

УДК 629.052.3+004.932

О.М. Грічанюк

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Представлені результати моделювання процесу роботи кореляційно-екстремальної системи навігації літальних апаратів при використанні еталонних і поточних зображень, що отримані в різних діапазонах електромагнітних хвиль.

Ключові слова: кореляційно-екстремальна система, всепогодна навігація, радіолокатор з синтезованою апертурою антени, обробка зображень.

Вступ

Постановка проблеми. При всіх позитивних якостях супутникових навігаційних систем їх застосування може бути ускладнене наявністю радіозавад у районі польоту літального апарату (ЛА). Альтернативою супутниковим навігаційним системам ЛА можуть бути всепогодні кореляційно-екстремальні системи навігації (КЕСН) по наземних орієнтирах.

Високу точність навігації можуть забезпечити КЕСН, що оснащені оптико-електронними датчиками геоінформаційного поля видимого та інфрачервоного діапазонів електромагнітних хвиль (ЕМХ). Однак такі системи не є всепогодними.

Успіхи сучасної радіоелектроніки та обчислювальної техніки дозволили створити малогабаритні радіолокатори з синтезованою апертурою антени (РСА), що дозволяють в складних погодних умовах формувати радіолокаційні зображення земної поверхні в режимі, близькому до реального часу [1]. Просторова роздільна здатність зображень, сформованих РСА, досить висока та може бути порівняна з просторовою роздільною здатністю зображень видимого діапазону електромагнітних хвиль.

Застосування РСА для цілей навігації ЛА, як правило, обмежується тільки тими районами, для яких є отримані дослідним шляхом або синтезовані еталонні радіолокаційні зображення місцевості. Дані способи отримання еталонних зображень (ЕЗ) пов'язані зі значними фінансовими витратами та витратами часу. При цьому фотографічні зображення земної поверхні знаходяться у вільному доступі.

У даній статті описані результати моделювання процесу роботи кореляційно-екстремальної системи корекції навігаційної інформації ЛА, що оснащений РСА. В якості ЕЗ використовувалися фотографічні зображення земної поверхні і електронна карта місцевості.

Аналіз літератури. В роботі [2] описані результати експериментальних досліджень з взаємної прив'язці радіолокаційних і оптичних зображень. Наголошується, що для підвищення коефіцієнта взаємної кореляції зображень можуть застосовуватися нелінійні перетворення яскравості радіолокаційних зображень. Перетворення радіолокаційного зображення виконуються таким чином, щоб розподіл яскравості щонайкраще відповідав типовому експоненціальному розподілу сірого рівня оптичного зображення. У цій же роботі відзначається, що найбільш стабільними загальними ознаками радіолокаційних і оптичних зображень є контури, під якими розуміються межі об'єктів, областей з різною текстурою та/або середньою яскравістю.

Як правило, яскравості ідентичних об'єктів на фотографічному і радіолокаційному зображеннях відрізняються, що пояснюється різною фізичною природою випромінювань елементів поверхні, що формують зображення.

Крім того, напрямки і розміри тіней на зображеннях видимого діапазону визначаються відносним положенням Сонця в момент зйомки і висотою об'єктів. Тінь на радіолокаційному зображенні завжди спрямована від радіолокатора, її величина залежить від висоти об'єктів на зображенні і кута місця.

Таким чином, зображення, сформовані РСА, і фотозображення практично завжди відрізняються. Алгоритми кореляційного порівняння фотографічних і радіолокаційних зображень повинні бути максимально стійкі до подібних відмінностей зображень, обумовлених їх різною фізичною природою.

Відомі так звані "зонні" кореляційні алгоритми, що мають стійкість до флуктуацій яскравості зображення [3]. Зонне ЕЗ містить інформацію тільки про форму об'єктів, що мають різну середню яскравість (без зазначення конкретного значення яскравості).

Головним недоліком даних алгоритмів є висока трудомісткість процесу формування зонного ЕЗ. Часткова автоматизація процесу формування зонного ЕЗ можлива при формуванні еталону по цифровій карті місцевості. Тому актуальною є розробка методики прив'язки радіолокаційних і фотографічних зображень, яка була б вільною від зазначеного недоліку.

Метою даної статті є експериментальне підтвердження працездатності розробленої методики взаємної прив'язки радіолокаційних і оптичних зображень видимого діапазону ЕМВ.

Основна частина

Принцип роботи кореляційно-екстремальної системи пояснюється на рис. 1. На рис. 1, а показано еталонне зображення місцевості, на ньому прямоку-

тником виділена ділянка, що потрапляє в зону огляду інформаційного датчика поля кореляційно-екстремальної системи. Зовнішній вигляд поточного радіолокаційного зображення (ПЗ) місцевості, для даного просторового положення ЛА показаний на рис. 1, б. Після формування ПЗ бортовий корелятор здійснює обчислення коефіцієнта взаємної кореляції ПЗ та рівних йому за розміром фрагментів ЕЗ для всіх можливих зсувів ПЗ в межах ЕЗ. Результатом обчислень є двовимірний кореляційний функція, яка показана на рис. 1, в. За положенням глобального максимуму кореляційної функції обчислюється величина зсувів ПЗ щодо ЕЗ по боковому відхиленню і дальності. Отримані значення навігаційних поправок вводяться в основну інерціальну систему управління для розрахунку необхідного маневру по компенсації навігаційних помилок.

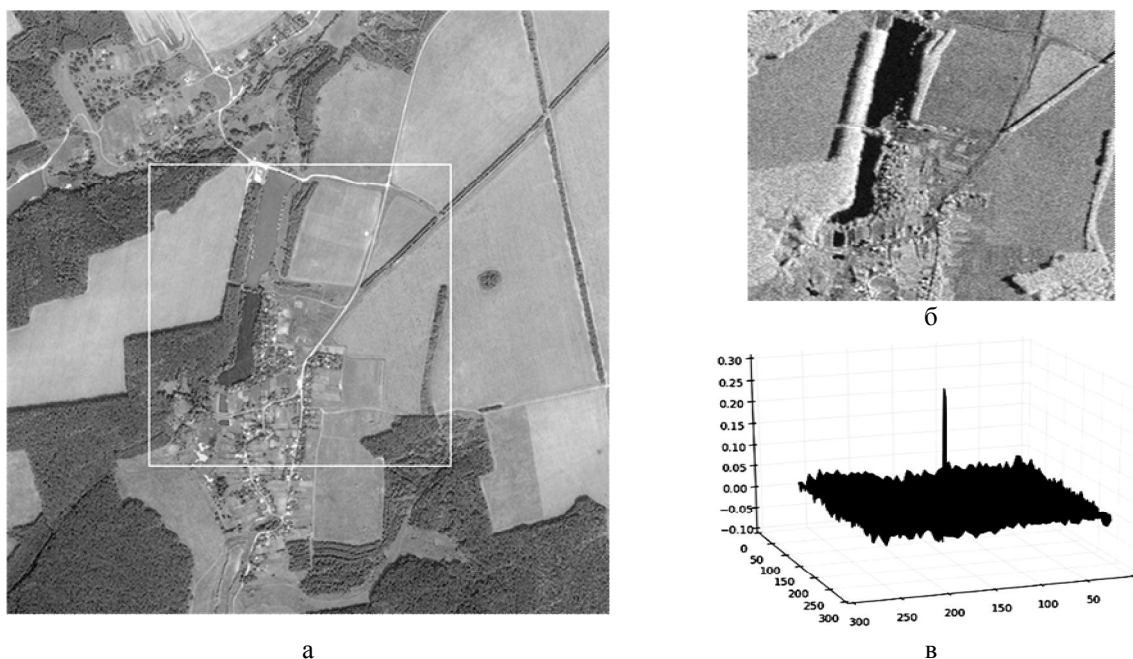


Рис. 1. Ілюстрація принципу роботи кореляційно-екстремальної системи навігації ЛА

Суть розробленої методики прив'язки полягає в наступному. Пропонується здійснювати кореляційне порівняння не вихідних ПЗ і ЕЗ, а зображень, що отримані після проведення операцій підкреслення контурів. У результаті порівняння різних алгоритмів підкреслення контурів було визначено, що найкращі результати показала попередня обробка зображень, що складається з чотирьох етапів:

1. Для кольорових зображень – перетворення до сірої палітри (256 градацій яскравості).
2. Придушення шуму і текстурного забарвлення земних покривів шляхом медіанної фільтрації методом вікна, що ковзає, з розмірами 5×5 [4].
3. Підкреслення контурів методом вікна, що ковзає, з розмірами 5×5 при використанні статистичної критеріальної функції – дисперсії яскравості в межах вікна [4]. На даному етапі обробки

також виконувалось усічення динамічного діапазону ЕЗ з метою видалення текстурних шумів на світлих ділянках відфільтрованих зображень. Пороговий рівень вибирався оператором вручну.

4. Контрастування (гамма-корекція) зображення [4].

Відфільтровані таким чином зображення піддавалися кореляційній обробці. Виконувалось обчислення коефіцієнта кореляції Пірсона для всіх можливих зсувів ПЗ відносно ЕЗ. Величина взаємного зміщення ПЗ і ЕЗ визначалася по положенню максимуму кореляційної функції. Працездатність запропонованої методики прив'язки зображень перевірялася в ході моделювання роботи кореляційно-екстремальної навігаційної системи ЛА, що оснащена РСА та використовує в якості ЕЗ космічні фотознімки земної поверхні і растрові зобра-

ження у вигляді електронних карт місцевості.

В ході моделювання всі операції з фільтрації зображень, за винятком операції вибору порогового рівня при усіканні динамічного діапазону ЕЗ, здійснювалися в автоматичному режимі. Процес кореляційно-екстремальної обробки зображень, що імітує роботу бортового корелятора, здійснювався в повністю автоматичному режимі.

Прив'язка наявного радіолокаційного зображення (рис. 2, а), що був отриманий РІАН [1] в ході льотних випробувань в листопаді 2010 року, здійснювалася до оптичних зображень з сервера компанії Google (зйомка проводилася в серпні 2013 р.) та з сервера Bing компанії Microsoft (зйомка проводилася в листопаді 2011 р., рис. 2, в). Крім того, проводилася прив'язка до растрового зображення, що було сформоване за цифровою картою місцевості з сервера компанії Visicom.

Перед початком моделювання здійснювалася корекція наявних геометричних перекручувань зображень за допомогою геоінформаційної системи

ERDAS Imagine. Мета даної обробки – максимально точно суміщення границь об'єктів на зображеннях. Для економії обсягів оперативної пам'яті та скорочення часу обробки роздільна здатність всіх зображень знижувалося в $\sim 2,5$ рази (масштаб зображень складав 4 м на піксель).

При виборі початкових умов для проведення моделювання було встановлено, що розміри ПЗ повинні бути досить великими. Наприклад, якщо розмір ПЗ становив $\sim 600 \times 600$ м, то при деяких зсувах ПЗ відносно ЕЗ з'являлися помилкові максимуми кореляційної функції. При збільшенні розмірів ПЗ більш 1000×1000 м помилкові прив'язки були відсутні.

У ході моделювання всі зображення піддавалися обробці відповідно з викладеною вище методикою.

Результати фільтрації та підкреслення контурів на фотографічному (знімок з сервера Bing) і радіолокаційному зображеннях показані на рис. 2, б, г відповідно.

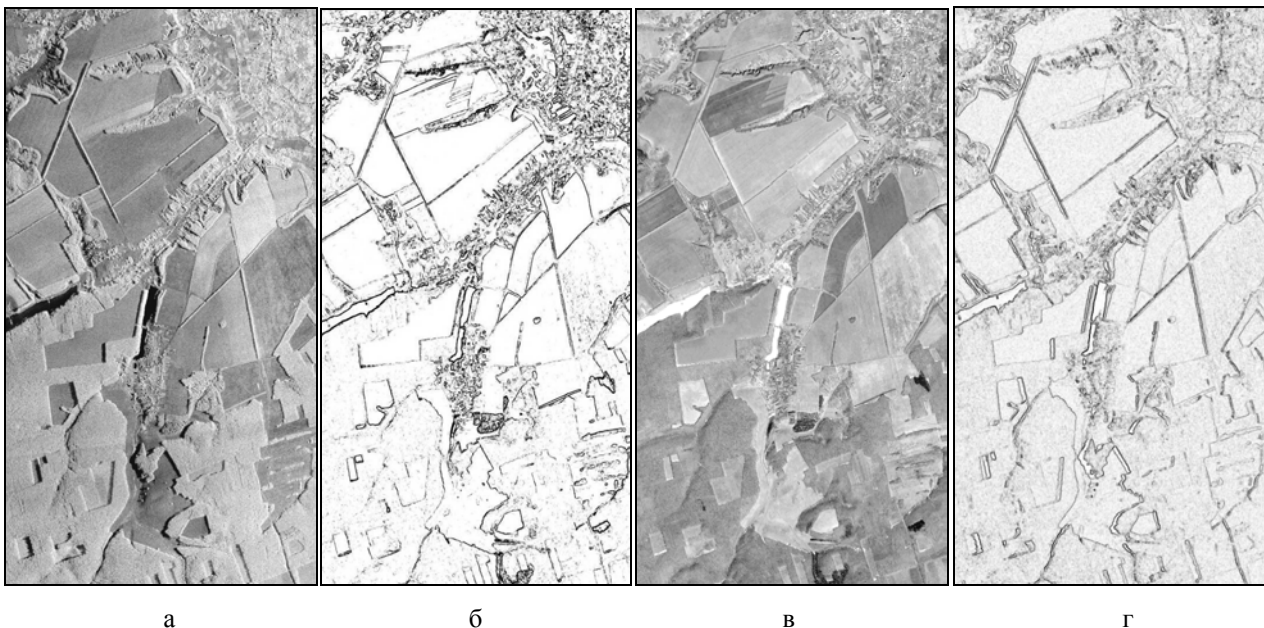


Рис. 2. Космічний фотознімок (а), радіолокаційне зображення (в) та результати їх обробки (б, г відповідно)

У процесі моделювання з відфільтрованого радіолокаційного зображення вирізався фрагмент (ПЗ) розмірами 374×374 пікселя з відомим зсувом щодо центру ЕЗ розмірами 747×747 пікселів. Всього для моделювання було використано 25 ПЗ, крок зміщення кожного фрагмента по вертикалі і горизонталі становив 340 м (85 пікселів).

Далі здійснювалося кореляційне порівняння зображень шляхом обчислення коефіцієнта кореляції Пірсона для всіх можливих зміщень ПЗ щодо ЕЗ. Визначалися координати максимуму кореляційної функції і порівнювалися з відомими нам зміщеннями ПЗ щодо центру ЕЗ.

Результати моделювання при прив'язці радіолокаційного зображення до фотознімку, отриманому з сервера компанії Google, наведені в табл. 1.

Середнє значення абсолютної погрішності визначення координат склало менше 3 метрів, а для центру ЕЗ похибка нульова. Пояснюється це відсутністю геометричних перекручувань в центрі еталона і їх зростанням по краях. При здійсненні прив'язки до фотознімку, що був отриманий з сервера Bing, помилкові прив'язки відсутні, величина похибки прив'язки змінювалася в межах $0 \dots 20$ м, що пояснюється підвищеним рівнем геометричних перекручень у використаному фотозображенні.

Величина абсолютних значень похибки прив'язки в метрах

Величина зсуву ПЗ, м	-680	-340	0	340	680
-680	8,9	4	4	0	4
-340	8,9	0	0	4	4
0	8,9	0	0	0	4
340	4	4	0	0	5,7
680	5,7	4	0	0	0

У разі прив'язки до растрової електронної карти місцевості, що виконана в псевдокольорах, надійна прив'язка здійснювалася по межах лісових масивів. Спроба прив'язки до ділянки електронної карти, що відображає інфраструктуру населеного пункту, призводила до помилкових прив'язок. Даний факт пояснюється тим, що на зображенні електронної карти місцевості нанесені лише межі житлових кварталів і дороги фіксованої ширини (без дотримання реального масштабу). При цьому основну площу радіолокаційного зображення даного населеного пункту займають дерева, будівлі та городи.

Висновки

1. Результати моделювання дозволяють зробити висновки про те, що запропонована методика прив'язки зображень, отриманих в різних діапазонах електромагнітних хвиль або синтезованих, є працездатною.

2. Запропонована методика дозволяє значно спростити технологію підготовки ЕЗ та знизити витрати на формування польотних завдань для ЛА, оснащених РСА.

3. Висока просторова розподільна здатність та інформативність зображень, сформованих РСА, дозволяють в будь-яких погодних умовах прив'язувати-

ся до орієнтирів на місцевості з похибками, що складають одиниці метрів.

4. Для забезпечення надійної роботи КЕСН необхідно на етапі підготовки ЕЗ оцінювати радіус кореляції місцевості та її інформативність.

Список літератури

1. Малогабаритні радіолокатори з синтезованою апертурою антени для малих літаків [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://radar.kharkov.com/index.php?s=3&p=1&n=65>.

2. Баклицкий Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баклицкий. – Тверь: ТО "Книжный клуб" 2009. – 360 с.

3. Антюфеев В.И. Синтез устойчивых к вариациям яркости изображения алгоритмов локализации целей в двумерных КЭСН. Ч. 2. Выбор эталона максимального сходства и синтез оптимальных алгоритмов / В.И. Антюфеев, Б.И. Макаренко, А.С. Султанов // Электромагнитные волны и электронные системы – 1999. – Т. 4. – № 4. – С. 65-71.

4. Красильников, Цифровая обработка 2D и 3D-изображений / Н.Н. Красильников. – Санкт-Петербург: «БВХ-Петербург» 2011. – 608 с.

Надійшла до редколегії 22.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАБОТЫ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.М. Гречаниук

Изложены результаты моделирования процесса работы корреляционно-экстремальной системы навигации летательных аппаратов, оснащенных радиолокатором с синтезированной апертурой антенны. Для обеспечения надежной привязки радиолокационных изображений местности, формируемых в процессе полета летательного аппарата, к эталонным фотографическим изображениям и цифровой карте местности была использована методика дополнительной фильтрации изображений, осуществляющая подчеркивание контуров объектов.

Ключевые слова: корреляционно-экстремальная система, всепогодная навигация, радиолокатор с синтезированной апертурой антенны, обработка изображений.

THE MODELING RESULTS OF FUNCTIONING THE IMAGE-BASED NAVIGATION OF AERIAL VEHICLE

A.M. Hrichaniuk

The modeling results of functioning the image-based navigation of aerial vehicle with a synthetic aperture radar antenna. Simulation was performed in the following sequence: filtering noise in the images, edge enhancement and correlation comparison filtered radar images and photographic images. The simulation results showed that the proposed method of processing allows reliable binding the radar images and photographic images.

Keywords: image-based navigation, all-weather navigation, synthetic aperture radar antenna, image processing.