

УДК 621.396.96

В.А. Таршин, О.М. Сотніков, Р.Г. Сидоренко

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## МОДЕЛЬ ОПИСУ ЗОБРАЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ВІЗУВАННЯ БЕЗ ВПЛИВУ СПОТВОРЕНЬ ДЛЯ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ

*У відповідності до моделі процесу формування вирішальної функції комбінованих кореляційно-екстремальних систем навігації сформульовані принципи на яких повинна ґрунтуватись модель опису поверхні візування. Розроблена модель опису зображення типових поверхонь візування районів прив'язки кореляційно-екстремальних систем навігації без впливу спотворень.*

**Ключові слова:** кореляційно-екстремальна система наведення, керований засіб пораження, поверхня візування.

### Вступ

Проведений аналіз останніх воєнних конфліктів показав, що сучасні системи наведення (навігації) будуються на основі усталених підходів до визначення просторового положення керованих засобів пораження (КЗП). Основою таких систем є інерційна система навігації (ІНС), яка забезпечує автономність, прихованість та безперервність визначення просторового положення об'єктів наведення (навігації). Однак навіть сучасним ІНС, які побудовані з урахуванням останніх досягнень науки і техніки, притаманні помилки визначення просторового положення КЗП, які накопичуються у часі протягом польоту літальних апаратів (ЛА) та не дозволяють реалізувати високоточне наведення (навігацію) вказаних об'єктів. Саме тому для забезпечення високих точності та імовірності правильного наведення, і як наслідок високоточного ураження цілей, стосовно ІНС здійснюється зовнішня корекція з використанням систем більш високого порядку точності [1, 2]. До таких коригувальних систем, що задовольняють сучасним вимогам до точності визначення просторового положення ЛА порядку одиниць – десятків метрів відносяться кореляційно-екстремальні системи наведення (КЕСН). При такому способі навігації (наведення) корекція ІНС у процесі польоту по заданому маршруту відбувається з використанням КЕСН. Кореляційно-екстремальна система наведення здійснює формування команди на корекцію траєкторії польоту КЗП за рахунок порівняння поточного зображення поверхні візування (ПВ) з еталонним.

Поверхня візування як елемент моделі процесу формування вирішальної функції у комбінованій КЕСН потребує детального опису, оскільки від такого опису у подальшому буде залежати ефективність функціонування КЕСН КЗП.

**Постановка проблеми** Поверхня візування, як ділянка Землі, з присутніми на ній об'єктами та покровами може мати однорідний та неоднорідний

характер. До однорідних ділянок відносяться пустелі, окремі ділянки степової зони, акваторії морів та океанів. Такі ділянки характеризуються відносно невеликою кількістю об'єктів, які можуть бути використані для прив'язки КЕСН. Уряді випадків такі ділянки місцевості можуть характеризуватися слабкою контрастністю об'єктів на фоні однорідних покриттів. У той же час на ділянках місцевості з розвинутою інфраструктурою присутні споруди, дороги (шосейні та ґрунтові) залізничні колії тощо, які для КЕСН являють собою об'єкти прив'язки з стійкими ознаками. Однак, однотипність формування житлових кварталів з надмірною кількістю схожих один на одного об'єктів може призводити до неоднозначності прив'язки КЕСН. Це вимагає застосування різних моделей опису ПВ у залежності від фоновоб'єктового складу.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Моделі опису ПВ, що представлені у роботах [1 – 5] передбачають застосування у КЕСН датчиків одного типу. У таких системах, як правило, використовуються певний тип інформативного параметра, відповідно до якого здійснюється формування вирішальної функції КЕСН. Можливість комплексного спостереження наземних об'єктів розглядається у роботі [6], однак, моделі опису ПВ розглядаються окремо для кожного датчика.

На відміну від раніше розглянутих, для систем комбінованого типу, які здійснюють місцевизначення на ПВ різного фоновоб'єктового складу, у тому числі, при наявності спотворень, обумовлених як природними так штучними факторами, а також в умовах слабкої контрастності ПВ, необхідно забезпечити однакове представлення інформації на виході датчиків різної фізичної природи (ДРФП) для здійснення подальшого формування вирішальної функції (ВФ) системою вторинної обробки.

**Метою статті** є розробка принципів та моделі опису зображення типових ПВ районів прив'язки КЕСН КЗП.

## Основний матеріал

**Постановка задачі.** Об'єкти прив'язки та покрови ПВ необхідно характеризувати з однакових позицій. Такими характеристиками є їх електрофізичні властивості  $(\varepsilon, \mu)$ , які однозначно пов'язані з інформативними параметрами, які вимірюються ДРФП  $(L_{\text{я}}, T_{\text{А}}, \sigma, V_{\text{я}})$ , та утворюють зображення ПВ у різних діапазонах хвиль.

Таким чином, різні ділянки ПВ відрізняються одна від одної за фоновим об'єктивним складом, а також сукупністю спотворень, що впливають на неї. Для розробки методів формування унімодальної ВФ у комбінованих КЕСН як команди на корекцію траєкторії польоту КЗП, не зважаючи на тип ПВ та відміни об'єктів на ній, необхідно мати моделі, які описують ПВ та, у відповідності з узагальненою моделлю процесу формування ВФ комбінованої КЕСН, являють собою вихідні дані для формування ПЗ у КЕСН. Побудова моделей опису ПВ повинна ґрунтуватися загальних принципах, які визначають опис ПВ будь-якого типу.

У відповідності до моделі процесу формування ВФ комбінованої КЕСН розробка моделей опису ПВ та повинна ґрунтуватися на наступних принципах:

- інформативні параметри, які використовуються для опису ПВ, є параметрами, вимірюваними датчиками КЕСН;
- незалежно від вимірюваних параметрів інформативні поля опису ПВ повинні забезпечувати єдність представлення поточних зображень району прив'язки;
- інформативні поля дозволяють виділяти особливості, які обумовлені структурою ПВ;
- інформативні поля є стабільними до природних спотворень погодних умов та не призводять до порушення структури ПЗ;
- інформативні поля, які використовуються для опису ПВ, з позицій комбінованих КЕСН, повинні забезпечувати формування ВФ взаємно доповнюючи одне одного;
- сукупність інформативних ознак, обраних для опису ПВ, повинна бути основою для розробки методів підвищення точності та імовірності поразення КЗП на спотворених, замаскованих ПВ;
- інформативні поля, які використовуються для опису ПВ є основою для синтезу ЕЗ.

**Розробка моделі опису зображення поверхні візування без впливу спотворень.**

У загальному випадку зображення ПВ, які формуються ДРФП комбінованої КЕСН, можуть бути представлені функцією, яка пов'язує значення інформативного параметра ДРФП з яскравістю. Таким чином, кожен окремий елемент розділення РЛ зображення, у відповідності до [7], може бути представлений виразом:

$$S_{\text{ПВ}_1}(i, j) = S_{\text{ПВ}_{\text{РЛ}}} = f[\sigma(i, j, \varepsilon, \mu, \phi, \varphi, \Delta\theta, \Delta\tau, \lambda, l_{\text{об}})]. \quad (1)$$

Для РМ зображення кожен елемент розділення, у відповідності до [7], представляється у вигляді:

$$S_{\text{ПВ}_2}(i, j) = S_{\text{ПВ}_{\text{РМ}}}(i, j) = f[T_{\text{А}}(i, j, \varepsilon, \mu, \phi, \varphi, T_0, \lambda)]. \quad (2)$$

По аналогії з (2) елемент ІЧ зображення може мати вигляд:

$$S_{\text{ПВ}_3}(i, j) = S_{\text{ПВ}_{\text{ІЧ}}}(i, j) = f[L_{\text{я}}(i, j, \varepsilon, \mu, \phi, \varphi, T, \lambda)], \quad (3)$$

де  $L_{\text{я}}(i, j, \varepsilon, \mu, \phi, \varphi, T, \lambda)$  – спектральна щільність енергетичної яскравості.

Відповідно до [7] (i, j) елемент оптичного зображення може бути представлений у вигляді:

$$S_{\text{ПВ}_4}(i, j) = S_{\text{ПВ}_0}(i, j) = f[B(i, j, t, \varepsilon, \mu, \varpi)]. \quad (4)$$

Стосовно оптичного зображення функціональне перетворення може передбачати представлення кольорового зображення у вигляді напівтонового з заданою кількістю градацій яскравості, або виділення окремих кольорових складових при обробці кольорових зображень.

Відповідно до співвідношень (1) – (4) можуть бути отримані вирази для опису контрастів та, відповідно, структури зображень.

Функціонування будь-якої КЕСН опирається на отриману завчасно інформацію про ПВ у районі застосування КЕСН. Ця інформація представляється у вигляді вихідного зображення  $S_{\text{ВЗ}}$ , яке описує стан ПВ у момент часу  $t_0$ . Відсутність спотворень на ПВ, що є певною ідеалізацією, це означає, що зображення ПВ формується у той самий момент часу, що і вихідне

$$S_{\text{ПВ}}(t = t_0) = S_{\text{ВЗ}}. \quad (5)$$

Така модель відповідає зображенням, отриманим з використанням РЛ, РМ та ІЧ датчиків інформації, для зображень оптичного діапазону необхідно зробити уточнення, яке полягає у тому, що, у загальному випадку, отримане кольорове оптичне зображення описується градаціями сірого, утворюючи напівтонове ВЗ. Тоді зображення ПВ розміром  $M_1 \times M_2$  елементів розділення яке описується у інформативних параметрах ДРФП зручно описати матрицею  $S_{\text{ВЗ}} = \|S_{\text{ВЗ}}(i, j)\|$  з невід'ємними елементами  $S_{\text{min}} \leq S_{\text{ВЗ}}(i, j) \leq S_{\text{max}}$ , де  $S_{\text{ВЗ}}(i, j)$  – значення яскравості зображення у точці з координатами  $(i, j) \in S_{\text{ВЗ}}$ ;  $i = 1, 2, \dots, M_1$  – кількість рядків ВЗ;  $j = 1, 2, \dots, M_2$  – кількість стовбців.

Оскільки ПВ являє собою сукупність різних об'єктів та поверхонь, то необхідно для опису ПВ, виходячи з принципів дії СН, виділяти можливі об'єкти для здійснення прив'язки КЕСН, а решту

типів поверхонь та покривів віднести до фонів. Виходячи з цього елемент неспотвореного зображення  $S_{B3}(i, j)$  можна описати адитивною сумішшю елементів об'єктових та фонових складових, тобто

$$S_{B3}(i, j) = \sum_{v=1}^V F_{O_v}(i, j) + \sum_{w=1}^W F_{F_w}(i, j), \quad (6)$$

де  $F_{O_v}$  – зображення  $v$ -го об'єкта;

$F_{F_w}$  – зображення  $w$ -го фону;

$V$  – кількість об'єктів різної яскравості та форми на ВЗ;

$W$  – кількість фонів на ВЗ.

Загальна кількість фонів і об'єктів на зображенні може бути довільною. При цьому

$$\left. \begin{aligned} F_{O_v}(i, j) &= 0 \text{ при } (i, j) \notin R_{O_v} \\ F_{F_w}(i, j) &= 0 \text{ при } (i, j) \notin R_{F_w} \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

де  $R_{O_v} \subset S_{B3}$  – область  $v$ -го об'єкта;

$R_{F_w} \subset S_{B3}$  – область  $w$ -го фону;

$$R_{O_1} \cup \dots \cup R_{O_V} \cup R_{F_1} \cup \dots \cup R_{F_W} = S_{B3}.$$

Таким чином, модель опису ПВ без впливу спотворень з урахуванням виразів (5) – (7) може бути представлена сукупністю об'єктів ( $F_{O_v}$ ) і фонів ( $F_{F_w}$ )

$$S_{B3} = \left\| \sum_{v=1}^V F_{O_v}(i, j) + \sum_{w=1}^W F_{F_w}(i, j) \right\|. \quad (8)$$

## Висновки

Таким чином, виходячи з принципів дії кореляційно-екстремальних систем наведення, загально прийнятих підходів до вибору ділянок ПВ, які можуть бути використані для місцевизначення [1, 3, 5, 6], а також моделі опису поверхні візування, представленої виразом (8), якість формування вирішальної функції КЕСН визначається властивостями

об'єктів та фонів поверхні візування у районі прив'язки.

## Список літератури

1. Быков В.Н. Моделирование процесса функционирования высокоточной системы управления летательных аппаратов / В.Н. Быков // Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Вип. 25. – Київ: НАНУ. – 2004. – С. 3–12.
2. Белоглазов И.Н. Основы навигации по геофизическим полям / И.Н. Белоглазов, Г.И. Джанджгава, Г.П. Чигрин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 328 с.
3. Щербинин В.В. Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем навигации и наведения летательных аппаратов / В.В. Щербинин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 230 с.
4. Сотников А.М. Проблемы и перспективы развития навигационного обеспечения летательных аппаратов / А.М. Сотников, В.А. Таршин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2013. – Вип. 3(36). – С. 68–74.
5. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных летательных аппаратов // Под. ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.
6. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баклицкий – Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.
7. Таршин В.А. Принципы описания фоновой обстановки для корреляционно-экстремальных систем навигации / В.А. Таршин // Техническое зрение в системах управления – 2015 : науч.-техн. конф. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, 17–19 марта 2015 г. : тезисы докл. – М., 2015. – С. 75–76.

Надійшла до редакції 8.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВИЗИРОВАНИЯ БЕЗ ВЛИЯНИЯ ИСКАЖЕНИЙ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ

В.А. Таршин, А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко

В соответствии с моделью процесса формирования решающей функции комбинированных корреляционно-экстремальных систем навигации сформулированы принципы на которых должна строиться модель описания поверхности визирования. Разработана модель описания изображения типовых поверхностей визирования районов привязки корреляционно-экстремальных систем навигации без воздействия искажений.

**Ключевые слова:** корреляционно-экстремальная система наведения, управляемое средство поражения, поверхность визирования.

## MODEL REPRESENTATION SURFACE BORESIGHTING SPECIFICATION WITHOUT INFLUENCE DISTORTIONS FOR CROSS-CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEMS

V.A. Tarshyn, A.M. Sotnikov, R.G. Sydorenko

In accordance with the model process forming of decision function combined cross-correlation-extreme navigation systems principles are formulated which the model description surface boresighting must be built on. The model representation model surfaces boresighting districts attachment cross-correlation-extreme navigation systems specification is developed without influence distortions.

**Keywords:** cross-correlation-extreme navigation system, guided decimator, surface boresighting.