УДК 621. 396

Д.В. Гриньов

Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

АВТОМАТИЧНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ БПЛА

У статті запропоновано підхід до розпізнавання об'єктів у режимі реального часу, який ґрунтується на побудові узагальнених концептуальних структур контурів зображень і дозволяє здійснити автоматичний пошук об'єктів засобами БПЛА.

безпілотні літальні апарати (БПЛА), автоматичне розпізнавання зображень об'єктів

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. Розвиток сучасної системи національної безпеки в Україні безпосередньо зв'язаний з використанням систем видової розвідки. Досвід воєнних конфліктів кінця XX – початку XXI століть показав, що наявність повних і достовірних даних про супротивника, своєчасно отриманих засобами видової розвідки, дозволить ефективно використовувати сучасні засоби озброєння з високими тактико-технічними характеристиками [1].

Одним з найбільш перспективних засобів видової розвідки в багатьох країнах світу є безпілотний літальний апарат (БПЛА) [1 – 3]. Процес пошуку об'єктів з використанням БПЛА ґрунтується на безперервному обміні інформацією між наземними (рухомими) пунктами управління (ПУ) і засобами спостереження. Обмін інформацією складається з передачі від БПЛА даних про об'єкт у реальному масштабі часу для прийняття рішення на пункті управління, з подальшою передачею команд управління від ПУ до БПЛА. Проте, залежно від поставлених завдань, наприклад ураження цілі, обробка інформації наземними програмно-технічними засобами збільшує інтервал часу між моментом теоретичного виявлення об'єкта (моментом фотографування) і моментом, коли отримана команда від ПУ.

Підвищення оперативності виявлення об'єктів можливо досягти за рахунок застосування програмно-апаратного комплексу автоматичного розпізнавання зображень, встановленого на борту БПЛА.

Метою статті є розробка підходу до автоматичного розпізнавання зображень у режимі реального часу в системі видової розвідки засобами БПЛА.

Основний матеріал

Сучасні БПЛА призначені для тривалого спостереження і використання у складі розвідувальних комплексів. Вони розрізняються за масою, висотою і тривалістю польоту. БПЛА класу «мікро» або МЛР мають масу до 300 – 500 грамів [4]. БПЛА класу «міні» мають масу до 150 кг і використовуються на висоті до 3 – 5 км з тривалістю польоту в середньому 3-5 годин. Клас БПЛА «міді» представляє важчі багатоцільові апарати масою від 200 до 1000 кг з висотою польоту до 5 – 6 км і тривалістю польоту до 10-20 годин. БПЛА класу «максі» - це апарати масою від 1000 кг до 8 – 10 т з висотою польоту до 20 км і тривалістю польоту більше 24 годин [2, 3]. Останнім часом з'явилися передумови до появи БПЛА класу «супермаксі» з вагою, що перевищує 15 тонн. Основні порівняльні характеристики БПЛА вітчизняного та іноземного виробництва представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики сучасних БПЛА

Льотно-технічні характеристики	Країни – виробники		
	США	Росія	Україна
Макс. швидкість, км/г	203 – 639	120-160	105
Радіус дії, км	125 – 4445	50-60	5-20
Тривалість польоту, год	5 – 38	2	2
Практична стеля, км	4,5 – 12,2	2,5-3	2,2

Одним з перспективних висотних американських розвідувальних БПЛА, розроблених за програмою Tier II Plus є RQ-4 Global Hawk, здатний вести тривалу розвідку на великій висоті та баражувати над районом розвідки більше 24 годин [2]. На Global Hawk встановлені три підсистеми розвідувальної апаратури одночасно. Радар з синтезованою апертурою забезпечує отримання радіолокаційного зображення місцевості в будь-яких погодних умовах з розрізненням до 0,3 м з можливістю супроводжування рухомої цілі, якщо її швидкість більше 7 км/ч. Денна електронно-оптична цифрова камера забезпечує отримання зображень з високим розрізненням. Датчик (1024 х 1024 точок) зв'язаний з телеоб'єктивом, який обертається на кут до 80 градусів (з фокусною відстанню 1750 мм) і працює у двох режимах. Пер-

© Д.В. Гриньов

ший режим – сканування та отримання зображення зі смуги шириною 10 км. Другий режим – отримання детального зображення області 2 х 2 км. Для отримання нічних зображень використовується інфрачервоний датчик (640 х 480 точок) [2].

У Росії у 1997 році був прийнятий на озброєння комплекс «СТРОЙ-П» з БПЛА «Пчела-1Т», що допускає телевізійну розвідку в світлий час доби [1, 2]. Комплекс «СТРОЙ-П» з БПЛА «Пчела-1Т» (головний розробник ГУП НДІ «Кулон»), створений у 1990-му, призначений для цілодобового спостереження об'єктів і передачі їх зображення в реальному масштабі часу на наземний пункт управління. Він включає 10 літальних апаратів, наземний пункт дистанційного керування, який разом з пусковою установкою розміщений на десантному бронетранспортері БТР-Д, технологічну машину (на базі автомобіля КАМАЗ) і транспортну-заряджаючу машину (на шасі ГАЗ-66).

В Україні створенням БПЛА займається Харківське КБ "Взлет" [5]. Серед останніх розробок є переносний комплекс повітряного спостереження "Ремез-3" і мобільний комплекс повітряного спостереження "Альбатрос-4" та їх модифікації. "Ремез-3" та "Альбатрос-4" призначається для ведення телевізійного спостереження місцевості в реальному масштабі часу.

Проведений аналіз сучасних та перспективних БПЛА показав, що переваги використання БПЛА в системі видової розвідки полягають у наступному. По-перше, БПЛА в середньому на порядок дешевше пілотованих літаків, які потрібно оснащувати системами життєзабезпечення, захисту, кондиціонування. Відсутність екіпажу на борту істотно знижує витрати на виконання завдання. По-друге, БПЛА мобільні (їх легко зберігати, транспортувати і використовувати, не потрібні аеродроми з покриттям). По-третє, вони багатофункціональні і прості в експлуатації. Більшість БПЛА, у тому числі й українські апарати, використовують інфрачервону і багатоспектральну оптико-електронну апаратуру високого і надвисокого розрізнення, та можуть нести на собі додаткову апаратуру управління, що дозволяє встановлювати на них системи автоматичного розпізнавання зображень об'єктів.

Існуючі методи розпізнавання зображень в основному орієнтовані на усунення впливу афінних перетворень на результат розпізнавання. Більшість методів при вирішенні подібних проблем мають істотні обчислювальні витрати та орієнтованість на обробку вузького класу зображень. До перспективних методів розпізнавання зображень у режимі реального часу належать структурні методи [6]. Проте при розпізнаванні реальних контурних зображень доводиться мати справу зі структурними перетвореннями, до яких відносяться:

– зміна характеристик, як окремих структурних елементів, так і всієї структури в цілому в певних напрямах орієнтації, зміна внутрішніх кутів (кутів сполучення структурних елементів);

– додавання нових структурних елементів в існуючу структуру або видалення існуючих структурних елементів з даної структури.

Запропоновано підхід до структурного розпізнавання контурних зображень у режимі реального часу на основі визначення ознак класу об'єктів розпізнавання інваріантних як до афінних, так і до структурних перетворень.

Розглянемо контур зображення I як структуру z_i^0 на підмножині A_i^0 множини непохідних елементів A^0

$$z_i^0 = \left\langle A_i^0, r, T \right\rangle, \qquad (1)$$

де A_i^0 – базисна множина структури Z_i,

$$A_i^0 = \left\{a_{i1}^0, a_{i2}^0, ..., a_{in}^0\right\}, \quad a_{ij}^0 = \left\langle x_{ij}, y_{ij} \right\rangle; \quad (2)$$

r – бінарні відношення, в яких знаходяться елементи множини $A_i^0, r = \left\langle A_i^0, R \right\rangle$, $R \le A_i^0 \times A_i^0$;

T – аксіоми структури, умовам яких задовольняють дані відносини.

Визначимо аксіоми структури T, яким задовольняють контурні зображення на площині. Нехай a_i^0, a_j^0, a_k^0 – довільні елементи A_i. Тоді відношення на елементах контурних зображень підпорядковуватимуться таким аксіомам:

1) рефлексивності:

$$\forall\left(a_i^0\right)\left[a_i^0 r a_i^0\right]; \qquad (3)$$

2) антисиметричності:

$$\forall\left(a_i^0\right)\forall\left(a_j^0 \ne a_i^0\right)\left[a_i^0 r a_i^0 \Rightarrow \neg a_j^0 r a_i^0\right]; \qquad (4)$$

3) транзитивності:

$$\forall\left(a_i^0\right)\forall\left(a_j^0\right)\forall\left(a_k^0\right)\left[a_i^0 r a_j^0 \wedge a_j^0 r a_k^0 \Rightarrow a_i^0 r a_k^0\right]. \qquad (5)$$

Структура замкнутого контуру зображення описується транзитивним замиканням його елементів.

Дана аксіоматика визначає $r = \left\langle A_i^0, R \right\rangle$ як відношення нестрогого лінійного (здійсненого) повного порядку.

Якщо розглядати контур зображення I_i на рецепторному полі, то при скануванні даного поля в певному напрямі відбувається «захоплення» контуру,

тобто виявлення його максимального елемента $\rho = \max\limits_{a^0 \in A_i} a^0$ щодо напрямку сканування.

Після «захоплення» контуру відбувається його обхід у певному напрямку розвитку структури. Таким чином, розвитком структури буде процес впорядковування просторових елементів структури на лінійній шкалі порядку p^0 у напрямку обходу контуру відносно ρ. Іншими словами, на шкалі P відбувається розгортка структури z_i^0. Розгорткою z_i^0 на p^0 є її відображення $f : z_i^0 \to p^0$. Шкала p^0 у загальному випадку не пов'язана з напрямом обходу контуру, але її початкове значення є номером точки «захоплення» контуру ρ. Залежно від напрямку обходу контуру і напрямку сканування рецепторного поля, лінійний порядок структурних елементів і його відображення на p^0 можуть бути різні для одного і того ж контурного зображення. Проте, враховуючи транзитивність відносин на структурі елементів контуру (циклічності $\forall\left(a_i^0\right)\left[a_i^0 \bar{r} a_i^0\right]$ відношень для замкнутого контуру), дані відображення $f : z_i^0 \to p^0$ для різних напрямків обходу при розгляді одних і тих же структур, мають властивості ізоморфізму.

Структури Z контурних зображень є підмножинами або сукупністю підмножин деяких множин, що формуються над базисними множинами за допомогою декартових добутків і (або) булеанів, які задовольняють аксіоми структури. Конструйована множина Z_i називається ступенем шкали, що будується над базисними множинами. У даному випадку ми розглядаємо одну базисну множину A^0 і ступені шкали будуються над множиною A^0, де $A_i^0 \subset A^0$, $z_i^0 = \left\langle a_{i1}^0, a_{i2}^0, ..., a_{in}^0 \right\rangle$ з внутрішніми бінарними відношеннями.

Визначення множини Z_i проводиться за m кроків шляхом послідовної побудови множин (ступенів) $z_i^0, z_i', ..., z_i^m = Z_i$ відповідно до певної схеми утворення ступенів $S = \left\langle s_1, s_2, ..., s_m \right\rangle$.

Таким чином будується узагальнена концептуальна структура $Z_i = S\left((A^0)^n\right)$, яка інваріантна до афінних і структурних перетворень.

Запропонований підхід дозволяє здійснити побудову математичних структур на шкалі множин, кожен ступінь якої є концептуальним описом початкової (денотативної) структури зображення з певним рівнем узагальнення структурних елементів.

Отримувані ступені шкали множин, залежно від їх структурного рівня, визначають структуру ознак розпізнавання інваріантну до тих або інших видів перетворень зображення.

Застосування запропонованого підходу в процесі автоматичного розпізнавання об'єктів дозволить класифікувати їх зображення в режимі реального часу програмно-апаратними засобами БПЛА.

Висновки

Аналіз сучасних БПЛА показав доцільність автоматичного розпізнавання зображень об'єктів у режимі реального часу в системі видової розвідки засобами БПЛА.

Запропоновано підхід до структурного розпізнавання зображень об'єктів в режимі реального часу, який ґрунтується на побудові узагальнених концептуальних структур даних об'єктів, що дозволяє усунути вплив афінних і структурних перетворень контурів зображень на результат розпізнавання програмно-апаратними засобами БПЛА.

Список літератури

1. Краснов А.А., Путилин А.А. БЛА: От разведки к боевым действиям // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – №4. – С.41-47.

2. Уголок неба [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.airwar.ru/bpla.html (2007).

3. Сурков А.М. Беспилотные летательные аппараты – украинские горизонты // AeroBusiness. – 1999. – № 1. – С. 44-47.

4. Кулик А.С., Нарожный В.В., Лавошник И.В., Пунегов С.Ю., Таран А.Н. Концепция микробеспилотных летательных аппаратов // Сборник трудов семинара и материалы круглого стола «Наука и технологии против терроризма. Предотвращение угрозы и устранение последствий». – Х.: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2006. – С. 40-41.

5. Конструкторское бюро «ВЗЛЕТ» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://vzlet.com.ua (2007).

6. Гринев Д.В. Классификация и идентификация объектов с использованием структурно-лингвистического метода // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 11 (39). – С. 44-48.

Надійшла до редколегії 5.03.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.