

Є.В. Карманний, В.А. Лупандін, О.М. Сотніков, В.Ю. Тюріна

## ФОРМУВАННЯ ЕТАЛОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

### *Анотація*

*Показано необхідність пошуку раціонального способу формування бази даних щодо поверхні візування з урахуванням особливостей побудови та функціонування кореляційно-екстремальних систем навігації повітряних мобільних роботів. Запропоновано використовувати інваріанти, отримані на основі кореляційного аналізу сцени за показником яскравості. Наведено результати оцінки якості сформованих селективних еталонних зображень для різних за об'єктовим наповненням сцен в умовах обмежень на час та обсяг обчислень.*

**Ключові слова:** повітряний мобільний робот, поверхня візування, селективне зображення, кореляційний аналіз, база даних.

### *Abstract*

*It is shown the necessity of finding a rational manner of forming a database regarding the viewing surface taking into account the peculiarities of construction and operation of the correlation-extremal navigation systems of the aerial mobile robots. It is proposed to use the invariants, obtained on the basis of the correlation analysis of the scene according to the brightness indicator. The results of the quality assessment of the formed selective reference images for scenes with different object content in the conditions of limitations on the time and amount of calculations are given.*

**Key words:** aerial mobile robot, viewing surface, selective image, correlational analysis, database.

Особливості польоту мобільних роботів (МР) обумовлюють необхідність формування спеціальної бази даних, за допомогою якої буде можлива підготовка еталонних зображень (ЕЗ) з урахуванням обмежень, які накладаються і не призводять до погіршення точності та надійності функціонування їх системи навігації. Істотне значення має при цьому об'єктовий склад поверхні візування (ПВ) з різними інформативними ознаками, які можуть мати нестабільний характер під впливом різних зовнішніх факторів, а також нестабільність умов формування зображень. Урахування цих чинників призводить до необхідності проведення досліджень та пошуку раціонального способу формування бази даних про поверхню візування для навігації МР з урахуванням особливостей побудови, функціонування та розв'язуваних завдань кореляційно-екстремальних систем навігації (КЕСН). Зазначені питання з певними обмеженнями та в інших ракурсах досліджувались у роботах [1, 2, 3].

Формування бази даних про об'єктовий склад ПВ передбачає використання та обробку знімків земної поверхні з метою виділення інформативних ознак об'єктів ПВ, необхідних для функціонування систем вилучення інформації. Корисна інформація, одержувана в процесі дистанційного зондування, полягає у визначенні яскравісних, контрастних, структурних (геометричних) інформативних параметрів, розподіл яких у межах ПВ представляється у вигляді відповідних інформаційних полів.

У роботі запропоновано здійснювати кореляційний аналіз зображення методом "ковзного вікна" (КВ). Суть методу "ковзного вікна" полягає у загальному аналізі пікселів зображення, які "покриваються" деякою двовимірною, як правило, квадратною, областю, кінцевого розміру. Всі пікселі зображення, які потрапляють до сектора порівняння, обробляються відповідно до класичного кореляційного алгоритму. Результатом обробки є яскравість пікселя вихідного зображення або елемент двовимірної матриці результатів перетворення, який відповідає центру вікна. Далі вікно зміщується на один піксель і обробка повторюється. Процес обробки завершується, коли вікно буде зміщено на всі можливі значення в межах зображення. Якщо для здійснення кореляційного аналізу зображення по яскравості як "ковзного вікна" по черзі використовувати фрагменти самого вхідного зображення, то результатом такої обробки буде набір значень взаємно кореляційних функцій (ВКФ) фрагментів зображення та зображення в цілому. Це необхідно для отримання селективного ЕЗ, яке включатиме лише ті фрагменти зображення, які важливі з точки зору збереження кореляційної залежності між вихідним зображенням і ЕЗ, що формується. Таким чином, для здійснення кореляційного аналізу зображення по яскравості як

"ковзного вікна", по черзі пропонується використовувати фрагменти вихідного зображення розміром  $M_w \times N_w$  ( $M_w, N_w$ -розміри ковзного вікна в пікселях). Кожен наступний фрагмент зображення ("вікно") зміщується щодо попереднього на один піксель по горизонталі (вертикалі). Такий підхід до формування селективних зображень ПВ може бути застосований на користь формування набору вихідних даних, що наповнюють базу даних з урахуванням як геометрії візування, так і особливостей об'єктового складу самої сцени. Для визначення доцільності застосування пропонованого підходу формування селективних ЕЗ проаналізуємо залежність якості зображення від об'єктового наповнення сцени.

Для оцінки якості еталонної інформації будемо використовувати взаємну кореляційну функцію вихідного зображення (ВЗ) та сформованого бінарного селективного зображення:

$$K_{CCF}(i,j)_{mn} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [S_{OI}(i,j)S_W(i+m,j+n)], \quad (1)$$

де  $K_{CCF}$  – дискретна двовимірна ВКФ;

$M, N$  – розміри ВЗ у пікселях;

$m=[0, \dots, M-M_w], n=[0, \dots, N-N_w]$  – зміщення (зсув) ковзного вікна (КВ) щодо ВЗ;

$S_{OI}(i,j), S_W(i,j)$  – яскравість (інтенсивність сірого) ВЗ та КВ у точці з координатами  $(i, j)$ .

Отримана матриця називається полем кореляційного аналізу (ПКА). За умови, що в процесі оцінки інформативності розміри ВЗ та КВ не змінюються, максимальне значення ВКФ, що використовується, як елемент ПКА, характеризує гостроту піку ВКФ в області максимуму. Сформоване з урахуванням оцінки яскравості ПКА називатимемо полем кореляційного аналізу з яскравості (ПКАЯ).

Моделювання здійснюватимемо на основі зображень ПВ з насиченим об'єктовим наповненням, що відповідає типовим умовам міської інфраструктури та зображень різнорідного ландшафту. Вплив випадкових чинників формування зображень врахуємо шляхом вибору ступеня кореляційного зв'язку між ВЗ і селективним ЕЗ лише на рівні від 0,5 до 0,7.

В результаті проведених досліджень з прийнятими обмеженнями здійснено моделювання формування ЕЗ для систем навігації МР. Отримано ВЗ (наведено на рис. 1), бінарне ЕЗ (рис. 2), та їх ВКФ (рис. 3).



Рис. 1. Вихідне зображення (ВЗ).

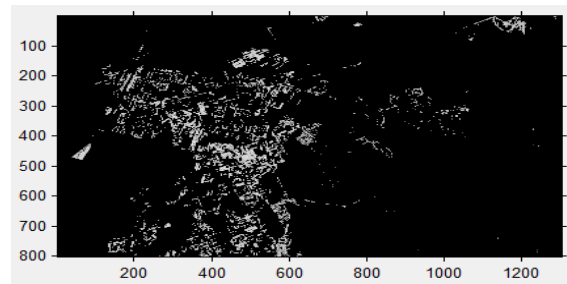


Рис. 2. Бінарне селективне еталонне зображення (ЕЗ) при рівні перетину ПКА 0,7 до рисунку 1.

Таким чином, при кореляційному зв'язку між ВЗ та їх селективними зображеннями, що лежить у межах 0,6...0,7, матиме місце унімодальна ВКФ. Це означає, що для формування ЕЗ до бази даних досить закладати не самі вихідні зображення ПВ, а їх селективні зображення. При цьому розкид у кореляційному зв'язку між селективними зображеннями для виключення аномальних помилок визначення положення МР за допомогою КЕСН може становити від 0,6 до 1.

Аналіз результатів чисельного моделювання з урахуванням зміни ракурсів МР показує можливість використання для інформаційного наповнення бази даних сукупності бінарних селективних зображень, що дозволить істотно знизити обсяг бази даних, забезпечити (з використанням інформації у запропонованому вигляді) високі точнісні характеристики системи навігації МР, зменшити кількість операцій при формуванні вирішальної функції системою навігації.

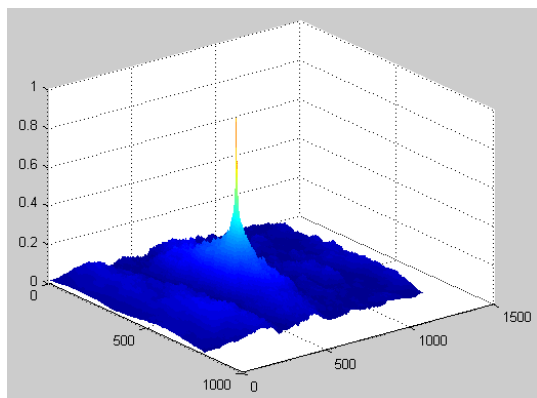


Рис. 3. Взаємно кореляційна функція (ВКФ) вихідного зображення (ВЗ) та його селективного еталонного зображення (ЕЗ).

В результаті досліджень принципів формування та наповнення бази даних для навігації МР в умовах оперативної зміни маршруту польоту показано доцільність застосування інформаційного наповнення бази даних інваріантів, отриманих на основі сукупності бінарних селективних зображень.

Встановлено, що кореляційний зв'язок між інформаційним наповненням бази даних та сукупністю ЕЗ може перебувати в межах 0,5...0,7, що дозволить формувати системою навігації уні-модальну вирішальну функцію та забезпечити необхідні точнісні характеристики.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. V. Antyufeev. Matrix radiometric correlation-extreme navigation systems for aircraft: monograph Ukraine, Kharkov: KhNU V.N. Karazin, 372 p.
2. A. Sotnikov, V. Tarshyn, N. Yeromina, S. Petrov, N. Antonenko. A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. № 9 (87). pp. 68–74. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.101920.
3. N. Yeromina, S. Petrov, A. Tantsiura, M. Iasechko, V. Larin. Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. Vol.4, No.9 (94). – pp. 27–35. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.139723.

**Карманний Євгеній Вадимович** – кандидат техн. наук, доцент, старший науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: evgkarm.scientif@gmail.com

**Лупандін Володимир Анатолійович** – кандидат техн. наук, старший науковий співробітник, заступник начальника наукового центру Повітряних Сил з наукової роботи, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: vlupandin@ukr.net

**Сотніков Олександр Михайлович** – доктор техн. наук, професор, провідний науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: alexsot@ukr.net

**Тюріна Валерія Юрїївна** – ад'юнкт, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: valery.kharkiv@gmail.com

**Karmanny Yevhenii V.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Research Associate, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: evgkarm.scientif@gmail.com

**Lupandin Volodymyr A.** – Candidate of Technical Sciences, Senior Research, Deputy Chief of the Air Force Research Center from Scientific Work, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: vlupandin@ukr.net

**Sotnikov Oleksandr M.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Lead Research, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: alexsot@ukr.net

**Tiurina Valeriia Yu.** – PhD student (full-time), Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: valery.kharkiv@gmail.com