальшому можливо збільшити точність місцевизначення за рахунок накопичення кадрів і міжкадрової обробки та провести ретельні дослідження якості за різних умов функціонування (висота польоту, швидкість, параметри камери, детальність сцени тощо).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Распопов В. Я. Микросистемная авионика : учеб. пособ. Тула : «Гриф и К», 2010. 248 с.
2. Белоглазов И. Н., Джанджгава Г. И., Чигин Г. П. Основы навигации по геофизическим полям. Москва : Наука, Главн. ред. физ.-мат. лит., 1985. 328 с.
3. Сырямкин В. И., Шидловский В. С. Корреляционно-экстремальные радионавигационные системы. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2010. 316 с.
4. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Себрякова. Москва : Физматлит, 2003. 280 с. ISBN 5-9221-0409-8.
5. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Себрякова. Москва : Физматлит, 2009. 556 с. ISBN 978-5-9221-1168-3.
6. Zwiener Jan. Flight control and navigation for scalable and arbitrarily dimensioned UAV and manned multicopters. URL: <http://www.navka.de/index.php/en/publikationen-und-downloads-2> (дата звернення: 10.08.2018).
7. Рэндал У. Биард, Тимоти У. Маклэйн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва : Техносфера, 2015. 312 с. ISBN 978-5-94836-393-6.
8. Второй Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта (БТС-ИИ-2015)» (9 октября 2015 г., г. Санкт-Петербург) : Труды семинара. Санкт-Петербург : Изд-во «Политехника-сервис», 2015. 140 с.
9. Дорожинський О., Тукай Р. Фотограмметрія : підручник. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. 332 с.

10. Исследование эффективности применения алгоритмов анализа изображений в задаче навигации беспилотных летательных аппаратов / Б. А. Алпатов, В. С. Муравьев, В. В. Стротов, А. Б. Фельдман // Цифровая обработка сигналов. 2012. № 3. С. 29–34.

Подано 14.08.2018

И. В. Пулеко

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАВИГАЦИИ МАЛОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО ОПТИЧЕСКОМУ ПОЛЮ ЗЕМЛИ ПРИ ПРОПАДАНИИ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Во время выполнения полетов малого беспилотного летательного аппарата по маршруту часто возникают ситуации, когда из-за влияния средств радиоэлектронной борьбы пропадают сигналы спутниковых радионавигационных систем, что приводит к существенному ухудшению качества навигации. Для этого случая в статье предложена технология навигации по оптическому полю Земли на основе бортовой камеры видимого диапазона, которая базируется на известном принципе сопоставления снимка с эталонной картой. Однако создание эталонной карты ведется по установленному маршруту полета на основе предварительной обработки информации с геоинформационных сервисов с сохранением сетки контуров объектов, привязанных к выбранной системе координат. Такой подход позволяет существенно уменьшить объем информации, которую необходимо хранить на борту малого беспилотного летательного аппарата. При выполнении полета во время пропадания сигналов спутниковых радионавигационных систем полученные снимки с бортовой камеры обрабатываются и сравниваются с эталонной картой, за счет чего и осуществляется определение координат летательного аппарата. Полученные результаты подтверждают работоспособность информационной технологии.

Ключевые слова: *малый беспилотный летательный аппарат, навигация, маршрут, сигнал, спутниковая радионавигационная система.*

I. V. Puleko

INFORMATION TECHNOLOGY OF NAVIGATION OF A SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLE ON OPTICAL FIELD OF THE EARTH IN CONDITIONS OF DISAPPEARANCE OF GLOBAL SATELLITE NAVIGATION SIGNALS

During the flight of a small unmanned aerial vehicle (Drone) along the route, a lot of situations arise often when, due to the influence of the electronic warfare, loosing of signal of satellite radionavigation systems, which leads to a significant deterioration in navigation. For this case, the article proposes the technology to navigate the Drone by using a optical field of the Earth based on the on-board camera of the visible range. The technology is based on the well-known principle of mapping a picture with a reference card. However, the creation of a reference map is conducted in accordance with the flight route on the basis of information from geoinformation systems. On the reference map, contours of objects are formed, which are attached to the grid. If the signals of the global positioning system disappear, then the images from the on-board camera are used. These images are processed and compared with the reference card. As a result, the location of the drone is determined. The results of experiments confirm the operability of the technology.

Keywords: *small unmanned aerial vehicle, navigation, route, signal, satellite radionavigation system.*