

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-16>

УДК 004.7

Олександр МЕЛЬНИЧЕНКО

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-8565-7092>

oleksandr.melnychenko@live.com

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА САМООРГАНІЗАЦІЇ ДЛЯ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

Динамічне отримання зображення у тривимірному просторі в динамічному режимі з подальшою обробкою для розпізнавання структурних об'єктів точної природи є актуальним завданням. Потрібно забезпечити високу точність результату розпізнавання та правильне, повне визначення зображення. Далі необхідно розрахувати кількість таких об'єктів. Крім того, важливо забезпечити функції виявлення всередині такої самоорганізованої системи у разі класифікації вхідних даних. У даній роботі ми пропонуємо нову самоорганізовану автоматизовану систему, в якій один або кілька БПЛА контролюються та відстежуються для отримання зображень виявлених об'єктів, розглядаючи один об'єкт за раз. Результат цього дослідження слугує основою для створення нових засобів, які можуть запускати та контролювати безпілотні літальні апарати над підмножинами вивченого просторового району відповідно до заданих початкових даних. Така розроблена архітектура дозволяє досягти відповідного рівня організації при визначенні наступних кроків у функціонуючих підсистемах та компонентах. Проведені експерименти підтверджують можливість практичного впровадження запропонованих архітектурних рішень.

Ключові слова: самоорганізована автоматизована система, безпілотні літальні апарати, виявлення об'єктів, структурні об'єкти.

Oleksandr MELNYCHENKO

Khmelnytskyi National University

A SELF-ORGANIZED AUTOMATED SYSTEM TO CONTROL UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR OBJECT DETECTION

Acquiring images dynamically in a three-dimensional space and subsequently processing them to identify precise structural objects is crucial. Ensuring high recognition accuracy and proper, comprehensive image definition is vital. It is also imperative to incorporate detection features within the self-organized system during input data classification. In the present study, we propose a unique self-organized automated system where one or multiple UAVs are managed and tracked to capture images of identified objects, examining one object at a time. The developed architecture of an automated system for the dynamic acquisition of images of structural objects in three-dimensional space allows for reaching the appropriate level of organization when determining the next steps in the functioning of subsystems and components. Control tools provide programmatic mission control by grouping a fixed number of UAVs into groups and performing targeted work in fragments of the operating environment. The monitoring software module of the automated system processes the mission output data. It analyzes and compares based on already valid data to ensure the most accurate result of calculations of the number of fruits on the trees. The findings of this research lay the foundation for developing new tools capable of launching and supervising unmanned aerial vehicles over subsets of the analyzed spatial region based on the provided initial data. The devised architecture facilitates reaching the suitable level of organization when deciding the following actions for operating subsystems and components. The performed experiments verify the feasibility of implementing the suggested architectural approaches. Directions for further research include improving the flight methods implemented in the system, image recognition, and calculating the number of recognized objects.

Keywords: automated system, pattern recognition, structural objects, unmanned aerial vehicles.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Отримання зображень у 3D-просторі з використанням динамічних методів та наступна обробка з метою ідентифікації структурних об'єктів ставлять перед нами актуальні виклики. Завдання вимагає не лише гарантії високої точності розпізнавання, але й насамперед точного та всебічного визначення зображення. Наприклад, питання створення автоматичних систем розглядаються у дослідженні [1], а в роботі [2] аналізуються та пропонуються засоби забезпечення інформаційної безпеки в цих системах. У роботі [] виконуються огляд відомих методів розпізнавання та запропонованих вдосконалень. Тому для вирішення такої наукової проблеми слід розробити повний процес, насамперед методи динамічного отримання зображень множини точних структурних об'єктів у 3D-просторі.

Перспективним напрямом вирішення даного наукового завдання є розроблення методів та інструментів, заснованих на автоматизованій системі, що керує одним чи декількома безпілотними літальними апаратами (БПЛА) [3], які здійснюють збір зображень об'єктів, аналізуючи їх по одному. Для вирішення згаданої проблеми, фізичні пристрої та система керування повинні мати інтеграційні функції. Така система керування має забезпечити потрібні інтерфейси для сторонніх рішень, з допомогою яких задачі

будуть надходити до групи пристроїв. Крім того, важливо гарантувати виявлення функцій у такій самоорганізованій системі при класифікації вхідних даних [4]. Відповідно, ця робота пропонує нову самоорганізовану автоматизовану систему, в рамках якої один або декілька БПЛА контролюються та спостерігаються для збору зображень виявлених об'єктів, аналізуючи їх поодиночі.

Аналіз ділянок обличчя, що відтворюють емоційну міміку

Операції групи БПЛА схожі на ті, що використовуються для керування одним БПЛА. Але для управління групою БПЛА в реальному часі необхідно враховувати більше об'єктів у системі та розраховувати їх відносне розташування [5]. Групу БПЛА зазвичай використовують для охоплення великих територій. Кожен окремих дрон у такій групі має відповідні характеристики [6] такі як точне делегування завдань у критичних ситуаціях та правильне формування маршрутів. Усі ці проблеми створюють серйозну проблему управління та моніторингу для групи БПЛА.

Отримання зображень структурних об'єктів у тривимірному просторі з використанням запланованих засобів вимагає розробки системи, яка поєднає засоби з різними функціональними цілями. Специфіка таких завдань залежить від використання та управління ресурсами, розподіленими у просторі [7]. Підтримка зв'язку забезпечується за допомогою відповідних інформаційно-комунікаційних засобів. Важливим елементом таких систем є забезпечення контролю за всіма компонентами шляхом впровадження автоматизації.

Рівень управління в автоматизованій системі висвітлює процес формування співкоординованого простору в робочому середовищі, такому як сад, та вибір дозволених та заборонених зон для польотів БПЛА. Деякі дослідники [8] інтегрують підсистему управління даними польоту до автоматизованої системи на основі технології DJI GS PRO. Використання технології DJI GS PRO призводить до отримання набору необроблених даних, представлених у формі тривимірних координат системи глобального позиціонування (GPS). Основна централізована підсистема бере ці дані як параметри вхідних даних підсистеми для перетворення координат у матрицю станів.

Згідно з аналізом предметної області, вимоги до автоматизованої системи управління декількома БПЛА, згідно з функціями системи та її характеристиками, були синтезовані в архітектурі розробленої системи у вигляді набору декількох компонентів: формування групи БПЛА, «розумне» планування маршруту, самовідновлювальна система, система планування роботи та управління та моніторинг системи. Результатом автоматизованої системи є комбінована серія відео, яка потім подається до модуля для розпізнавання та обчислення кількості структурних об'єктів. Комбінація згаданих вище компонентів процесу моніторингу групи БПЛА для виявлення об'єктів є основою архітектури запропонованої самоорганізованої автоматизованої системи.

Архітектура самоорганізованої автоматизованої системи для динамічного отримання зображень структурних об'єктів у тривимірному просторі.

Визначимо всю область вивченого простору, в якому отримуються структурні об'єкти однієї природи, з координатами його початкової точки та трьома векторами, що представляють сторони паралелепіпеда. Ми позначимо вивчену область простору і формально задамо її наступним чином:

$$S = \left\langle N(f_1, f_2, f_3), W_1(w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}), W_2(w_{2,1}, w_{2,2}, w_{2,3}), W_3(w_{3,1}, w_{3,2}, w_{3,3}) \right\rangle, \quad (1)$$

де $N(f_1, f_2, f_3)$ – початкова точка досліджуваної ділянки простору з координатами (f_1, f_2, f_3) ; $W_i(w_{i,1}, w_{i,2}, w_{i,3})$ – i -ий вектор в просторі, $i = \overline{1,3}$.

Таким чином, вектор задаватиме в проєктованій системі область досліджуваного простору і визначимо його так:

$$k = (f_1, f_2, f_3, w_{1,1}, w_{1,2}, w_{1,3}, w_{2,1}, w_{2,2}, w_{2,3}, w_{3,1}, w_{3,2}, w_{3,3}) \quad (2)$$

Оскільки кожна область містить підмножину структурних об'єктів, то для кожної з цих областей буде визначений набір координат в межах загальної області. Ці координати будуть відображені за допомогою лінійної матриці векторів або прямокутної матриці. Поділ областей дозволяє досліджувати кожен підмножину структурних об'єктів окремо, що дозволяє масштабувати результати дослідження. Крім того, у кожній підмножині структурних об'єктів може бути відображена їх близькість та позиціонування. Отже, для кожної підмножини структурних об'єктів у визначеній області простору буде використана лінійна матриця векторів:

$$N_v = (v_1, v_2, \dots, v_{N_v}), \quad (3)$$

де N_v – лінійна матриця векторів підмножини структурних об'єктів; v_i – вектор i -ої підмножини структурних об'єктів, $i = \overline{1, N_v}$; N_v – кількість підмножин в розглядуваній області простору.

Така роздільність на підмножини дозволяє досліджувати структурні об'єкти окремо в кожній з них, збільшує точність результатів та спрощує масштабування роботи системи.

Структурні компоненти автоматизованої системи можуть перебувати в різних станах. На основі матриць станів, що відображають стани компонентів автоматизованої системи, була розроблена підсистема активного моніторингу подій системи та координації взаємодії компонентів системи при прийнятті рішень. Цей підхід дозволяє оператору системи втручатися у коригування поведінки окремих компонентів. Автоматизована система повинна мати наступні функціональні можливості: а) створення команди БПЛА, б) розробка 3D програмного середовища з визначенням дозволених та обмежених зон, в) визначення та налаштування стартових точок для польоту, г) запуск польоту в робочому просторі V , г) керування вихідною інформацією від команди БПЛА, д) змінювання статусів групи та окремих БПЛА.

Управління в автоматизованій системі включає створення координатного простору у робочому середовищі, наприклад, фруктовому саду, та визначення дозволених і заборонених зон для польотів БПЛА. Управління групою БПЛА включає розробку програми обльоту робочих зон відповідно до лінійної матриці векторів підмножини структурних об'єктів (3).

Основні етапи керування місіями в автоматизованій системі, враховуючи, що група БПЛА не проводила польотів і всі необхідні модулі та компоненти встановлено й взаємодіють, викладемо так: а) вибір та підключення групи БПЛА до місії, б) правління місією обльоту групи БПЛА, з автоматизованою системою, що надає два режими управління: початковий та автоматичний, в) завершення місії групи БПЛА.

Оцінка якості планування польотів групи БПЛА базується на таких критеріях: а) мінімальний час виконання завдання, б) відстань, пройдена у робочому середовищі, в) ресурси апаратних пристроїв, г) обсяг даних, оброблених БПЛА в режимі реального часу.

Автоматизована система використовує вхідні дані, такі як кількість БПЛА, дальність польоту, мінімальний радіус повороту та діапазон швидкості. Характерні властивості планування маршрутів включають розподіл цілей між БПЛА, послідовність виконання підмножини цілей та спосіб пересування до робочих зон. Задача планування руху групи БПЛА відноситься до математичної проблеми комівояжера.

Оскільки інформаційна система складається з багатьох апаратних пристроїв та програмних модулів, які взаємодіють через мережу, уся робота керується за допомогою операторів. Виокремлюються такі характерні властивості управління: 1) налаштування, підтримка та моніторинг мережі реального часу кінематики; 2) формування групи БПЛА відповідно до їх характерних властивостей; 3) виконання завдань з моніторингу цілісності інформаційної системи; 4) створення програмного координатного робочого середовища; 5) формування початкових програмних координат обльоту. Оператор вирішує завдання на всіх етапах життєвого циклу інформаційної системи, проте завдяки розробленим самоорганізованим та децентралізованим програмним модулям, його участь у досягненні мети завдання мінімізується.

Отже, з метою досягнення дослідницьких цілей та враховуючи обмеження, було розроблено модуль планування маршрутів із самонавчальною технологією. Модуль системи генерує матрицю станів із координатами групи БПЛА, дозволяючи всім пристроям у 3D-просторі адаптувати свою поведінку через взаємодію з робочим середовищем, згідно з алгоритмом Q-навчання. Підсистема створює матриці станів для кожного БПЛА і працює за принципом «дія-винагорода», виконуваний так званним інтелектуальним агентом. Усі пристрої групи працюють аж до «позитивного завершення» автоматизованої системи. Важливою властивістю модуля є можливість інтеграції з іншими підсистемами.

Модуль планування маршрутів виконує ітераційний процес автоматичної настройки маршруту БПЛА. Завдяки ітераційним діям кожного БПЛА, модуль генерує та постійно оновлює значення Q для кожного дрона до досягнення найбільш точного значення, яке можна вважати квазіоптимальним. Значення Q для кожної дії A_t кожного БПЛА та для кожного його стану S_t на момент часу t , $t = \overline{1, T}$ розраховується наступним чином:

$$Q(S_t, A_t) = Q(S_{t-1}, A_{t-1}) + \alpha \left(r_{t-1} + \gamma \cdot \max_A \{ Q(S_t, A) - Q(S_{t-1}, A_{t-1}) \} \right), \quad (4)$$

де $Q(S_{t-1}, A_{t-1})$ це кількісний вираз винагороди, отриманої розумним агентом за досягнення попереднього стану S_{t-1} ; α – коефіцієнт швидкості навчання моделі, $0 < \alpha \leq 1$, рівень винагороди, отриманої розумним агентом у разі переходу від стану S_{t-1} до стану S_t ; γ – коефіцієнт амортизації, який визначає

важливість майбутніх винагород, отриманих розумним агентом, $0 \leq \gamma \leq 1$, $\max_A \{Q(S_t, A)\}$ – оцінка кількісної величини майбутньої винагороди у разі виконання дії A у стані S_t .

Динамічне отримання зображень структурних об'єктів однієї природи в тривимірному просторі за допомогою декількох БПЛА

Повна функціональність автоматизованої системи передбачає розробку компонента динамічного отримання зображень структурних об'єктів однієї природи за допомогою групи БПЛА. У відповідності до мети роботи, цей метод можна представити як програмний інтерфейс, який інтегрується з центральною системою. Зазначений програмний інтерфейс включає такі компоненти: а) координація групи БПЛА, б) визначення та коригування станів, в) оцінка ресурсу батареї кожного БПЛА у групі, г) система самовідновлення.

Рівень децентралізації відрізнятиметься від рівня прийняття рішень тим, що на його рівні приймаються рішення про загальну організацію функціонування програмного модуля в структурі всієї системи, а на рівні прийняття рішень - про безпосереднє виконання саме основних задач методу. Відповідно до сформованих вимог до автоматизованої системи управління декількома БПЛА, початок роботи всього програмного інтерфейсу розпочинається після утворення програмної місії оператором. Визначення координатних точок у тривимірному програмному просторі робочого середовища та фіксування чітких робочих зон дає змогу призначити "початковий" стан на рівні програмного інтерфейсу. Вся група дронів приймає координати початкової точки в просторі від оператора, що зумовлює початок обльоту ними робочої цільової зони у робочому середовищу за вказаним маршрутом (рис. 1).

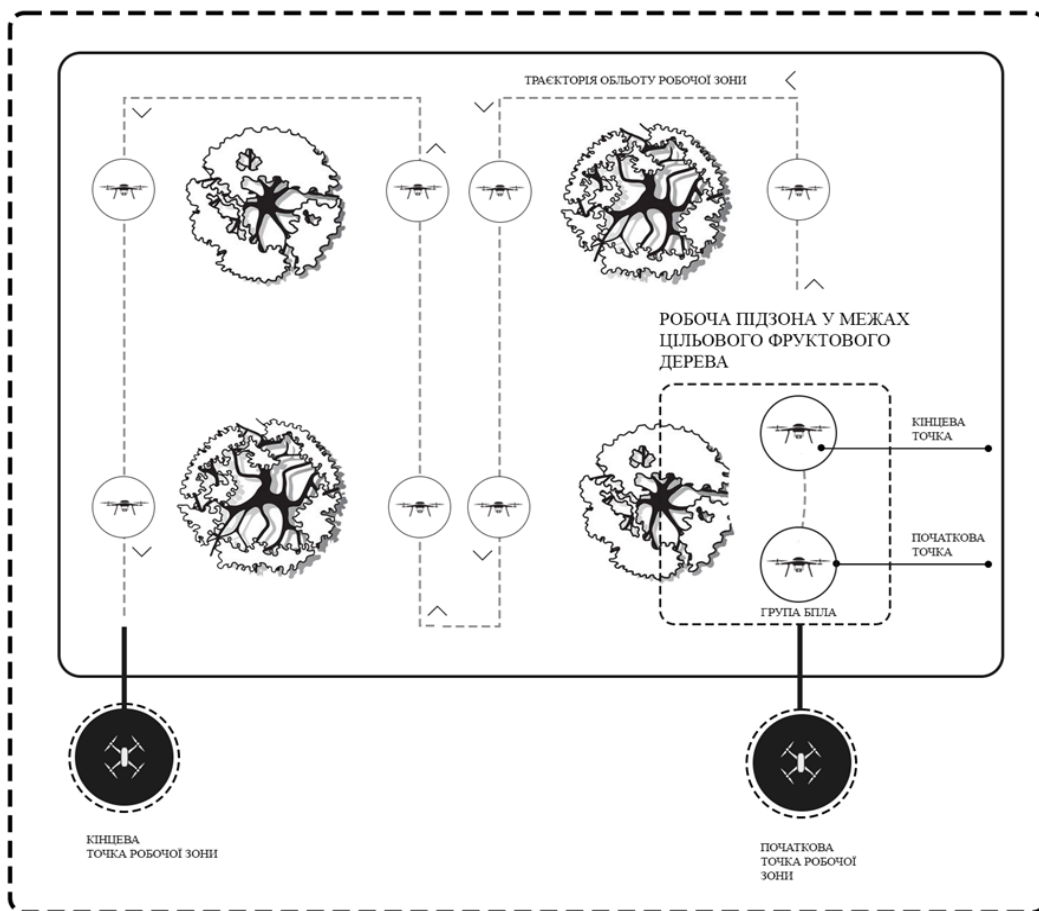


Рис. 1. Схема руху групи БПЛА у робочій зоні

Розроблений програмний інтерфейс системи є основою розподілення інформації про характерні особливості між кожним компонентом в процесі свого функціонування. Інтеграція у центральну програмну систему дає можливість використовувати його, як самостійну підсистему для динамічного отримання зображень структурних об'єктів тривимірному координатному просторі за допомогою декількох БПЛА. Процеси динамічного отримання зображень у робочій підзоні в межах цільового фруктового дерева (рис. 2) відбувається в ідеальних умовах робочого середовища.

Інформаційна інфраструктура включає програмно-технічні засоби комп'ютерних мереж, які дають змогу взаємодіяти інформаційним потокам даних, функціонувати та отримувати необхідний результат в інформаційному технологічному просторі. Узгоджена взаємодія компонентів автоматизованої системи при прийнятті рішень та здатність інтегрувати засоби управління групами БПЛА забезпечує динамічне отримання зображень структурних об'єктів однієї природи.

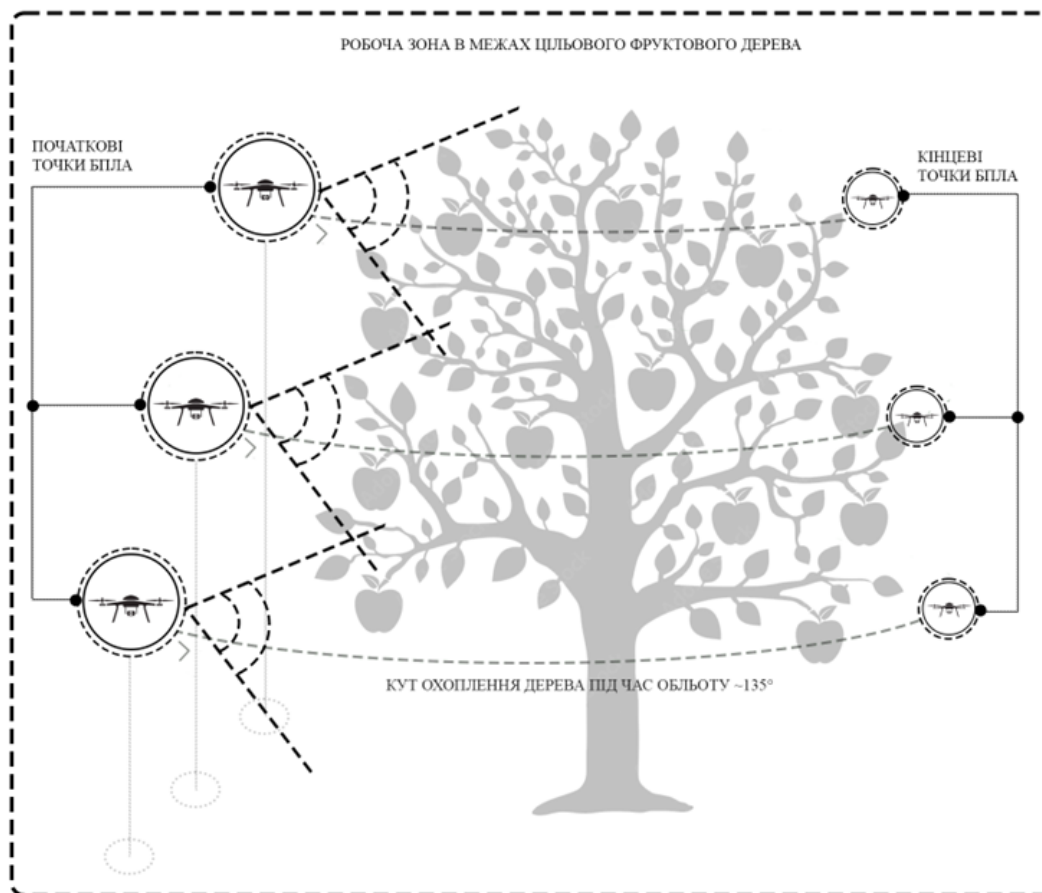


Рис. 2. Схема виконання роботи групою БПЛА у робочій зоні навколо цільового фруктового дерева

Результати та обговорення

Після встановлення системи у «початковому» режимі, вхідні дані для оцінки та порівняння ефективності роботи БПЛА включають розрахунок кількості структурних об'єктів у відповідних підмножинах досліджуваної просторової області, таких як число фруктів на різних деревах у ряду робочої зони. Для порівняння показників схожості між поточними даними, отриманими в автоматичному та початковому режимах, було отримано дані з кількох «позитивно» завершених місій.

Результати експериментальних досліджень представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Координати польоту трьох БПЛА.

	БПЛА 1		БПЛА 2		БПЛА 3	
	Довгота	Широта	Довгота	Широта	Довгота	Широта
Початкова точка	49° 26' 48.8" N	26° 54' 32.2" E	49° 26' 48.7" N	26° 54' 32.1" E	49° 26' 48.8" N	26° 54' 32.0" E
Зона 1	49° 26' 92.1" N	26° 54' 60.5" E	49° 26' 92.2" N	26° 54' 60.4" E	49° 26' 92.3" N	26° 54' 60.3" E
Зона 2	49° 26' 45.5" N	26° 54' 40.7" E	49° 26' 45.6" N	26° 54' 40.6" E	49° 26' 45.5" N	26° 54' 40.5" E
Зона 3	49° 26' 84.2" N	26° 54' 79.1" E	49° 26' 84.3" N	26° 54' 79.2" E	49° 26' 84.4" N	26° 54' 78.9" E
Зона 4	49° 26' 39.6" N	26° 54' 56.7" E	49° 26' 39.6" N	26° 54' 56.7" E	49° 26' 39.8" N	26° 54' 56.5" E
Кінцева точка	49° 26' 79.3" N	26° 54' 89.8" E	49° 26' 79.4" N	26° 54' 89.7" E	49° 26' 79.5" N	26° 54' 89.6" E

Результати, що подані в таблиці 1, підтверджують можливість реалізації запропонованих рішень. Модуль моніторингу отримує дані про стан та результати програмної місії БПЛА, що дозволяє операторам аналізувати інформацію та налаштовувати майбутні місії для покращення ефективності групи БПЛА. Виявлені невідповідності та помилки обробляються програмним модулем і використовуються для коригування системи та апаратних компонентів.

Отже, автоматизована система дозволяє організувати переліт БПЛА над вивченими просторовими підмножинами, враховуючи задані вхідні дані. Архітектура системи забезпечує відповідний рівень організації при визначенні наступних дій для підсистем та компонентів. Така система сприяє ефективному моніторингу та аналізу досліджуваної області за допомогою БПЛА, поліпшуючи результати та надаючи більш точні дані.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблена архітектура автоматизованої системи для динамічного отримання зображень структурних об'єктів у тривимірному просторі є основою для створення нових інструментів, які можуть виконувати польоти БПЛА над підмножинами вивченої області простору відповідно до заданих вихідних даних. Це дозволяє досягти відповідного рівня організації при визначенні наступних кроків у функціонуванні підсистем та компонентів. Запропонована самоорганізована автоматизована система спрямована на вирішення критичних проблем, а саме: 1) зменшення часу затримки під час виконання завдання, 2) зменшення відстані при переміщенні в робочому середовищі, 3) оптимізація ресурсів апаратного пристрою, 4) збільшення обсягу даних, які БПЛА може обробляти під час роботи в реальному часі.

Інструменти управління забезпечують програмне керування місією шляхом об'єднання фіксованої кількості БПЛА у групу та виконання цілеспрямованої роботи у фрагментах робочого середовища. Програмний модуль моніторингу автоматизованої системи обробляє вихідні дані місії та проводить аналізи та порівняння на основі вже дійсних даних, щоб забезпечити найточніший результат розрахунків кількості фруктів на деревах.

Напрямки подальших досліджень включають вдосконалення методів польоту, реалізованих у системі, розпізнавання зображень та розрахунок кількості розпізнаних об'єктів.

Література

1. A technical review on classification of various faults in smart grid systems / D. Sarathkumar et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1055, No. 1. – P. 012152.
2. Lysenko S., Bobrovnikova K., Schuka R., Savenko O. A cyberattacks detection technique based on evolutionary algorithms. 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT) : Proceedings, Kyiv, Ukraine, 14–18 May 2020. – 2020. – P. 127–132.
3. Wang X., Li W., Guo W., Cao K. SPB-YOLO: An efficient real-time detector for unmanned aerial vehicle images. 2021 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC) : Proceedings, Jeju Island, Korea (South), 13–16 April 2021. – 2021. – P. 99–104.
4. Pavlova O., Radiuk P., Kravchuk S., Kulbachnyi V. Information system for public places and institutions visualization with opportunities of inclusive access and optimal routing. Computer systems and information technologies. – 2022. – Vol. 1, No 6. – P. 62–68.
5. Areias B., Martins A., Paula N., Reis A.B., Sargento S. A control and communications platform for procedural mission planning with multiple aerial drones. Personal and Ubiquitous Computing. – 2020. – Vol. 26. – P. 1105–1115.
6. Teague S., Chahl J. Imagery Synthesis for Drone Celestial Navigation Simulation. Drones. – 2022. – Vol. 6, No. 8. – P. 207.
7. Object detection from UAV thermal infrared images and videos using YOLO models / C. Jiang et al. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – Vol. 112. – P. 102912.
8. Yuan W., Hua W., Heinemann P.H., He L. UAV photogrammetry-based apple orchard blossom density estimation and mapping. Horticulturae. – 2023. – Vol. 9, No. 2. – P. 266.

References

1. A technical review on classification of various faults in smart grid systems / D. Sarathkumar et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1055, No. 1. – P. 012152.
2. Lysenko S., Bobrovnikova K., Schuka R., Savenko O. A cyberattacks detection technique based on evolutionary algorithms. 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT) : Proceedings, Kyiv, Ukraine, 14–18 May 2020. – 2020. – P. 127–132.
3. Wang X., Li W., Guo W., Cao K. SPB-YOLO: An efficient real-time detector for unmanned aerial vehicle images. 2021 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC) : Proceedings, Jeju Island, Korea (South), 13–16 April 2021. – 2021. – P. 99–104.
4. Pavlova O., Radiuk P., Kravchuk S., Kulbachnyi V. Information system for public places and institutions visualization with opportunities of inclusive access and optimal routing. Computer systems and information technologies. – 2022. – Vol. 1, No 6. – P. 62–68.

5. Areias B., Martins A., Paula N., Reis A.B., Sargento S. A control and communications platform for procedural mission planning with multiple aerial drones. *Personal and Ubiquitous Computing*. – 2020. – Vol. 26. – P. 1105–1115.
6. Teague S., Chahl J. Imagery Synthesis for Drone Celestial Navigation Simulation. *Drones*. – 2022. – Vol. 6, No. 8. – P. 207.
7. Object detection from UAV thermal infrared images and videos using YOLO models / C. Jiang et al. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2022. – Vol. 112. – P. 102912.
8. Yuan W., Hua W., Heinemann P.H., He L. UAV photogrammetry-based apple orchard blossom density estimation and mapping. *Horticulturae*. – 2023. – Vol. 9, No. 2. – P. 266.