

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ

ЄРЬОМІНА НАТАЛІЯ СЕРГІЇВНА

УДК 621.396.969.3

**МЕТОД ПРИВ'ЯЗКИ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З
ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ
НАВІГАЦІЇ В УМОВАХ ПОЯВИ ХИБНИХ ОБ'ЄКТІВ НА
ПОТОЧНОМУ ЗОБРАЖЕННІ**

Спеціальність 05.12.17 - радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській інженерно-педагогічній академії, Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент ТАРШИН Володимир Анатолійович, професор кафедри озброєння радіотехнічних військ Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Міністерства оборони України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор ПАЩЕНКО Руслан Едуардович, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу дистанційного зондування Землі Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник ПАВЛІКОВ Володимир Володимирович, декан факультету радіотехнічних систем літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Захист відбудеться «17» травня 2018 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14, ауд. 13.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14

Автореферат розісланий «11» квітня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03

В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Використання високоточних навігаційних систем є одним з напрямків забезпечення високої ефективності застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Сучасні високоточні системи навігації БПЛА базуються на використанні інерційних навігаційних систем (ІНС), які можуть бути доповнені як системами супутникової корекції, так і системами навігації по геофізичних полях Землі. Останні системи також називають кореляційно-екстремальними системами навігації (КЕСН). Застосування супутникових навігаційних систем для корекції ІНС призводить до низької завадостійкості системи корекції, а також до не автономності функціонування навігаційної системи. Цих недоліків позбавлені кореляційно-екстремальні системи, що є їх великою перевагою. У зв'язку з цим кореляційно-екстремальні системи знайшли широке застосування в системах навігації, серед яких найкращими показниками за точністю характеризуються оптико-електронні (ОЕ) КЕСН.

Однак при вирішенні завдань навігації на ділянках місцевості з високою об'єктовою насиченістю, коли мають місце поряд з об'єктом прив'язки (ОП) інші яскраві об'єкти, близькі за параметрами з ОП, ефективність роботи ОЕ КЕСН може виявитися недостатньою, що обумовлено неможливістю формування унімодальної вирішальної функції (ВФ). Крім того, зміна умов візування також призводить до спотворень ВФ, що обумовлено виникненням невідповідності поточного зображення (ПЗ) еталонному, сформованому заздалегідь.

В результаті склалося протиріччя, обумовлене з одного боку необхідністю забезпечення високої надійності місцевизначення ОЕ КЕСН на ділянках місцевості з різноманітним об'єктовим складом та в умовах впливу геометрії візування, і з іншого боку недостатньою ефективністю систем вторинної обробки інформації КЕСН, що обумовлено неоднозначністю виявлення і селекції ОП в умовах високої об'єктової насиченості під впливом геометричних спотворень і, як наслідок, неможливістю формування унімодальної ВФ як команди управління БПЛА. Вирішення цього протиріччя можливе на основі розробки методів формування унімодальної вирішальної функції ОЕ КЕСН БПЛА в умовах впливу на ПЗ геометричних спотворень та з використанням ПЗ поверхні візування з високою об'єктовою насиченістю.

На теперішній час детально досліджені основні досяжні показники КЕСН. Проаналізовано вплив різного роду активних перешкод на показники якості функціонування КЕСН. Розроблено методи побудови перешкодозахищених систем первинної обробки інформації КЕСН з використанням різних типів геофізичних полів, розроблені методи та алгоритми формування еталонних зображень (ЕЗ), а також унімодальної ВФ. У той же час не отримали детального дослідження питання впливу об'єктового складу поверхні візування (ПВ) на результат формування ВФ. Особливо це стосується випадку, коли на ПЗ разом з ОП можуть мати місце хибні об'єкти (ХО), які стають співрозмірними з ОП.

Також не досліджена можливість адаптації ЕЗ до ПЗ шляхом урахування перспективних спотворень ПЗ. Не розроблені моделі опису ПВ, що враховують кореляційні властивості об'єктів і фонів на ПВ, які можуть бути покладені в основу формування ЕЗ та опису ПЗ. Таким чином, тема дисертаційної роботи є **актуальною**, оскільки в ній вирішується науково-прикладна задача розробки методу прив'язки БПЛА з використанням КЕСН в умовах появи хибних об'єктів на поточному зображенні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційні дослідження зв'язані з використанням планових науково-дослідних робіт, що проводяться спільно з метрологічним центром військових еталонів Збройних Сил України, зокрема з НДР шифр «Похибка», «Розв'язання проблеми недосконалості методів і засобів передавання розмірів одиниць фізичних величин вихідними еталонами Збройних Сил України», 2016 р. (№ ДР 0115U004405). В указаній науково-дослідній роботі здобувач була виконавцем.

Мета і задачі дослідження: підвищення ймовірності прив'язки безпілотних літальних апаратів в умовах впливу на поточне зображення КЕСН геометричних спотворень поверхонь візування з високою об'єктовою насиченістю.

Для досягнення цієї мети вирішувались наступні часткові задачі досліджень:

1. Уточнення вимог до систем вторинної обробки КЕСН БПЛА при місцевизначенні на ПВ з високою об'єктовою насиченістю та в умовах впливу геометричних спотворень.
2. Розробка математичної моделі процесу функціонування КЕСН БПЛА, аналіз елементів моделі.
3. Визначення інформативних параметрів та розробка моделі опису ПВ.
4. Розробка методу та алгоритму формування ВФ КЕСН, заснованих на адаптації ЕЗ до геометричних спотворень.
5. Розробка методу та алгоритму локалізації об'єкта прив'язки ОЕ КЕСН на ПЗ з декількома яскравими об'єктами.

Об'єктом дослідження є процес навігації БПЛА з використанням кореляційно-екстремальних систем.

Предметом дослідження є методи формування унімодальної вирішальної функції як команди на корекцію траєкторії польоту БПЛА.

Методи дослідження визначаються сукупністю розв'язуваних завдань і включають методи кореляційно-спектрального аналізу випадкових процесів, методи теорії оцінок параметрів сигналів на фоні перешкод, методи теорії ймовірності, які використані при розробці методів локалізації ОП ОЕ КЕСН та формування унімодальної ВФ, а також методи моделювання для оцінки ефективності алгоритмів формування унімодальної ВФ з урахуванням геометричних спотворень.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Одержала подальший розвиток модель процесу функціонування КЕСН, яка, на відміну від відомих, враховує просторове положення та орієнтацію БПЛА, а також кореляційні властивості поверхонь візування, в основу опису яких покладено модель узагальненого телеграфного процесу.

2. Одержав подальший розвиток метод формування вирішальної функції КЕСН, який, на відміну від відомих, заснований на адаптації еталонних зображень до просторового положення та орієнтації БПЛА. При цьому розроблено алгоритм формування вирішальної функції матричною КЕСН.

3. Одержав подальший розвиток метод локалізації об'єкта прив'язки КЕСН на поточному зображенні, який, на відміну від відомих, заснований на виявленні та багатопороговій селекції об'єкта прив'язки на поточному зображенні в умовах появи на поточному зображенні хибних об'єктів, обумовлених перспективними спотвореннями поверхні візування з високою об'єктовою насиченістю. При цьому:

- розроблено алгоритм локалізації об'єкта прив'язки шляхом пошуку фрагмента бінарного поточного зображення з максимальним значенням одиниць, що співпадає з еталонним зображенням;

- одержано аналітичний вираз для оцінки ймовірності локалізації ОП, який враховує результати визначення ймовірності виявлення та локалізації ОП.

4. Одержав подальший розвиток метод формування унімодальної вирішальної функції, який на відміну від відомих полягає в підсумовуванні кількості одиниць різних зрізів ВФ та пошуку найбільшого значення, що відповідає повному співпадінню поточного зображення з еталонним. У рамках розробленого методу одержано аналітичний вираз для оцінки ймовірності локалізації ОП з урахуванням порогу, за яким здійснено зріз ВФ.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені методи і математичні моделі є основою для розробки і проектування КЕСН, застосування яких дозволяє підвищити ймовірність місцевизначення КЕСН БПЛА порівняно з системою навігації, в якій при формуванні ВФ не враховано вплив геометричних спотворень ПЗ, а також наявність хибних об'єктів.

Результати дисертаційних досліджень реалізовані в метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України, зокрема в НДР шифр «Похибка» (акт впровадження від 5.06.2017).

Особистий внесок здобувача.

Нові наукові результати отримані автором особисто.

У наукових статтях, опублікованих в співавторстві, авторові належать наступні нові наукові результати:

- у статті [1] автором запропонована математична модель процесу функціонування КЕСН ЛА з урахуванням впливу геометричних спотворень;

- у статті [2] автором запропоновано модель опису ПВ з використанням кореляційних властивостей;

– у статті [3] автором запропоновано метод формування вирішальної функції КЕСН за критерієм максимуму узагальненого коефіцієнта взаємної кореляції, який дозволяє на етапі вторинної обробки інформації зменшити вплив перспективних спотворень за рахунок адаптації ЕЗ до геометричних умов візування;

– у статті [4] автором представлено результати експериментальної оцінки ефективності функціонування КЕСН при навігації з використанням ділянок місцевості з кількома яскравими об'єктами;

– у статті [5] автором запропоновано метод локалізації об'єкта прив'язки КЕСН на поточному зображенні з кількома яскравими об'єктами.

Апробація результатів дисертації.

Матеріали дисертаційного дослідження обговорені й схвалені на 5 конференціях, зокрема:

– восьмій українсько-польській конференції «Електроніка та інформаційні технології» (ЕЛІТ-2016) Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів-Чинадієво, 2016 р.;

– тринадцятій науковій конференції «Новітні технології – для захисту повітряного простору» Харківського національного університету повітряних сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, 2017 р.;

– сьомій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» Національного технічного університету «ХПІ», м. Харків, 2017 р.;

– третій міжнародній науково-практичній конференції пам'яті професора П. Столярчука «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, 2017 р.;

– шістнадцятій міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення енергоустановок методами математичного та фізичного моделювання» Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків, 2017 р.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 13 наукових працях, з них 5 статей у фахових наукових виданнях України (4 з яких індексуються наукометричною базою Google Scholar та 1 – наукометричною базою Scopus), 5 тез доповідей на науково-технічних конференціях, одержано 3 патенти на корисні моделі.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертація містить вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел та 2 додатка. Повний обсяг дисертації складає 145 сторінок, у тому числі 113 сторінок основного тексту, 6 сторінок рисунків, 14 сторінок списку використаних джерел (122 найменування) та 5 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження, її актуальність, визначено мету і завдання. Сформульовано предмет, об'єкт та методи дослідження, розкрито наукову новизну, наведено практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі дисертації проведено аналіз принципів побудови і функціонування автономних і неавтономних систем навігації БПЛА. Проаналізовано фактори, що впливають на процес формування ВФ, як команди управління на корекцію траєкторії БПЛА. Наведено результати аналізу умов застосування БПЛА різного призначення, а також особливостей побудови і функціонування автономних систем навігації. Сформульовано основні вимоги до системи навігації БПЛА та здійснено уточнення вимог до ОЕ КЕСН БПЛА. Сформульовано завдання досліджень.

Проаналізовані методи автономної навігації та встановлено, що найменш розробленими є методи, що дозволяють забезпечити ефективне функціонування КЕСН БПЛА на ділянках місцевості з високою об'єктовою насиченістю та в умовах впливу геометричних спотворень.

У другому розділі наведені результати аналізу узагальненої структурної схеми ОЕ КЕСН. Запропоновано уточнену модель процесу функціонування ОЕ КЕСН БПЛА з урахуванням впливу геометричних спотворень на ділянках місцевості з високою об'єктовою насиченістю. Проаналізовано вплив елементів моделі на результат формування ВФ. Проведено аналіз факторів, що впливають на процес формування ПЗ та ВФ в системі вторинної обробки.

Відповідно до узагальненої структурної схеми ОЕ КЕСН, ВФ з урахуванням впливу середовища розповсюдження, фоново-об'єктового складу (ФОС) ПВ, впливу геометрії візування, шумів приймальної системи, а також розробленої моделі зображення ПВ в широкому спектральному діапазоні у вигляді узагальненого телеграфного процесу для будь-якої ділянки ПВ з відповідним конкретному району інтервалом кореляції τ_k , ВФ в операторній формі має вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_i(t, \mathbf{r}, \theta, \theta_i) &= \mathbf{F}_{SP} \left[(\mathbf{F}_{PM} (\mathbf{F}_{RS} (\mathbf{F}_{OS} (\varepsilon, \mu, t, \theta), \mathbf{n}(t))); \mathbf{S}_{RI}(\theta_i)) \right] = \\ &= \mathbf{F}_{SP} \left[(\mathbf{F}_{PM} (\mathbf{F}_{RS} (\exp(-\alpha / r), \mathbf{n}(t))); \mathbf{S}_{RI}(\theta_i)) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

де \mathbf{F}_{PM} – оператор середовища розповсюдження сигналів; \mathbf{F}_{RS} – оператор первинної обробки інформації в приймальній системі КЕСН; $\mathbf{F}_{OS}(t, \theta_i)$ – оператор, що описує ПВ; ε, μ – діелектрична та магнітна проникності об'єктів та фонів ПВ; $\alpha = 1/\tau_k$ – величина зворотна інтервалу кореляції τ_k ; \mathbf{r} – вектор, що характеризує напрямок перетину ПВ; $\mathbf{n}(t)$ – адитивний шум приймальної системи.

З метою урахування впливу геометричних спотворень на ПЗ, і, відповідно, на формування ВФ, була проаналізована геометрія візування району прив'язки. Враховуючи нерівномірність спотворень ПЗ, запропоновано пошук

максимального значення ВФ здійснювати шляхом побудови часткових ВФ для кожного елементу розподілення з використанням сукупності G ЕЗ, $G-1$ з яких побудовані з урахуванням виникнення геометричних спотворень ПЗ відповідно до виразу:

$$\mathbf{S}_{RI} = \left\| \mathbf{S}_{RI_1}(\theta_1) \quad \mathbf{S}_{RI_2}(\theta_2) \quad \dots \quad \mathbf{S}_{RI_G}(\theta_G) \right\|, \quad (2)$$

де $\mathbf{S}_{RI_2}(\theta_2)$, $\mathbf{S}_{RI_G}(\theta_G)$ – ЕЗ, сформовані при наявності геометричних спотворень.

Особливістю моделі, що визначає її новизну, є урахування впливу геометричних спотворень на ПЗ, що формується системою, а також кореляційних властивостей ПВ, в основу опису якої покладено модель узагальненого телеграфного процесу

У третьому розділі наведені результати розробки методу формування ВФ заснованого на адаптації еталонних зображень до просторового положення та орієнтації БПЛА. Відповідно до виразу (1) з урахуванням (2) формуються часткові ВФ.

$$\mathbf{R}_g(t, \mathbf{r}, \theta, \theta_i) = \mathbf{F}_{SP} \left[\left(\mathbf{F}_{PM} \left(\mathbf{F}_{RS} \left(\exp(-\alpha / \mathbf{r}), \mathbf{n}(t) \right), \mathbf{S}_{RI}(\theta_g) \right) \right) \right]. \quad (3)$$

З урахуванням геометрії візування ОЕ КЕСН БПЛА для різних типових ПВ шляхом математичного моделювання одержані усереднені оцінки КВК ПЗ та ЕЗ. Результати оцінки КВК та СКП суміщення ПЗ та ЕЗ для умов візування $\alpha = 40^\circ$ та $h_0 = 1000$ м в умовах впливу перспективних спотворень ПЗ для нормальної (Φ_{02}) та високої (Φ_{03}) об'єктової насиченості наведені на рис.1, 2. Відповідно до одержаних результатів встановлено, що при використанні ділянок ПВ з високою об'єктовою насиченістю виникають більші помилки суміщення ПЗ та ЕЗ (рис. 2). Це пов'язано з наявністю на зображенні ПВ яскравих хибних об'єктів, які за своїми властивостями схожі на ОП.

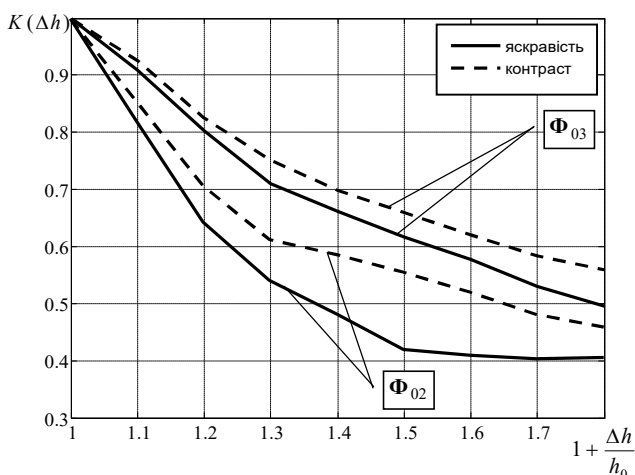


Рис. 1. Залежність коефіцієнта взаємної кореляції ЕЗ та ПЗ від перспективних спотворень ПЗ

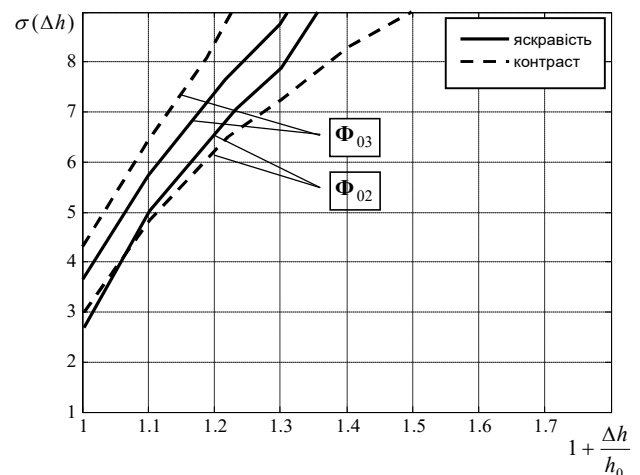


Рис. 2. Залежність СКП суміщення ПЗ та ЕЗ від перспективних спотворень ПЗ

На рис. 3 – 6 наведені результати формування ВФ по поперечному та продольному розподілах яскравості ОП, при відсутності та наявності перспективних спотворень.

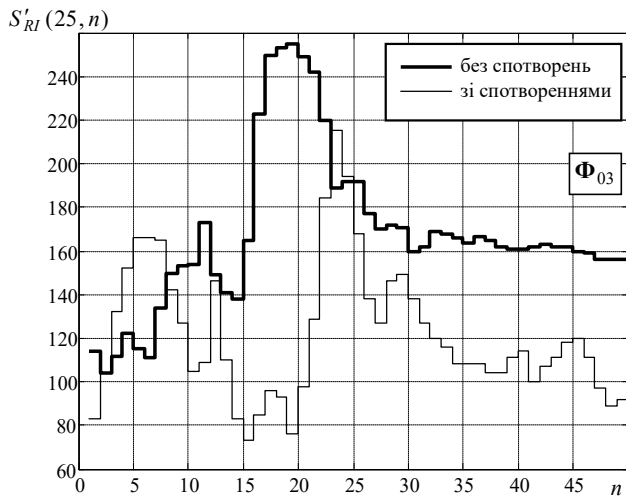


Рис. 3. Поперечний розподіл яскравості ОП

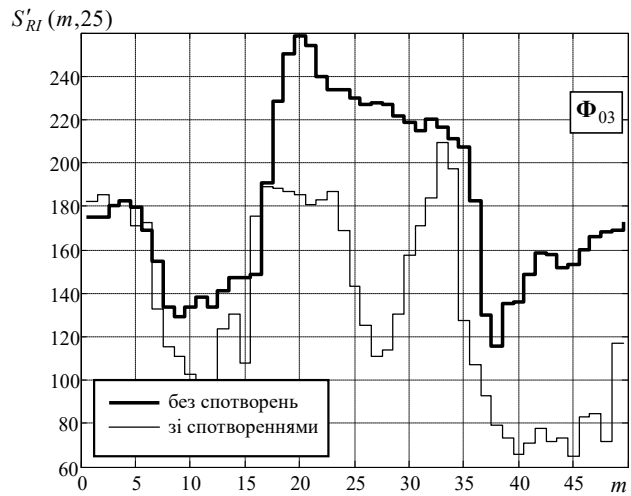


Рис. 4. Продольний розподіл яскравості ОП

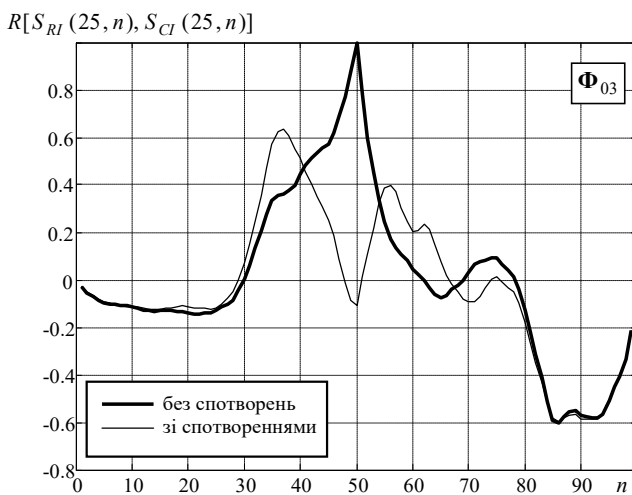


Рис. 5. ВКФ поперечних перетинів яскравості ОП

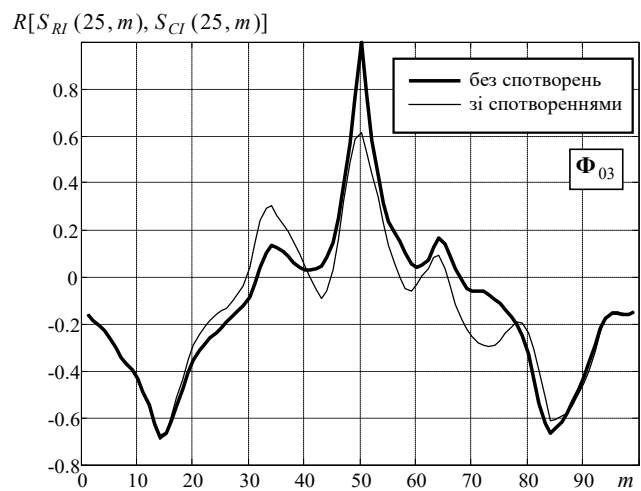


Рис. 6. ВКФ продольних перетинів яскравості ОП

Приклад формування часткових та результуючої ВФ пояснюється рис. 7,8.

Відповідно до теорії оцінювання параметрів сигналів при відсутності апіорних даних оптимальна оцінка зміщення $\hat{\mathbf{r}}$ ПЗ відносно ЕЗ може бути одержана за вирішальним правилом:

$$\hat{\mathbf{r}} = \arg \max \{ F[S_{CI}(t, \theta), S_{RI}(\theta_1)], F[S_{CI}(t, \theta), S_{RI}(\theta_2)], \dots, F[S_{CI}(t, \theta), S_{RI}(\theta_G)] \}. \quad (4)$$

Відповідно до одержаного результату уточнення положення максимуму результуючої ВФ ($\hat{\mathbf{r}}$) може бути здійснене шляхом апроксимації максимумів часткових ВФ параболоїдом. Проекція параболоїди, якою апроксимуються максимуми часткових ВФ (рис. 7) за координатою m наведена на рис. 8. Алгоритм реалізації розробленого методу формування ВФ по критерію

максимуму узагальненої ВФ, який ґрунтується на локалізації об'єктів прив'язки шляхом поелементного кореляційного аналізу поточного та еталонного зображень ПВ, представлений у вигляді структурної схеми, наведений на рис. 9.

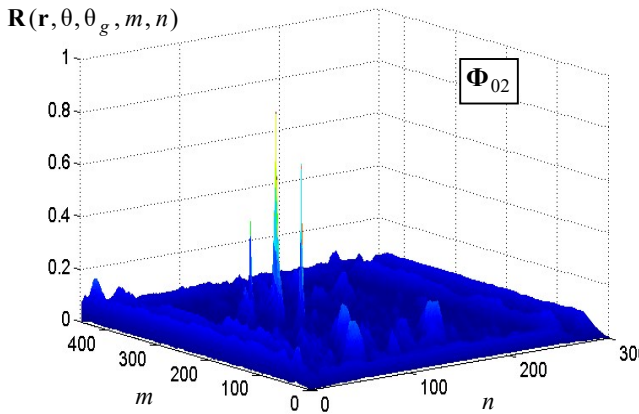


Рис. 7. Часткові ВФ, сформовані для ЕЗ $S(\theta_g)$ об'єкта прив'язки при $G=3$

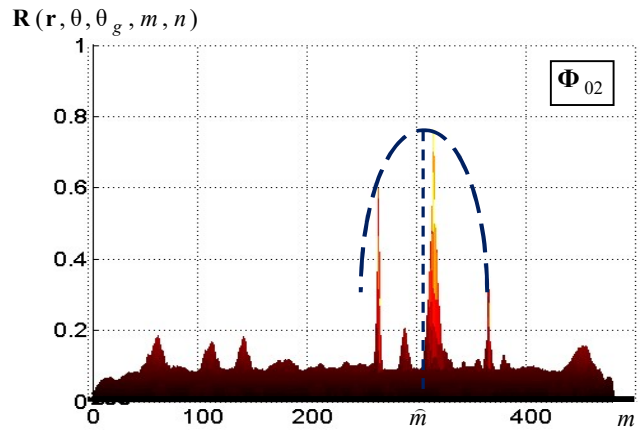


Рис. 8. Результат апроксимації максимумів часткових ВФ на виході матричного корелятора

Таким чином одержав подальший розвиток метод формування вирішальної функції КЕСН, який, на відміну від відомих, заснований на адаптації еталонних зображень до просторового положення та орієнтації БПЛА. При цьому розроблено алгоритм формування вирішальної функції матричною КЕСН.

У четвертому розділі наведені результати розробки методу локалізації об'єкта прив'язки при наявності на ПЗ хибних об'єктів. Метод ґрунтується на виявленні та багатопороговій селекції ОП на ПЗ з декількома яскравими об'єктами.

Здійснено припущення відносно об'єктів S_p , що близькі по яскравості та співрозмірні з ОП (хибні об'єкти):

– максимальний розмір S_p не перевищує діаметра D_e елемента розрізнення на ПВ та еквівалентні діаметри S_p розподілені за експоненційним законом.

Останнє припущення дозволяє при постановці задачі враховувати тільки один параметр розподілу – середній діаметр $S_p D_0$, а також враховувати, що при відомому середньому значенні максимальна ентропія має експоненційний розподіл.

Здійснено постановку задачі локалізації ОП на ПЗ. Обґрунтована необхідність рішення задачі локалізації ОП на ПЗ на декілька етапів. Перший етап полягає у виявленні об'єкта, другий – у його попередній селекції на фоні ХО. Третій етап передбачає пошук максимального значення ВФ R_j із сукупності

$$R_j = \sum_{\zeta=1}^L R_i(i, j),$$
 яке визначається шляхом пошарового аналізу кількості

перетинів ВФ ζ та пошуку її єдиного значення, що відповідає максимальному.

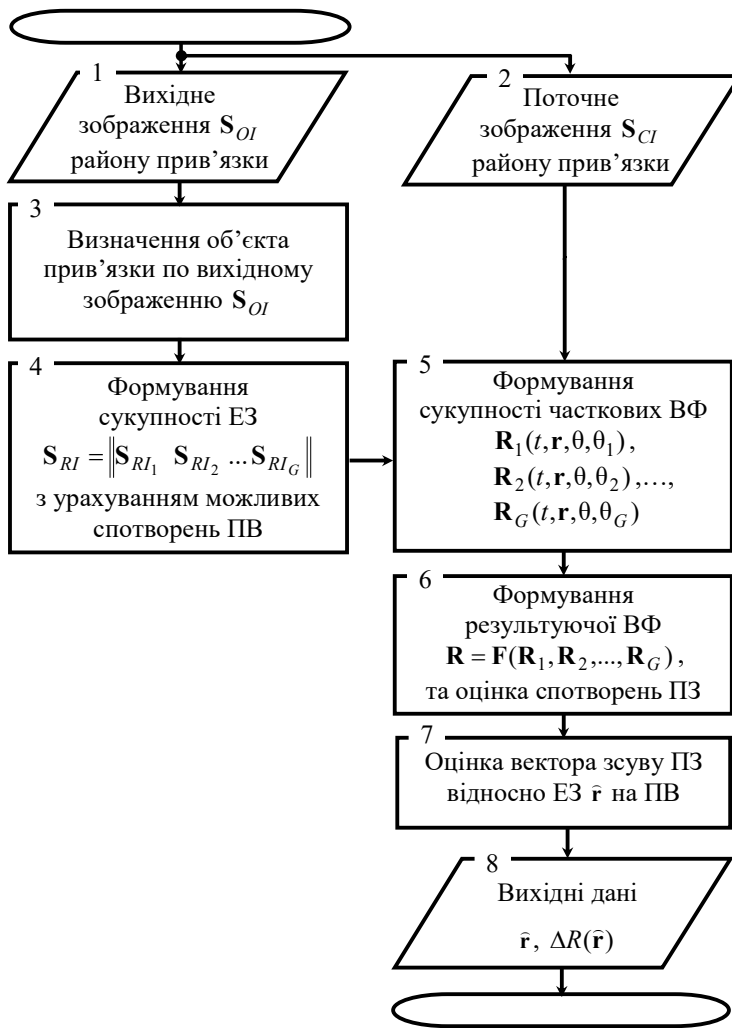


Рис. 9. Структурна схема алгоритму формування ВФ матричним корелятором

Задача селекції об'єкта на бінарному ПЗ на фоні ХО вирішена з використанням апріорної інформації у вигляді бінарного ЕЗ, алгоритм обробки якого полягає у наступному: для кожного фрагмента ПЗ $H^i \subset H$, що має певні конфігурацію та розміри об'єкта, здійснюється порівняння з ЕЗ, яке повністю складається з одиниць. Операція порівняння бінарних зображень полягає у додаванні «по модулю два» елементів зображень та формуванні ВФ відповідно до формули:

$$R_i = \sum_{k=1}^{F_p} \left(S_{RI_m} \oplus_{\text{mod } 2} H_m^i \right), \quad (5)$$

де H_m^i – m -й елемент i -го фрагмента ПЗ;

S_{RI_m} – m -й елемент еталонного зображення S_{RI} .

Здійснена постановка задачі локалізації ОП на ПЗ з використанням припущення, що розміри ОП складають $T_1 \times T_2$ елементів розрізнення. Матриця ПЗ розбита на прямокутні підматриці розміру $T_1 \times T_2$. Істинне положення ОП

На етапі виявлення необхідно оцінити середнє значення фону без урахування просторових співвідношень між елементами зображення. Далі, встановивши поріг квантування відносно знайденої на попередньому етапі оцінки середнього значення фону, необхідно перевести ПЗ у бінарне зображення. Після цього, використовуючи апріорну інформацію про геометричні характеристики ОП, вирішити задачу селекції ОП на бінарному зображенні. При цьому необхідно врахувати, що частина сигналів від яскравих ХО класифікується як сигнал ОП. Тому на третьому етапі здійснюється формування унімодальної ВФ шляхом пошуку її найбільшого значення, що характеризується повним співпадінням ПЗ з ЕЗ.

попадає в одну з підматриць. Фрагмент ПЗ, що відповідає ЕЗ, позначимо через $\mathbf{H}^0 \subset \mathbf{H}$, а через \mathbf{H}^i , $i \in \overline{1, M}$ – фрагменти, що розміщені у інших підматрицях. Відповідно до цих умов одержано кінцевий вираз для ймовірності правильної локалізації ОП на ПЗ:

$$P_{cl} = \sum_{j=1}^{F_v} C_{F_v}^j (1-\alpha)^j \alpha^{F_v-j} \left[\sum_{m=0}^{j-1} C_{F_v}^m \beta^m (1-\beta)^{F_v-m} \right]^M. \quad (6)$$

З метою забезпечення однозначності прийнятих рішень про локалізацію ОП розроблено алгоритм, який здійснює ітераційний процес обробки зі змінним порогом до одержання єдиного рішення.

Якщо множина \mathbf{M}^0 складається з одного елемента, тобто $\mathbf{M}^0 = \{1(m, l)\}$, то приймається рішення про те, що координати опорного елемента ОП стосовно ПЗ дорівнюють m , l . У протилежному випадку організується ітераційний процес, що включає три етапи. Перший етап пов'язаний зі зміною початкового значення порогу l^0 на l^1 . На другому етапі здійснюється формування нового бінарного зображення \mathbf{H}^1 стосовно порогу l^1 . Третій етап пов'язаний з обчисленням матриці вирішальної функції $\|z_{ij}^1\|$ для зображення \mathbf{H}^1 та обчисленням множини \mathbf{M}^1 . Для організації ітераційного процесу необхідно визначити величину кроку ітерації та її знак. У розробленому алгоритмі у режимі адаптації порогу пропонується рішення приймати за умови, що на деякому i -му кроці ітерації множина \mathbf{M}^i складається з одного елемента, причому $z_{\max}^i = F_v$. Відповідно, якщо максимум ВФ не є єдиним, необхідно обирати $\Delta l_1 = l^1 - l^0 > 0$. В протилежному випадку ітерація повинна мати знак «мінус».

Вибір кроку кожної з ітерацій повинен здійснюватися таким чином, щоб при наступній i -й ітерації бінарне зображення \mathbf{H}^i несуттєво відрізнялося від \mathbf{H}^{i-1} .

Вираз (5) придатний для оцінки ефективності застосування ОЕ КЕСН на ділянках ПВ з об'єктом прив'язки, що однозначно визначається системою. У цьому випадку система формує унімодальну ВФ. У випадку прив'язки до ПВ з декількома яскравими об'єктами, що мають параметри близькі до ОП, виникає необхідність уточнення результату прив'язки. Для цього на третьому етапі здійснюється пошук найбільшого значення ВФ, що відповідає повному співпадінню ПЗ з ЕЗ.

Суть методу полягає у формуванні сукупності ВФ \mathbf{G}_i з наступним визначенням найбільшої кількості одиниць у сумарному представленні ВФ

$$\sum_{i=1}^U \mathbf{G}_i.$$

Вирішальне правило полягає у тому, що фрагмент $\mathbf{G}_j \subset \mathbf{G}$, для якого:

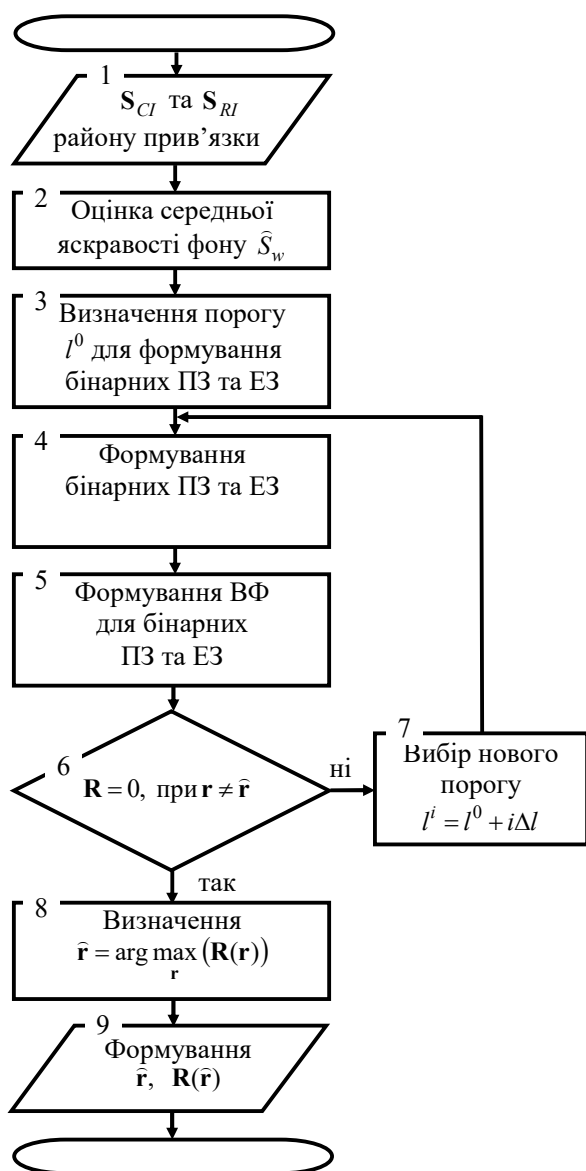


Рис. 10. Структурна схема алгоритму локалізації ОП

обраних кутів матриці ВФ у межах ПЗ, що дозволяє знайти координати ОП у полі матриці ПЗ. У результаті виконання трьох етапів приймається рішення про локалізацію ОП у кадрі ПЗ з декількома об'єктами, які мають параметри, схожі з параметрами ОП. Ймовірність правильної локалізації ОП у відповідності до розробленого алгоритму визначається виразом:

$$P_{cl} = 1 - \left(1 - \sum_{j=1}^{F_v} C_{F_v}^j (1 - \alpha)^j \alpha^{F_v - j} \left[\sum_{m=0}^{j-1} C_{F_v}^m \beta^m (1 - \beta)^{F_v - m} \right]^Q \right)^U. \quad (8)$$

Розроблено багатопороговий алгоритм локалізації ОП, структурна схема якого наведена на рис. 10.

Ефективність застосування багатопорогового алгоритму локалізації ОП на зображеннях ПВ з високою об'єктовою насиченістю та при наявності ХО оцінювалася за результатами формування ВФ, а також шляхом оцінки

$$\mathbf{G}_j = \sup_{i \in 0, U} \mathbf{G}_i, \quad (7)$$

оголошується співпадаючим з ЕЗ.

Індекс i приймає стільки значень, скільки існує перетинів U фрагментів $\mathbf{G}_j \subset \mathbf{G}$ до моменту визначення перетину з найбільшою кількістю одиниць.

У якості критерію локалізації ОП оберем інтегральний показник відносної яскравості, значення якої формується у вигляді незалежних відліків Q в елементах матриць ВФ \mathbf{G}_i . Усі одержані матриці \mathbf{G}_i поелементно додаються між собою. Результуюча матриця \mathbf{G}_i містить в елементах $G_i(i, j)$ величини незалежних відліків у вигляді інтегральних показників яскравості. Матриця \mathbf{G}_i , у якій записана найбільша кількість одиниць $(\sum_{i=1}^U \mathbf{G}_i = \max)$ приймається за результат локалізації ОП.

Елемент $G_i(i, j)$, який містить максимальну кількість одиниць, дозволяє визначити номер покрокового порівняння по рядкам та стовбцям матриці, при якому локалізований ОП. Таким чином, визначаються координати одного з

ймовірності правильної локалізації ОП згідно з виразом (7). Оцінки ймовірності правильної локалізації ОП та формування ВФ для двох значень відношення сигнал/шум приймального тракту ОЕ КЕСН наведені на рис. 11.

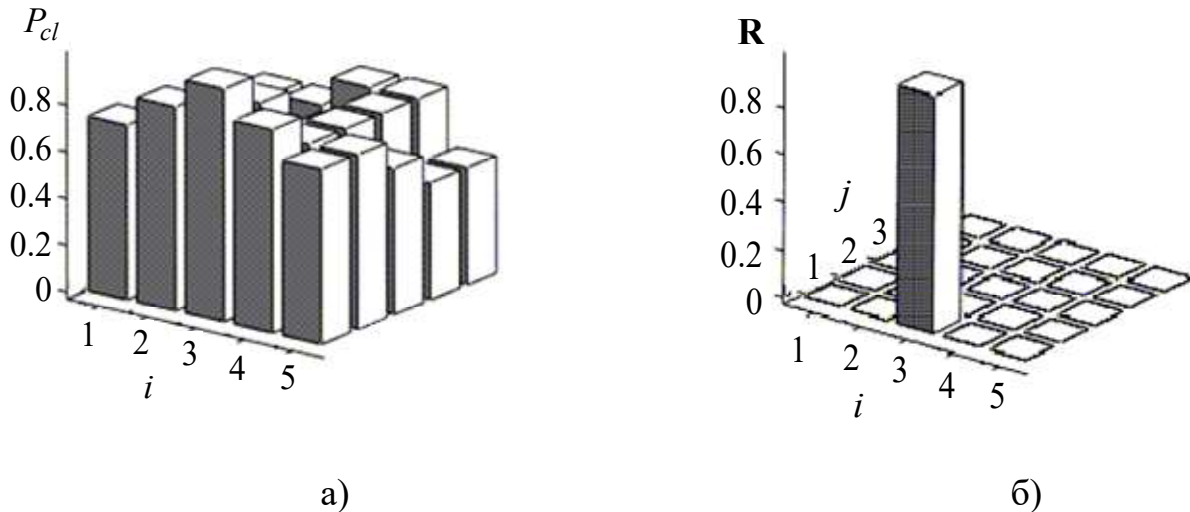


Рис. 11. Результати оцінки ймовірності локалізації ОП на ПЗ (а) та формування ВФ при відношенні сигнал/шум $q \approx 10$

Аналіз результатів оцінки ймовірності правильної локалізації ОП та формування ВФ (рис. 11) з використанням ПВ з ХО показав, що застосування процедури виявлення та багатопорогової селекції ОП на зображенні дозволяють забезпечити ймовірність правильної локалізації ОП близьку до одиниці. При цьому наявність на зображенні ПВ ХО, що близькі за параметрами до ОП, не впливає на формування унімодальної ВФ.

ВИСНОВКИ

В дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове рішення актуальної науково-прикладної задачі розробки методу прив'язки безпілотних літальних апаратів з використанням кореляційно-екстремальних систем навігації в умовах появи хибних об'єктів на поточному зображенні.

1. При вирішенні науково-прикладної задачі одержані наступні найбільш важливі наукові результати:

Одержала подальший розвиток модель процесу функціонування КЕСН, яка, на відміну від відомих, враховує просторове положення та орієнтацію БПЛА, а також кореляційні властивості поверхонь візування, в основу опису яких покладено модель узагальненого телеграфного процесу.

Одержав подальший розвиток метод формування вирішальної функції КЕСН, який, на відміну від відомих, заснований на адаптації еталонних зображень до просторового положення та орієнтації БПЛА. При цьому розроблено алгоритм формування вирішальної функції матричною КЕСН.

Одержав подальший розвиток метод локалізації об'єкта прив'язки КЕСН на поточному зображенні, який, на відміну від відомих, заснований на виявленні та багатопороговій селекції об'єкта прив'язки на поточному зображенні в умовах появи на поточному зображенні хибних об'єктів, обумовлених перспективними спотвореннями поверхні візування з високою об'єктовою насиченістю. При цьому:

- розроблено алгоритм локалізації об'єкта прив'язки (ОП) шляхом пошуку фрагмента бінарного поточного зображення з максимальним значенням одиниць, що співпадає з еталонним зображенням;

- одержано аналітичний вираз для оцінки ймовірності локалізації ОП, який враховує результати визначення ймовірності виявлення та локалізації ОП.

Одержав подальший розвиток метод формування унімодальної вирішальної функції (ВФ), який на відміну від відомих полягає в підсумовуванні кількості одиниць різних зрізів ВФ та пошуку найбільшого значення, що відповідає повному співпадінню поточного зображення з еталонним.

У рамках розробленого методу одержано аналітичний вираз для оцінки ймовірності локалізації ОП з урахуванням порогу, за яким здійснено зріз ВФ.

2. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені методи і математичні моделі є основою для розробки і проектування КЕСН, застосування яких дозволяє підвищити ймовірність місцевизначення КЕСН БПЛА порівняно з системою навігації, в якій при формуванні ВФ не враховано вплив геометричних спотворень ПЗ, а також наявність хибних об'єктів.

Застосування методу та алгоритму формування ВФ КЕСН, заснованого на адаптації еталонних зображень до перспективних спотворень, дозволяє формувати унімодальну ВФ в умовах використання ПВ з нормальною об'єктовою насиченістю при невідповідності масштабів ПЗ та ЕЗ на 10...15%, однак при цьому відбувається погіршення СКП суміщення ПЗ та ЕЗ у 1,5...2 рази. У випадку високої об'єктової насиченості при відсутності масштабних спотворень СКП порівняно з нормальною об'єктовою насиченістю є більшою в 1,3...1,4 рази, що обумовлено наявністю та близьким розташуванням до ОП хибних яскравих об'єктів.

Застосування методу локалізації ОП КЕСН на ПЗ з кількома яскравими об'єктами забезпечує підвищення ймовірності локалізації ОП в умовах наявності ХО близьку до одиниці.

Розвиток моделі процесу функціонування КЕСН дозволяє визначити напрямок подальшого удосконалення системи навігації.

3. Проведені у дисертаційній роботі дослідження дозволили сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо забезпечення ймовірності локалізації ОП в умовах впливу геометричних спотворень та наявності на ПВ ХО. Відповідно до яких:

- а) з метою урахування кореляційних властивостей ПВ для їх опису використовувати модель узагальненого телеграфного процесу;

б) опис ПЗ об'єктів на ПВ незалежно від ФОС здійснювати через яскравість, контраст та їх сукупність з урахуванням впливу адитивних шумів приймального каналу;

в) формування сукупності ЕЗ здійснювати завчасно для можливих геометричних умов візування;

г) визначення місцеположення БПЛА на ПВ з високою об'єктовою насиченістю здійснювати за допомогою алгоритму локалізації ОП КЕСН на ПЗ з кількома яскравими об'єктами, який заснований на виявленні та багатопороговій селекції ОП на ПЗ з декількома яскравими об'єктами;

д) навігацію БПЛА, оснащених ОЕ КЕСН, здійснювати за допомогою алгоритму локалізації ОП КЕСН на ПЗ з кількома яскравими об'єктами, який заснований на виявленні та багатопороговій селекції ОП на ПЗ з декількома яскравими об'єктами;

е) підвищення швидкодії ЕО КЕСН при формуванні часткових ВФ здійснювати за допомогою матричного корелятора.

Метод формування унімодальної ВФ при прив'язці до ПВ з високою об'єктовою насиченістю та наявністю хибних об'єктів доцільно використовувати при удосконаленні існуючих та розробці нових систем автономної навігації ЛА цивільного та військового призначення, що застосовуються на малих висотах, для визначення місцеположення яких доцільно використовувати оптико-електронні засоби одержання інформації про поточний стан ФОС ПВ.

У той же час розроблений метод може виявитися обмежено придатним для навігації високошвидкісних ЛА при обмеженнях на час формування ВФ через ускладнення процедури формування команди на корекцію траєкторії польоту. Особливо це стосується високошвидкісних високоманеврених ЛА, траєкторія польоту яких може швидко змінюватися у процесі польоту.

Також одержані наукові результати можуть бути покладені в основу розробки програмного комплексу формування унімодальної ВФ у різних умовах застосування КЕСН БПЛА.

4. Результати дисертаційних досліджень реалізовані в метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України (акт від 5.06.2017).

5. Результати дисертаційної роботи можуть бути корисні:

– при проектуванні та модернізації КЕСН, а також на етапі обґрунтування та уточнення вимог до них;

– для оцінки можливості використання таких систем для навігації БПЛА з використанням ПВ з високою об'єктовою насиченістю, де можуть мати місце однотипні об'єкти;

– в навчальному процесі при вивченні методів навігації ЛА.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Еремина Н. С., Самсонов Ю. В., Сотников А. М. Анализ условий и требований к получению информации о поверхности визирования при

формировании базы данных и подготовке эталонных изображений. *Системи управління, навігації та зв'язку* : зб. наук. пр. / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Полтава, 2015. № 4 (36). С. 66–69.

2. Еремина Н. С., Самсонов Ю. В., Сотников А. М. Обобщенная модель изображений поверхности визирования для представления в базах данных. *Системи управління, навігації та зв'язку* : зб. наук. пр. / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. Полтава, 2015. № 3 (35). С. 77–79.

3. Єрємiна Н. С., Сотников О. Н., Таршин В. А. Формування вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації за критерієм максимуму узагальненого коефіцієнта взаємної кореляції. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси* : зб. наук. пр. Харків, 2016. № 50 (122). С. 68–73.

4. A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects / A. Sotnikov, V. Tarshyn, N. Yeromina, S. Petrov, N. Antonenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3. № 9 (87). pp. 68–74.

5. Сотников О. М., Таршин В. А., Єрємiна Н. С. Багатопороговий алгоритм локалізації об'єктів прив'язки кореляційно-екстремальної системи навігації безпілотного літального апарата. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. № 1 (49). С. 158–161.

6. Сотников О. Н., Таршин В. А., Еремина Н. С. Выбор информативных признаков для описания поверхности визирования в интересах систем дистанционного зондирования Земли. *Електроніка та інформаційні технології (ЕЛІТ-2016)* : зб. матеріалів доп. VIII-ої Укр.-польськ. конф. (м. Львів, м. Чинадієво, 27-30 серпня 2016 р.). Львів : Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка, 2016. С. 46–48.

7. Сотников О. М., Таршин В. А., Єрємiна Н. С. Метод формування вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації в умовах перспективних спотворень поточних зображень. *Новітні технології – для захисту повітряного простору* : тези доп. XIII-ої наук. конф. Харків. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (м. Харків, 12-13 квітня 2017 р.). Харків : ХНУПС, 2017. С. 414–415.

8. Єрємiна Н. С. Формування вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації на основі корекції еталонних зображень. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління* : тези доп. 7-ої Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Полтава, 20-21 квітня 2017 р.). Полтава : ПНТУ, 2017. С. 9.

9. Єрємiна Н. С. Формування вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації за критерієм максимуму узагальненого коефіцієнта взаємної кореляції. *Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи* : тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. пам'яті професора Петра Столярчука (м. Львів, 11-12 травня 2017 р.). Львів : НУ «Львівська політехніка», 2017. С. 169.

10. Еремина Н. С. Обобщенная модель изображений поверхности визирования для представления в базах данных. *Удосконалення енергоустановок методами математичного і фізичного моделювання* : тези доп. XVI Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 10-14 вересня 2017 р.). Електрон. дані. Харків, 2017. 1 ел. опт. диск CD-ROM. Назва з етикетки диска.

11. Спосіб забезпечення точності та імовірності місцевизначення літальних апаратів на основі оцінки варіацій інформативних полів поверхні візування : пат. 113789, МПК G01S 1/32 (2006.1) / В. А. Таршин, Р. Г. Сидоренко, О. М. Сотніков, О. Б. Танцюра, Г. В. Рибалка, Н. С. Єрьоміна ; Харків. ун-т Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – № у 2016 09178 ; заявл. 01.09.2016 ; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3. 8 л.

12. Спосіб забезпечення точності та імовірності місцевизначення літальних апаратів на основі використання сукупності інформативних полів : пат. 113791, МПК G01S 1/32 (2006.1). / В. А. Таршин, Р. Г. Сидоренко, О. М. Сотніков, О. Б. Танцюра, Г. В. Рибалка, Н. С. Єрьоміна ; Харків. ун-т Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – № у 2016 09181 ; заявл. 01.09.2016 ; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3. 7 л.

13. Спосіб формування вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації за критерієм максимуму узагальненого коефіцієнта взаємної кореляції : пат. 122637, МПК G01S 1/32 (2006.1) / О. М. Сотніков, В. А. Таршин, Р. Г. Сидоренко, О. Б. Танцюра, Г. В. Мегельбей, В. І. Грідін, А. І. Резніченко, Н. С. Єрьоміна ; Харків. ун-т Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – № у 2017 04984 ; заявл. 22.05.2017 ; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 3. 7 л.

АНОТАЦІЯ

Єрьоміна Н.С. Метод прив'язки безпілотних літальних апаратів з використанням кореляційно-екстремальних систем навігації в умовах появи хибних об'єктів на поточному зображенні. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Дисертація присвячена забезпеченню формування унімодальної вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації літальних апаратів в умовах впливу на поточне зображення геометричних спотворень та з використанням поточних зображень поверхні візування з високою об'єктовою насиченістю. Це дозволяє не менше, ніж на 8% підвищити ймовірність локалізації ОП на ПЗ, та забезпечити унімодальність ВФ у порівнянні з системою навігації з класичним кореляційним алгоритмом порівняння зображень, забезпечити високу перешкодостійкість системи навігації та визначити напрямок подальшого вдосконалення системи.

Проведено аналіз та уточнення вимог до кореляційно-екстремальних системам навігації літального апарату. Одержала подальший розвиток модель процесу функціонування КЕСН. Одержав подальший розвиток метод формування ВФ КЕСН заснований на адаптації еталонних зображень до просторового

положення та орієнтації БПЛА. Одержав подальший розвиток метод локалізації ОП КЕСН на поточному зображенні заснований на виявленні та багатопороговій селекції об'єкта прив'язки на поточному зображенні в умовах появи на поточному зображенні хибних об'єктів, обумовлених перспективними спотвореннями поверхні візування з високою об'єктовою насиченістю. Розроблено алгоритм локалізації ОП шляхом пошуку фрагмента бінарного поточного зображення з максимальним значенням одиниць, що співпадає з еталонним зображенням. Одержано аналітичний вираз для оцінки ймовірності локалізації ОП, який враховує результати визначення ймовірності виявлення та локалізації ОП. Одержав подальший розвиток метод формування унімодальної вирішальної функції, який полягає в підсумовуванні кількості одиниць різних зрізів ВФ та пошуку найбільшого значення, що відповідає повному співпадінню поточного зображення з еталонним. Одержано аналітичний вираз для оцінки ймовірності локалізації ОП з урахуванням порогу, за яким здійснено зріз ВФ.

Наведені результати експериментальної оцінки підвищення ймовірності локалізації ОП на ПЗ з високою об'єктовою насиченістю та формування унімодальної ВФ в умовах впливу на поточне зображення геометричних спотворень та при прив'язці КЕСН до ПВ з високою об'єктовою насиченістю. Розроблені рекомендації по підвищенню ймовірності локалізації ОП на ПЗ при наявності хибних об'єктів та в умовах впливу перспективних спотворень.

Ключові слова: кореляційно-екстремальні системи навігації, вирішальна функція, перспективні спотворення, еталонні зображення, висока об'єктова насиченість, хибні об'єкти.

АННОТАЦІЯ

Еремина Н.С. Метод привязки беспилотных летательных аппаратов с использованием корреляционно-экстремальных систем навигации в условиях появления ложных объектов на текущем изображении. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 - радиотехнические и телевизионные системы.

Диссертация посвящена обеспечению формирования унимодальной решающей функции корреляционно-экстремальных систем навигации летательных аппаратов в условиях воздействия на текущее изображение геометрических искажений и с использованием текущих изображений поверхности визирования с высокой объектовой насыщенностью. Это позволяет не менее чем на 8% повысить вероятность локализации ОП на ПО, и обеспечить унимодальность РФ по сравнению с системой навигации с классическим корреляционным алгоритмом сравнения изображений, обеспечить высокую помехоустойчивость системы навигации и определить направление дальнейшего совершенствования системы.

Проведен анализ и уточнение требований к корреляционно-экстремальным системам навигации летательного аппарата. Получила дальнейшее развитие модель процесса функционирования КЭСН. Получил

дальнейшее развитие метод формирования РФ КЭСН основанный на адаптации эталонных изображений к пространственному положению и ориентации БПЛА. Получил дальнейшее развитие метод локализации ОП КЭСН на текущем изображении, основан на выявлении и многопороговой селекции объекта привязки на текущем изображении в условиях появления на текущем изображении ложных объектов, обусловленных перспективными искажениями поверхности визирования с высокой объектовой насыщенностью. Разработан алгоритм локализации ОП путем поиска фрагмента бинарного текущего изображения с максимальным значением единиц, который совпадает с эталонным изображением. Получено аналитическое выражение для оценки вероятности локализации ОП, учитывающее результаты определения вероятности обнаружения и локализации ОП. Получил дальнейшее развитие метод формирования унимодальной решающей функции заключается в суммировании числа единиц различных срезов РФ и поиска наибольшего значения, соответствующего полному совпадению текущего изображения с эталонным. Получены аналитические выражения для оценки вероятности локализации ОП с учетом порога, за которым осуществлен срез РФ.

Приведенные результаты экспериментальной оценки повышения вероятности локализации ОП на ТИ с высокой объектовой насыщенностью и формирования унимодальной РФ в условиях воздействия на текущее изображение геометрических искажений и при привязке КЭСН к ПВ с высокой объектовой насыщенностью. Разработаны рекомендации по повышению вероятности локализации ОП на ТИ при наличии ложных объектов и в условиях воздействия перспективных искажений.

Проведенные в диссертационной работе исследования позволили сформулировать научно обоснованные рекомендации по обеспечению вероятности локализации ОП в условиях влияния геометрических искажений и наличия на ПВ ЛО. В соответствии с которыми, с целью учета корреляционных свойств ПВ для их описания использовать модель обобщенного телеграфного процесса; описание ТИ объектов на ПВ независимо от ФОС осуществлять через яркость, контраст и их совокупность с учетом влияния аддитивных шумов приемного канала; формирование совокупности ЭИ осуществлять заблаговременно для возможных геометрических условий визирования; определения местоположения БПЛА на ПВ с высокой объектовой насыщенностью осуществлять с помощью алгоритма локализации ОП КЭСН на ТИ с несколькими яркими объектами, который основан на выявлении и многопороговой селекции ОП на ТИ с несколькими яркими объектами; навигацию БПЛА, оснащенных ОЭ КЭСН, осуществлять с помощью алгоритма локализации ОП КЭСН на ТИ с несколькими яркими объектами, который основан на выявлении и многопороговой селекции ОП на ТИ с несколькими яркими объектами; повышение быстродействия ЭО КЭСН при формировании частных РФ осуществлять с помощью матричного коррелятора.

Ключевые слова: корреляционно-экстремальные системы навигации, решающая функция, перспективные искажения, эталонные изображения, высокая объектовая насыщенность, ложные объекты.

ABSTRACT

Yeromina N.S. The method of linking the unmanned aerial vehicles with the help of correlation-extreme navigation systems in conditions of false objects' occurrence in the current image. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree in specialty 05.12.17 - radio and television systems.

The dissertation is focused on developing the formation of the unimodal solving function of correlation-extreme navigation systems of aerial vehicles in conditions of influence of perspective distortions on the current image and using the current image of the visibility surface with large number of available objects. This allows to increase the possibility of localization of binding object (BO) in the current image (CI) by at least 8% and to ensure the unimodality of the solving function (SF) in comparison with the navigation system with the classic correlation algorithm of image comparison, to ensure the high interference immunity of the navigation system and to define the direction for further system improvement.

The analysis and specification of requirements for correlation-extreme navigation systems of the aerial vehicle has been performed. The model of the CESN functioning process has been further developed. The method of formation of the SF of CESN has been further developed based on adaptation of RI to the UAV attitude and its orientation. The method of BO of CESN localization in the current image has been further developed based on the identification and multi-level selection of the binding object in the current image in conditions of false objects' occurrence in the current image caused by perspective distortions of the visibility surface with large number of available objects. The algorithm of BO localization has been developed and is based on seeking the fragment of binary current image with the max quantity of available objects that complies with the reference image. The analytical expression for assessment of the potential for BO localization was received, which reflects the results of probability definition for detection and localization of BO. The formation of the unimodal solving function method was further developed which is to sum up the quantity of the SF cuts and to identify the max value that corresponds to the full match of the current image to the reference image. The analytical expression for assessment of the potential for BO localization was received taking into account the threshold of solving function cuts.

The results are given on experimental evaluation of the increase of probability of localization of BO in the CI with large number of available objects and on formation of the unimodal solving function in conditions of influence of perspective distortions on the current image and linking CESN to VS with large number of available objects. The recommendations are developed on increase of probability of

localization of BO in CI in conditions of false objects' occurrence and under the influence of perspective distortions.

Keywords: correlation-extreme navigation system, solving function, perspective distortions, reference images, large number of available objects, false objects.

Підп. до друку 04.04.18	Формат 60x84 1/16.	Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2.	Облік. вид. арк. 1,0	Тираж 100 прим.
Зам. №	Ціна договірна.	

Віддруковано у типографії ФОП Ковальчук Н.П.
61003, Харків, пр. Московський 10/12
Реєстраційний номер облікової картки платника податків та інших
обов'язкових платежів: 2542520668 від 01.08.2013