

Тристан А.В., Бережний А.О., Крижанівський І.М. Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків
Салаш О.А. Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ

АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ ДІЙ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Льотно-технічні характеристики безпілотних літальних апаратів дозволяють використовувати їх для вирішення широкого спектру завдань з пошуку стаціонарних та динамічних об'єктів і моніторингу їх стану. Дані завдання вимагають ретельного планування маршрутів польотів з урахуванням різноманітних факторів впливу на них, формування управляючих рішень з високою оперативністю та обґрунтованістю. Існуючі моделі та методи планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів для пошуку стаціонарних та динамічних об'єктів характеризуються значною обчислювальною складністю. Виникає необхідність розробки у рамках системи підтримки прийняття рішень інформаційної технології автоматизованого планування дій безпілотних літальних апаратів під час виконання ними місії, використовуючи об'єктно-орієнтований метод проектування.

В статті розглянуті завдання, які повинна вирішувати інформаційна технологія планування дій безпілотних літальних апаратів за своїм призначенням. Побудована загальна структура знанняорієнтованої інформаційної технології планування дій безпілотних літальних апаратів. Інформаційна технологія представлена у вигляді послідовності інформаційних потоків, процесів їх обробки та інструментальних засобів вибору заходів планування маршрутів. Запропонований інструментарій інформаційної технології для процесу обробки інформаційних потоків (функції) та структурна схема системи прийняття рішень, що описує технологію її функціонування.

В статті сформовано архітектуру перспективної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для планування дій безпілотних літальних апаратів, яка складається з двох частин: інформаційної технології автоматизованого виявлення та класифікації об'єктів безпілотними літальними апаратами та інформаційної технології планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів.

Доведено, що реалізація інформаційної технології автоматизованого планування маршрутів польоту безпілотних літальних апаратів в рамках системи підтримки прийняття рішень дозволить оперативно змінювати маршрут в процесі виконання місії за розпізнаними зображеннями.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, інформаційна технологія, інформаційний потік, система підтримки прийняття рішення.

Trystan A., Berezhnyi A., Kryzhanivskiy I. Kharkov National Air Force University Named
Ivan Kozhedub, Kharkov

Salash O. Ivan Cherniakhovskyi National Defense University of Ukraine, Kyiv

ARCHITECTURE OF INFORMATION TECHNOLOGY OF AUTOMATED PLANNING OF ACTIONS OF UNMANNED AIRCRAFT

The flight technical characteristics of unmanned aerial vehicles allow them to be used to solve a wide range of problems in finding stationary and dynamic objects and monitoring their condition. These tasks require careful planning of flight routes, taking into account various factors affecting them, the formation of control decisions with high efficiency and validity. Existing models and methods for planning flight routes of unmanned aerial vehicles for the search for stationary and dynamic objects are characterized by significant computational complexity. There is a need to develop, within the framework of a decision-making support system for information technology, automated planning of unmanned aerial vehicle actions during their mission, using an object-oriented design method.

The article discusses the tasks that information technology should plan for the action planning of unmanned aerial vehicles for their intended purpose. The general structure of the knowledge-oriented system for planning the actions of unmanned aerial vehicles has been built. Information technology is presented in the form of a sequence of information flows, their processing processes and tools for selecting route planning activities. The proposed toolkit of information technology for the processing of information flows (functions) and the structural diagram of a decision-making system that describes the technology of its functioning.

The article formed the architecture of a promising intelligent decision support system for planning the actions of unmanned aerial vehicles, which consists of two parts: information technology for automated detection and classification of objects by unmanned aerial vehicles and information technology for planning flight routes of unmanned aerial vehicles.

It is proved that the implementation of information technology for automated flight planning of unmanned aerial vehicles within the framework of the decision support system will allow you to quickly change the route in the process of completing a mission based on recognized images.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, information technology, information flow, decision support system.*

Тристан А.В., Бережной А.А., Крыжановский И.Н. *Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков*

Салаш О.А. *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*

АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Летно-технические характеристики беспилотных летательных аппаратов позволяют использовать их для решения широкого спектра задач по поиску стационарных и динамических объектов и мониторинга их состояния. Данные задачи требуют тщательного планирования маршрутов полетов с учетом различных факторов воздействия на них, формирования управляющих решений с высокой оперативностью и обоснованностью. Существующие модели и методы планирования маршрутов полетов беспилотных летательных аппаратов для поиска стационарных и динамических объектов характеризуются значительной вычислительной сложностью. Возникает необходимость разработки в рамках системы поддержки принятия решений информационной технологии автоматизированного планирования действий беспилотных летательных аппаратов во время выполнения ими миссии, используя объектно-ориентированный метод проектирования.

В статье рассмотрены задачи, которые должна решать информационная технология планирования действий беспилотных летательных аппаратов по своему назначению. Построена общая структура знаниеориентированной информационной технологии действий беспилотных летательных аппаратов. Информационная технология представлена в виде последовательности информационных потоков, процессов их обработки и инструментальных средств выбора мероприятий планирования маршрутов. Предложенный инструментарий информационной технологии для процесса обработки информационных потоков (функции) и структурная схема системы принятия решений, которая описывает технологию ее функционирования.

В статье сформировано архитектуру перспективной интеллектуальной системы поддержки принятия решений для планирования действий беспилотных летательных аппаратов, которая состоит из двух частей: информационной технологии автоматизированного обнаружения и классификации объектов беспилотными летательными аппаратами и информационной технологии планирования маршрутов полетов беспилотных летательных аппаратов.

Доказано, что реализация информационной технологии автоматизированного планирования маршрутов полета беспилотных летательных аппаратов в рамках системы поддержки принятия решений позволит оперативно изменять маршрут в процессе выполнения миссии по распознанным изображениям.

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат, информационная технология, информационный поток, система поддержки принятия решения.*

1. Вступ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) характеризуються низькою вартістю, простотою і доступністю технології виробництва. Льотно-технічні характеристики БПЛА дозволяють використовувати їх для вирішення широкого спектру завдань з пошуку стаціонарних та динамічних об'єктів і моніторингу їх стану. Дані завдання вимагають ретельного планування маршрутів польотів БПЛА з урахуванням різноманітних факторів впливу на них, формування управляючих рішень з високою оперативністю та обґрунтованістю. Це може бути досягнуто шляхом створенням інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення (СППР) [1, 2]. Реалізація інформаційної технології автоматизованого планування маршрутів польоту БПЛА в рамках СППР дозволить сформувати архітектуру перспективної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для планування дій БПЛА.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Дослідження процесу автоматизованого планування маршрутів польоту БПЛА для пошуку динамічних та стаціонарних об'єктів проводиться із застосуванням методології системного аналізу, теорії ймовірності, математичного моделювання, елементів штучного інтелекту, сучасних інформаційних технологій. Існуючі моделі та методи планування маршрутів польотів БПЛА для пошуку стаціонарних та динамічних об'єктів характеризуються значною обчислювальною складністю [3]. Виникає необхідність розробки у рамках СППР інформаційної технології автоматизованого планування дій БПЛА під час виконання ними місії використовуючи об'єктно-орієнтований метод проектування. Теоретичною основою розробки інформаційної технології є роботи з об'єктно-орієнтованого проектування складних інформаційних систем [4-6]. Удосконалення інформаційної технології ґрунтується на роботах [6-9].

3. Мета дослідження

Метою написання статті є розробка архітектури інформаційної технології автоматизованого планування дій безпілотних літальних апаратів з метою підвищення оперативності прийняття рішення на змїну маршруту в ході виконання місії БПЛА.

4. Основні наукові результати

Найважливішою функціональною підсистемою СППР є підсистема планування дій БПЛА. Дана підсистема забезпечує максимально можливий рівень автономного виконання поставлених перед БПЛА цільових завдань у невизначених умовах виконання місії.

За своїм призначенням інформаційна технологія (ІТ) планування дій БПЛА повинна вирішувати такі завдання:

- розвідка і розпізнавання (підтвердження) об'єктів, заданих у польотному завданні;
- планування дорозвідки (повторного пошуку) і додаткового розпізнавання об'єктів у випадку їх втрати або незадовільної ідентифікації при першому прольоті;
- перебудова маршруту польоту БПЛА при виявленні нових об'єктів.

Для кожного з цих завдань при розробці бази знань (БЗ) інформаційною технологією виділяються проблемні ситуації (ПрС) та їх ситуаційні вектори (СВ) [7].

При реалізації вказаних завдань БПЛА має враховувати дії протилежної сторони щодо перешкоди виконанню місії або (та) впливу метеорологічних умов. При проектуванні БЗ СППР для кожного з видів дій протилежної сторони формуються відповідні ПрС і СВ, засновані на логіці предикатів.

Для рішення сформульованих вище завдань з максимально можливим рівнем автономності в складі ІТ передбачається система машинного зору, що забезпечує пошук, визначення, розпізнавання та автоматичну ідентифікацію об'єктів пошуку. Система машинного зору повинна включити (залежно від цільового навантаження БПЛА):

- оптико-електронні та радіолокаційні системи пошуку об'єктів, що складають цільове навантаження БПЛА;

– програмні комплекси обробки зображень, отримані в ході пошуку цільовим навантаженням БПЛА.

До складу системи ідентифікації протидії БПЛА доцільно включити:

– датчики, що фіксують факти і вимірюють характеристики застосовуваних засобів противника та їх розпізнавання;

– програмні засоби обробки результатів вимірів.

Взаємозв'язок інформаційних технологій в єдину знанняорієнтовану систему наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Загальна структура знанняорієнтованої системи планування дій безпілотних літальних апаратів

IT автоматизованого планування дій БПЛА розроблена в вигляді IDEF0-діаграм.

IDEF0-діаграми містять такі елементи [5]:

– прямокутники, що показують функції (процеси обробки інформаційних потоків), що виконуються в процесі застосування інформаційної технології;

– горизонтальні стрілки, що відображають інформаційні потоки, зокрема вхідні та вихідні дані;

– вертикальні стрілки, що направлені зверху вниз, відображають входи керування;

– вертикальні стрілки, що направлені знизу вгору, відображають інструментальні засоби підтримки прийняття рішень, що застосовуються для реалізації інформаційної технології.

На рисунку 2 представлена IT у вигляді послідовності інформаційних потоків, процесів їх обробки та інструментальних засобів вибору заходів планування маршрутів.

Вхідні інформаційні потоки:

– задача (місія) пошуку (підтвердження) об'єктів;

– тип БПЛА, що обраний для виконання місії.

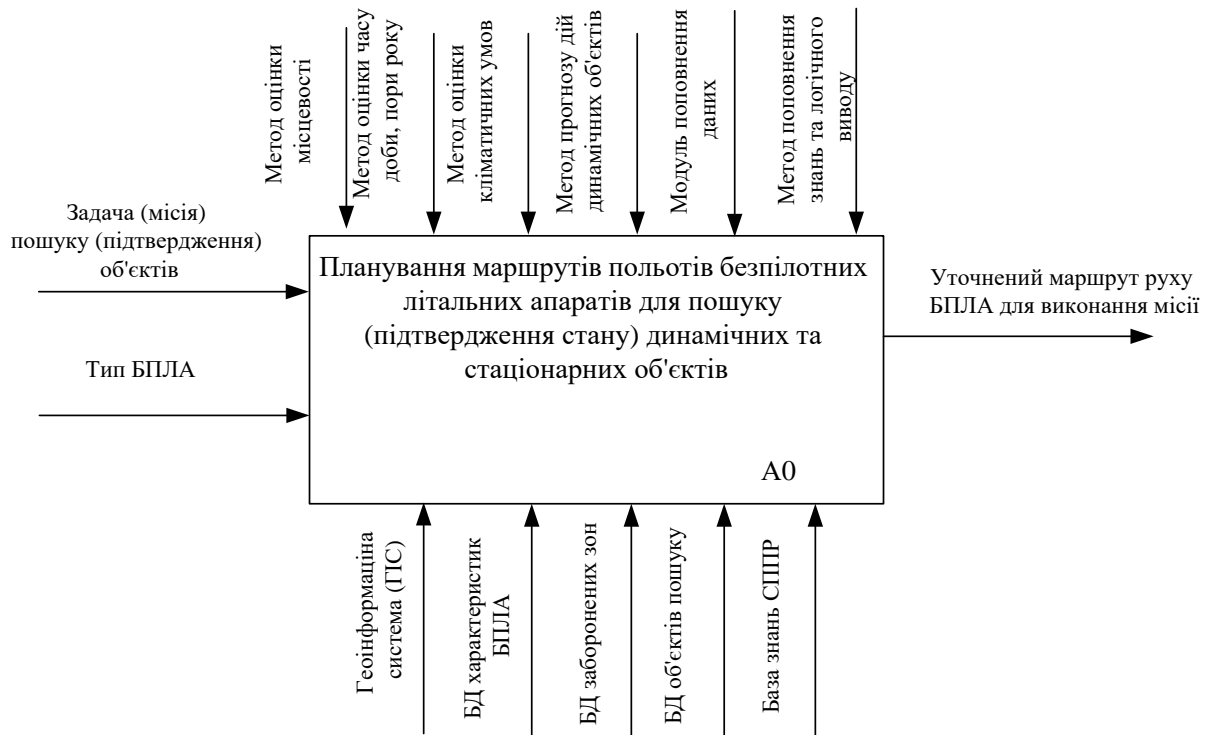


Рис. 2. Діаграма IDEF0 основного процесу ІТ

Вихідний інформаційний потік:

– уточнений маршрут БПЛА для виконання місії у вигляді просторово-часового графіка.

Процеси оброблення інформаційних потоків (функції) наведено на рисунку 3.

Інструментарієм ІТ є:

- геоінформаційна система;
- база даних характеристик БПЛА;
- база даних заборонених зон;
- база даних об'єктів пошуку;
- база знань СППР.

Рішення в СППР отримується за допомогою спеціальних процедур логічного виведення у БЗ. У ній повинні бути розміщені формалізовані знання, результати роботи обладнання пошуку, типові правила зміни маршруту, пошуку (у т. ч. повторного), рішення завдань переслідування об'єктів з автоматичними перерахунком точок маршруту та зміни польотного завдання. База знань організується як сімейство продукційних правил, що функціонують у складі СППР [10].

Розв'язання задач навігації і цілевизначення для пошуку БПЛА зводиться до максимально достовірного виявлення деяких класів об'єктів на місцевості [8], [9], їх ідентифікації в межах установлених класів і видачі визначених директив виконавчим органам управління.

У БЗ СППР повинні бути зафіксовані образи об'єктів для їх повторного пошуку. При недостатньому об'єкту інформації для їх розпізнавання повинна видаватися команда на “допошук” об'єкту.

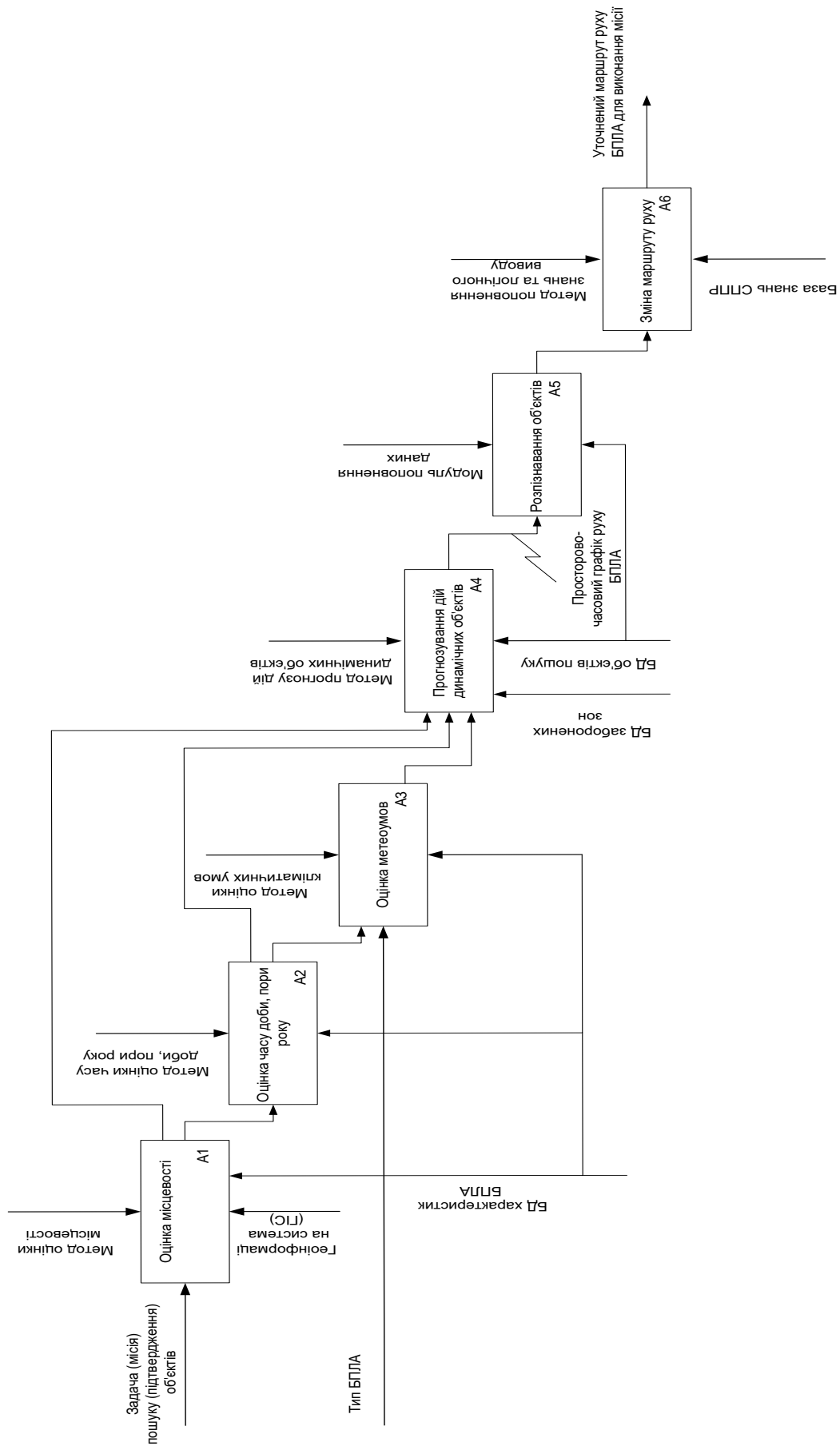


Рис. 3. Процеси оброблення інформаційних потоків в ІТ

Удосконалена ІТ має включати такі компоненти:

а) комплекси програм, що реалізують методи рішення завдань пошуку на базі розроблених математичних алгоритмів;

б) бази даних (БД), що містять дані для рішення завдань пошуку;

в) інтерфейсні програми (ІП), що забезпечують збір і передачу даних в межах СППР;

г) комплекс програм роботи з БЗ, що складаються з таких модулів:

- модуль БЗ СППР;

- модуль корегування і поповнення БЗ;

- модуль формування варіантів рішень;

д) комплекс програм аналізу варіантів і вибору конкретного рішення за критеріями часу та ймовірності успішної реалізації;

е) комплекс програм перетворення обраного рішення у виконавчу форму, зокрема в цифровий код для його реалізації в системі автоматичного управління (САУ) БПЛА.

Структурна схема системи прийняття рішень, що описує технологію її функціонування, наведена на рисунку 4.

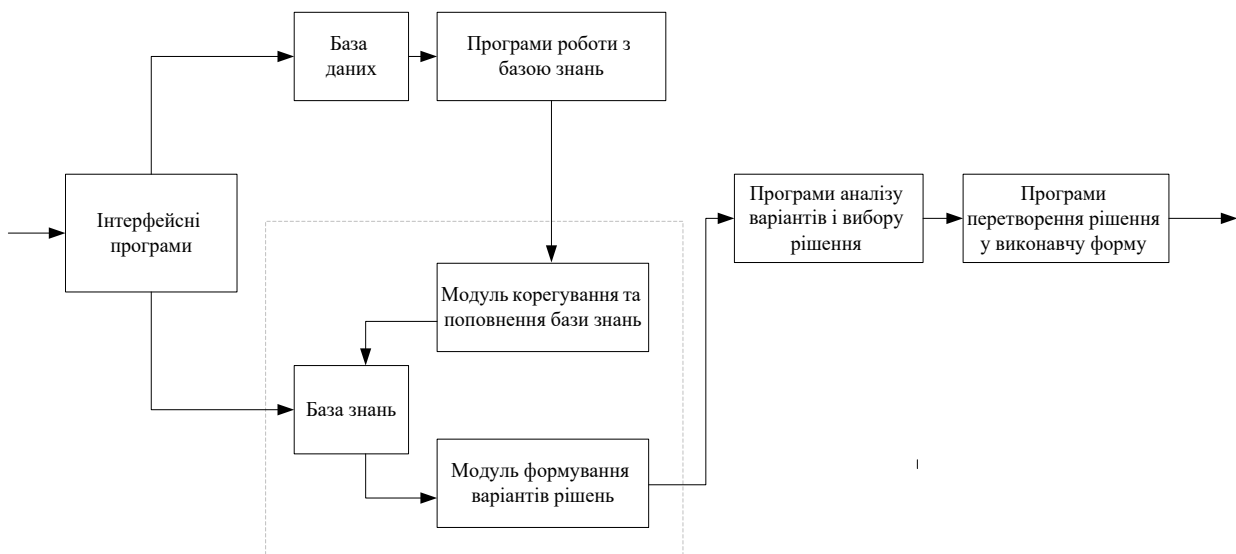


Рис. 4. Структурна схема системи прийняття рішення щодо корегування місії БПЛА за результатами розпізнавання об'єктів

ІТ планування маршрутів оперує з двома видами об'єктів:

а) основні об'єкти, які визначаються на інтервалі часу $[t_0, t_k]$ попереднім цільовим завданням БПЛА;

б) додаткові об'єкти, які з'являються при ліквідації виникнення ПрС в ході польоту.

Вважатимемо, що ПрС виникають у випадкові моменти часу $t \in [t_0, t_k]$.

Введемо множини C – об'єктів першого типу (заздалегідь заданих) та S – об'єктів другого типу (пошук та виявлення яких змінюється в процесі реалізації польотного завдання).

Множина $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N\}$ – час, в який планується пошук конкретних об'єктів з множини C . Зв'язок множин C та T представимо у вигляді бінарного відношення виду:

$$Q \subseteq T \times C. \quad (1)$$

Виділимо в множині C підмножину знайдених (підтверджених) C_d та не знайдених (не підтверджених) об'єктів C_{nd} . Першим завданням є виділення в момент часу $\tau_i \in T$ не

знайдених (не підтверджених) об'єктів $C_{\tau_i} \in C_{nd}$. Для розв'язання даної задачі використовується множина продукційних правил виду:

$$P_{r_1} = \left\{ \pi_{ip}^{(1)} \mid l(\overline{1, N}), p = (\overline{1, M}) \right\}, \quad (2)$$

яка складається з правил:

$$\pi_{ip}^{(1)}: \text{якщо} \left\{ P_p^{(1)}(a(\tau_i), d(\tau_i), e(\tau_i)) = 1 \right\}, \text{то} \left\{ C_{\tau_i} \in C_d \right\} \text{інакше} \left\{ C_{\tau_i} \in C_d \right\} \quad (3)$$

В даних правилах для аналізу досягнення результатів пошуку кожного, запланованого в момент часу $t = \tau_i$ об'єкту використовуються відповідні предикати $P_p^{(1)}$, значення яких описують факти виконання ("1") або невиконання ("0") умов, при яких об'єкт вважається знайденим (підтвердженим). Аргументами даних предикатів є значення векторів даних $a(t), d(t)$, що надходять відповідно від оптоелектронної апаратури БПЛА та інших датчиків цільового навантаження. Вектор $e(t)$ – інформація, яка надходить від інших БПЛА (за наявності такого обміну) або від наземної станції.

Для формування множини додаткових об'єктів використаємо множину Z етапів польоту БПЛА (вирішуваних завдань) та множину S – ПрС, що вимагають формування та реалізацію відповідних рішень. Зв'язок даних множин представимо бінарним відношенням:

$$Q' \subseteq Z \times S \quad (4)$$

Вважаємо, що для виділення в кожен момент часу $t \in [t_0, t_k]$ ПРС, яка потребує конкретного рішення, використовується інформація $a(t), d(t)$ та $e(t)$. Тоді для пошуку додаткових об'єктів будемо використовувати систему продукційних правил виду:

$$P_{r_2} = \left\{ \pi_{\alpha\beta}^{(2)} \mid \alpha = (\overline{1, L}), \beta = (\overline{1, K}) \right\}, \quad (5)$$

де кожне правило $\pi_{\alpha\beta}$ є конкретизацією правила виду:

$$\pi_{\alpha\beta}^{(2)}: \text{якщо} \left\{ P_{\alpha}^{(2)}(a(t), d(t), e(t)) = 1 \right\}, \text{то} \left\{ \text{ситуація } S_{\beta} \right\} \text{інакше} \left\{ \text{перехід } \pi_{\sigma\gamma}^{(2)} \right\} \quad (6)$$

Правило $\pi_{\sigma\gamma}^{(2)}$ належить до множини правил P_{r_1} виду (2), (3). У формулі (6) через $P_{\alpha}^{(2)}(a(t), d(t), e(t))$ позначено α -й предикат, який залежно від векторів $a(t), d(t), e(t)$ приймає значення "1" або "0". Параметр S_{β} представляє собою ідентифікатор β -ої ПрС, який є елементом множини S таких ситуацій.

Іншим завданням є виділення у відповідні моменти часу $t \in [\tau_i, \tau_{i+1}]$ множини ПРС, які потребують рішення:

$$S_{\beta} = \arg \left\{ P_{\alpha}^{(2)}(a(t), d(t), e(t)) = 1 \mid \alpha = (\overline{1, L}) \right\}, \quad (7)$$

які включаються до підмножини $S(t) \subset S$ поточних проблемних ситуацій. У зв'язку з тим, що проблемні ситуації виникають у випадкові моменти часу, множина $S(t)$ повинна

формуватися шляхом прогнозування значень векторів $a(t)$ та $d(t)$, що входять до предикатів $P_1^{(2)}, P_2^{(2)}, \dots, P_L^{(2)}$.

Таким чином, робота інформаційної технології полягає у використанні множин правил (5) та (6) в поточний момент часу $t \in [t_0, t_k]$ польоту БПЛА та правил (2), (3) в задані моменти часу $\tau_i \in T$. Результатом роботи є множини виниклих проблемних ситуацій $S(t)$ та не знайдених (не підтверджених) об'єктів C_{nd} .

Якщо дані множини у відповідні моменти часу не є порожніми, то вони передаються як вхідні дані до формування рішень.

5. Висновки

В статті сформовано архітектуру перспективної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для планування дій БПЛА. Розроблена інформаційна технологія автоматизованого планування дій БПЛА складається з двох частин:

- інформаційної технології автоматизованого виявлення та класифікації об'єктів безпілотними літальними апаратами;
- інформаційної технології планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів.

Інформаційна технологія автоматизованого планування дій безпілотних літальних апаратів використовує знанняорієнтовані методи розпізнавання образів (знімків) та їх інтелектуальний аналіз, що дозволяє підвищити оперативність та обґрунтованість рішень.

Реалізація інформаційної технології автоматизованого планування маршрутів польоту БПЛА в рамках СППР дозволить оперативно змінювати маршрут в процесі виконання місії за розпізнаними зображеннями.

Список використаної літератури

1. Королюк Н.А., Еременко С.Н. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами на наземном пункте управления. Системы обработки информации. 2015. № 8 (133). С. 31–36.
2. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами. Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 22–26.
3. Тристан А.В., Бережний А.О., Крижанівський І.М. Математичні моделі та методи планування повітряної розвідки рухомих й стаціонарних об'єктів з застосуванням безпілотних літальних апаратів. Проблеми інформатизації: тези доп. 7-ї міжнар. наук.-техн. конф. 13-15 лист. 2019 р. Черкаси – Харків – Баку – Бельсько-Бяла. – Черкаси, – Харків, – Баку, –Бельсько-Бяла, 2019, Том 3. С. 41.
4. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++: пер. с англ. М.: “Издательство Бином”, 2000. 560 с.
5. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя: пер. с англ. М.: ДМК, 2000. 432 с.
6. Маторин С.И. Анализ и моделирование бизнес-систем: системологическая объектно-ориентированная технология. Х.: ХНУРЕ, 2002. 322 с.
7. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. Казань: ГБУ РЦМКО, 2013. 768 с.
8. Тимочко А.И., Олизаренко С.А., Лавров О.Ю. Метод дешифрирования аэроснимков на основе при знакового пространства. Системы обработки информации. 2015. Вип. 1 (126). С. 84–87.
9. Олизаренко С.А. Розробка функціональної моделі процесу створення бази знань про розпізнавання об'єктів і дій противника на основі нейромереж та нечіткої логіки. Збірник

наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2017. № 1 (50). С. 58–62.

10. Сидоркина И.Г. Системы искусственного интеллекта. М.: КноРус, 2011. 248 с.

References

1. Korolyuk, N.A. and Eremenko, S.N. (2015), "Intellectual'naya sistema podderzhki prinyatiya reshenii pri upravlenii bespilotnymi letatel'nymi apparatami na nazemnom punkte upravleniya" [Intelligent decision support system for controlling unmanned aerial vehicles at a ground control point], *Information processing systems*, No. 8(133), pp. 31–36.

2. Buryi, A.S. and Shevkunov, M.A. (2015), "Podkhod k postroeniyu system podderzhki prinyatiya reshenii pri upravlenii bespilotnymi letatel'nymi apparatami" [Approach to the construction of decision support systems for the management of unmanned aerial vehicles], *Transport business in Russia*, No. 6, pp. 22–26.

3. Trystan, A.V., Berezhnyi, A.O. and Kryzhanivskiy, I.M. (2019), "Matematychni modeli ta metody planuvannya povitrianoi rozvidky rukhomykh y statsionarnykh ob'ektiv z zastosuvanniam bespilotnykh litalnykh aparativ" [Mathematical models and planning methods for aerial reconnaissance of mobile and stationary objects using unmanned aerial vehicles], *Problems of informatization: abstracts add. 7th international scientific and technical conf. November 13-15, 2019, Cherkasy, Kharkov, Baku, Bielsko-Biala*, T. 3, p. 41.

4. Buch, G. (2000), "Ob"ektно-orientirovannyi analiz i proektirovanie s primerami prilozhenii na S++" [Object Oriented Analysis and Design with C ++ Application Examples], "Izdatel'stvo Binom", Moscow, 560 p.

5. Buch, G., Rambo, D. and Dzhokobson A. (2000), "Yazyk UML. Rukovodstvo pol'zovatelya" [UML language. User's manual], DMK, Moscow, 432 p.

6. Matorin, S.I. (2002), "Analiz i modelirovanie biznes-sistem: sistemologicheskaya ob"ektно-orientirovannaya tekhnologiya" [Analysis and modeling of business systems: a systemological object-oriented technology], KhNURE, Kharkov, 322 p.

7. Moiseev, V. S. (2013), "Prikladnaya teoriya upravleniya bespilotnymi letatel'nymi apparatami: monografiya" [Applied Control Theory of Unmanned Aerial Vehicles: Monograph], GBU RTsMKO, Kazan, 768 p.

8. Timochko, A.I., Olizarenko, S.A. and Lavrov, O.Yu. (2015), "Metod deshifirovaniya aerosnimkov na osnove priznakovogo prostranstva" [Aerial photographs decryption method based on feature space], *Information processing systems*, – Vol. 1 (126), pp. 84–87.

9. Olizarenko, S. A. (2017), "Rozrobka funktsionalnoi modeli protsesu stvorennia bazy znan pro rozpoznavannia ob'ektiv dii protyvnyka na osnovi neiromerezh ta nechitkoi lohiky" [Development of a functional model of the process of creating a knowledge base on the recognition of enemy objects and actions based on neural networks and fuzzy logic], *Collection of scientific papers of Kharkov National University of Air Force*, No. 1 (50), pp. 58–62.

10. Sidorkina, I. G. (2011), "Sistemy iskusstvennogo intellekta" [Artificial intelligence systems], KnoRus, Moscow, 248 p.