

АНОТАЦІЯ

Мельниченко Олександр Вікторович. Методи збору, розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки. – Хмельницький національний університет, Хмельницький. 2023.

Вирішення задачі покращення ефективності збору, точності розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), для виявлення заданих об'єктів, є однією із важливих наукових задач в сфері інформаційних технологій (ІТ), орієнтованих на розробку систем збору зображень групами БПЛА та подальше розпізнавання об'єктів на цих зображеннях і обробку результатів розпізнавання.

У дисертації здійснено аналіз засобів та технологій збору зображень з використанням БПЛА, існуючих систем аналогічного призначення, методів та засобів обробки зображень об'єктів та їх розпізнавання. В роботі розроблено методи збору, розпізнавання та обробки зображень отриманих з використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів, які покращують ефективність збору, точність розпізнавання та обробки зображень отриманих з використанням БПЛА, а також розроблено відповідні засоби, здійснено постановку експериментів і проведено з розробленими засобами експериментальні дослідження.

Об'єктом дослідження є процеси збору, розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів.

Предметом дослідження є методи і алгоритми забезпечення збору, розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів.

Метою дисертаційного дослідження є покращення ефективності збору, точності розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1) розроблено новий метод побудови маршрутів БПЛА згідно технологій самонавчання, який на відміну від відомих, полягає в позиціюванні апаратних пристроїв у тривимірному координатному просторі в реальному часі за рахунок самонавчання при побудові маршрутів їх руху, що дає змогу покращити переміщення та синхронізацію між групою БПЛА або одного БПЛА в межах робочого сегменту і за рахунок цього збільшення кількості опрацьованих даних.

2) розроблено новий метод динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів в тривимірному просторі за допомогою декількох БПЛА, який на відміну від відомих відрізняється тим, що забезпечує в процесі активації кожного БПЛА генерацію відеоряду в центральну систему, прийняття рішень про подальшу роботу групи БПЛА, підтвердження цілісності програмної місії та визначення рівня критичності для продовження виконання роботи групи БПЛА за рахунок визначення станів модулів та комплексному врахуванні вимог розподілення, багаторівневості та автоматизованості, що покращує узгодження між різними БПЛА та досягнення переміщення всієї групи БПЛА від заданих початкових до кінцевих точок програмної місії автономно.

3) розроблено новий метод синхронізації відеопотоків в режимі реального часу, який відрізняється від відомих тим, що забезпечує накопичення даних про попередні програмні місії БПЛА, у випадку критичних збоїв, які спотворюють цілісність структур даних із джерел отримання відеопотоків, зберігає такі структури в спеціальному журналі помилок та не відправляє їх як вхідні параметри в наступну обробку, що

дає змогу виконувати порівняння отриманих поточних результатів із минулими в режимі реального часу і це забезпечує оперативне отримання результатів та здійснення виявлення структурних об'єктів, які були пропущені в процесі минулих програмних місій.

4) вдосконалено метод виявлення заданих структурних об'єктів на зображеннях, який на відміну від оригінальної архітектури YOLOv5, полягає в тому, що модифіковано модуль фокусування нейронної мережі, видалено згортковий шар поєднуючий вхідну карту ознак з операцією конкатенції, актуалізовано механізм візуальної уваги для вилучення ознак, об'єднання шарів 4 і 15, 6 і 11, 10 і 21 оригінальної архітектури замінено на об'єднання шарів 5 і 18, 8 і 14, 13 і 24 вдосконаленої архітектури, вихідні карти ознак 14-го та 21-го шарів вдосконаленої архітектури об'єднано між собою, що дало змогу покращити точність виявлення і зменшити час навчання нейронної мережі.

Практичне значення отриманих результатів. За результатами виконаних досліджень здобувачем розроблено методи, спосіб, алгоритми та засоби покращення ефективності збору, точності розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення заданих об'єктів. Це дало змогу створювати автоматизовані системи з використанням групи БПЛА для збору, отримання та розпізнавання заданих об'єктів на отриманих зображеннях. Заданими об'єктами вибрано яблука на деревах в фруктовому саду. Розроблена автоматизована система для виявлення та обчислення кількості яблук у фруктовому саду в режимі реального часу. Перевагою розробленої системи над аналогами є отримання нею множини відеокадрів у режимі реального часу з камер кількох БПЛА та синхронізація цих відеокадрів між собою в одну інформаційну структуру даних, що надалі трансформується в суцільне зображення. Крім того, використання функцій оптимізації якості зображення дає змогу максимально ефективно виявляти задані структурні

об'єкти під час виконання робочих місій БПЛА в робочому середовищі. Використання такої системи дало змогу отримувати суцільний потік даних до всіх наступних програмних компонентів автоматизованої системи. Так, оцінка синхронізації відеопотоків за індексом SSIM коливається від 0,79 до 0,92, із середнім значенням 0,87, а за індексом PSNR – від 22 до 39, що свідчить про покращення ефективності роботи розробленої системи із відеопотоками та належну якість отриманих об'єднаних зображень. У результаті проведених експериментальних досліджень було доведено покращення ефективності роботи розробленої автоматизованої системи та точності виявлення об'єктів на зображеннях, що підтверджується високим середнім значенням у 82,69% показника достовірності виявлення та обчислення кількості фруктових плодів та низьким середнім рівнем помилок I (14,67%) та II (18,33%) роду.

Теоретичні та практичні результати дослідження впроваджені в ТОВ «ЮКС++» (м. Хмельницький), Державному підприємстві «Новатор» (м. Хмельницький), ПП «НОЛТ ТЕХНОЛОДЖИС» (м. Хмельницький), ТОВ «Агротех сервіс» (с. Богданівці), а також, в освітньому процесі Хмельницького національного університету при викладанні дисциплін на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем для спеціальності 126 Інформаційні системи та технології, 123 Комп'ютерна інженерія та кафедрі комп'ютерних наук для спеціальності 122 Комп'ютерні науки, зокрема в курсах «Методи та системи штучного інтелекту», «Комп'ютерні та кіберфізичні системи», «Методи, засоби та алгоритми в задачах обчислювального інтелекту та комп'ютерного зору», «Теорія, проєктування та моделювання спеціалізованих комп'ютерних систем» та «Технології проєктування інформаційних систем».

У вступі представлено обґрунтування актуальності наукової задачі із забезпечення покращення ефективності збору, точності розпізнавання та обробки зображень, отриманих із використанням БПЛА, для виявлення

заданих об'єктів Також, представлено зв'язок тематики дослідження з напрямками наукових досліджень відомих дослідників цієї проблеми в світі та відображено основні наукові результати роботи та її практичне значення.

У першому розділі здійснено аналіз предметної області дослідження, відомих методів збору, розпізнавання та обробки зображень отриманих з використанням БПЛА для виявлення заданих об'єктів, зокрема актуальності їх застосування до польових задач садівництва, розпізнавання фруктових плодів в реальних умовах фруктового саду, а також, методи виявлення та відстеження заданих структурних об'єктів за відеопотоком, методи ідентифікації та обчислення кількості заданих структурних об'єктів, огляд технічних пристроїв та апаратного забезпечення для використання безпілотних літальних апаратів, керування робочими місіями групи безпілотних літальних апаратів, використання групи безпілотних літальних апаратів для генерації фото- та відеоматеріалів. Також, підведено підсумки проведеного аналізу та здійснено постановку задачі дослідження.

У другому розділі представлено розробку методу побудови маршрутів БПЛА на основі технологій самонавчання, архітектуру автоматизованої системи динамічного отримання зображень заданих об'єктів в тривимірному просторі, проєктування робочої місії БПЛА в тривимірному просторі, інформаційні потоки автоматизованої системи під час виконання програмної місії, процес генерації зображень заданих структурних об'єктів в тривимірному просторі, створення програмної місії в системі, програмний інтерфейс автоматизованої системи та розробку методу динамічного отримання зображень заданих структурних об'єктів в тривимірному просторі за допомогою декількох БПЛА, а також підведено підсумки з отриманих результатів.

У третьому розділі представлено розроблений метод синхронізації відеопотоків в режимі реального часу, вдосконалений метод виявлення заданих структурних об'єктів, спосіб обчислення кількості заданих структурних об'єктів, створення детектора у задачі розпізнавання образів у режимі реального часу, постановку експерименту, підготовку робочого середовища, підготовку навчальних наборів даних, створення детектора, тестування та результати створеного детектора, а також підведено підсумки з отриманих результатів.

У четвертому розділі представлено програмну реалізацію автоматизованої системи виявлення та обчислення кількості заданих структурних об'єктів, опис експериментальної установки, постановку і проведення експериментальних досліджень із застосування розробленої автоматизованої системи, опис експериментального середовища, оцінювання ефективності автоматизованої системи, а також підведено підсумки з отриманих результатів.

У висновках подано отримані наукові та практичні результати дослідження.

У додатках подано наукові публікації, в яких відображено основні наукові результати роботи, відомості про апробацію результатів дисертації, акти про впровадження результатів роботи, аналіз комерційних платформ цифрового садівництва та лістинг програмного забезпечення.

Ключові слова: маршрут, самонавчання, БПЛА, відеопотік, розпізнавання образів, штучна нейронна мережа, автоматизована система.

ANNOTATION

Oleksandr Viktorovych Melnychenko. Methods of collecting, recognizing and processing images obtained using UAVs to detect given objects. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 12 Information technologies in the specialty 122 Computer science. – Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi. 2023.

Solving the task of improving the efficiency of collection, recognition accuracy and processing of images obtained using UAVs to detect given objects is one of the important scientific tasks in the field of information technology (IT), focused on the development of image collection systems by groups of UAVs and further recognition of objects on these images and processing the recognition results.

The dissertation analyzed means and technologies of image collection using UAVs, existing systems of a similar purpose, methods and means of image processing of objects and their recognition. In the work, methods of collecting, recognizing and processing images obtained using UAVs for the detection of specified objects have been developed, which improve the efficiency of collection, accuracy of recognition and processing of images obtained using UAVs, as well as appropriate tools have been developed, experiments have been set up and carried out with the developed tools experimental studies.

The object of the study is the process of collecting, recognizing and processing images obtained using UAVs to detect given objects.

The subject of the study is methods and algorithms for ensuring the collection, recognition and processing of images obtained using UAVs for the detection of given objects.

The aim of the dissertation research is to improve the collection efficiency, accuracy of recognition and processing of images obtained with the use of UAVs for the detection of given objects.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

1) a new method of constructing UAVs routes according to self-learning technologies has been developed, which, unlike the known ones, consists in positioning hardware devices in three-dimensional coordinate space in real time due to self-learning when constructing their movement routes, which makes it possible to improve movement and synchronization between a group of drones or one drone within the working segment and due to this increase in the amount of processed data;

2) a new method of dynamically obtaining images of given structural objects in three-dimensional space using several drones has been developed, which, unlike the known ones, differs in that it provides, in the process of activating each drones, the generation of a video sequence to the central system, making decisions about the further work of the UAVs group, confirming the integrity of the program mission and determining the level of criticality for the continuation of the work of the drones group by determining the states of the modules and comprehensively taking into account the requirements of distribution, multi-level and automation, which improves the coordination between different drones and achieving the movement of the entire group of drones from the given starting points to the end points of the program mission autonomously;

3) a new method of synchronizing video streams in real time has been developed, which differs from the known ones in that it ensures the accumulation of data on previous drones program missions, in case of critical failures that distort the integrity of data structures from the sources of receiving video streams, saves such structures in a special error log and does not send them as input parameters to the subsequent processing, which makes it possible

to perform a comparison of the received current results with the past ones in real time, and this ensures the prompt obtaining of results and the detection of structural objects that were missed in the process of past program missions;

4) the method of detecting given structural objects in images has been improved, which, unlike the original YOLOv5 architecture, consists in the fact that the neural network focusing module has been modified, the convolutional layer combining the input feature map with the concatenation operation has been removed, the visual attention mechanism for feature extraction has been updated, the union of layers 4 and 15, 6 and 11, 10 and 21 of the original architecture is replaced by the union of layers 5 and 18, 8 and 14, 13 and 24 of the improved architecture, the output feature maps of the 14th and 21st layers of the improved architectures are combined, which made it possible to improve the accuracy of detection and reduce the training time of the neural network.

The practical significance of the results obtained. The developed automated system is designed to detect and count the number of apples in an orchard in real time. The advantage of the developed system over analogues is that it receives multiple video frames in real time from the cameras of several UAVs and synchronizes these video frames with each other into one informational data structure, which will later be transformed into a continuous image. In addition, the use of image quality optimization functions allows for the most efficient detection of structural during UAV operational missions in the operational environment. The use of such a transformation tool enabled the system to receive a continuous flow of data to all subsequent software components of the automated system. Thus, the evaluation of the synchronization of video streams according to the SSIM index varies from 0.79 to 0.92, with an average value of 0.87, and according to the PSNR index – from 22 to 39, which indicates the high efficiency of the developed system with video streams and the good quality of the received information. combined images.

As a result of the experimental studies, the effectiveness of the developed automated system was proven, which is confirmed by a high average value of 82.69% of the reliability indicator of detecting and calculating the number of fruit fruits and a low average level of errors I (14.67%) and II (18.33%) genus.

The theoretical and practical results of the research were implemented in LLC “UKS++” (Khmelnyskyi), SE “NOVATOR” (Khmelnyskyi), PE “NOLT TECHNOLOGY” (Khmelnyskyi), LLC “AGROTECHSERVIS” (Bohdanivtsi), as well as, in the educational process of Khmelnyskyi National University when teaching disciplines at the Department of Computer Engineering and Information Systems for the specialty 126 Information Systems and Technologies, 123 Computer Engineering and the Department of Computer Sciences for the specialty 122 Computer Science, in particular in the courses “Methods and systems of artificial intelligence”, “Computer and cyberphysical systems”, “Methods, tools and algorithms in tasks of computational intelligence and computer vision”, “Theory, design and modeling of specialized computer systems” and “Technologies of information systems design”.

The introduction presents the justification of the relevance of the scientific task of ensuring the improvement of the efficiency of collection, recognition accuracy and processing of images obtained using UAVs for the detection of given objects. Also, the connection of the research topic with the directions of scientific research of famous researchers of this problem in the world is presented and the main scientific results of the work and its practical significance.

In the first section, an analysis of the subject area of the study, known methods of collecting, recognizing and processing images obtained using UAVs for detecting given objects, in particular, the relevance of their application to field tasks of horticulture, recognition of fruit fruits in real conditions of an orchard, as well as methods detection and tracking of specified structural

objects by video stream, methods of identification and calculation of the number of specified structural objects, overview of technical devices and hardware for the use of unmanned aerial vehicles, management of operational missions of a group of unmanned aerial vehicles, use of a group of unmanned aerial vehicles for photo generation – and video material. Also, the results of the conducted analysis are summarized and the research task is formulated.

The second chapter presents the development of a method for constructing UAV routes based on self-learning technologies, the architecture of an automated system for dynamic acquisition of images of specified objects in three-dimensional space, the design of a UAV operational mission in three-dimensional space, information flows of an automated system during the execution of a program mission, the process of generating images of specified structural objects in three-dimensional space, creation of a program mission in the system, program interface of the automated system and development of a method of dynamic acquisition of images of given structural objects in three-dimensional space with the help of several UAVs, as well as summing up the results.

The third section presents the developed method of synchronizing video streams in real time, the developed method of detecting given structural objects, the method of calculating the number of given structural objects, creating a detector in the task of pattern recognition in real time, setting up the experiment, preparing the working environment, preparing training data sets, creation of the detector, testing and results of the created detector, as well as summaries of the obtained results.

The fourth chapter presents the software implementation of the automated system for detecting and calculating the number of given structural objects, the description of the experimental setup, the setting up and conducting of experimental studies using the developed automated system, the description of

the experimental environment, the evaluation of the efficiency of the automated system, and the results obtained are summarized.

The conclusions present the obtained scientific and practical results of the study.

In the appendices include scientific publications, which reflect the main scientific results of the work, information about the approval of the results of the dissertation, acts on the implementation of the results of the work, analysis of commercial digital gardening platforms and software listing.

Keywords: route, self-learning, drone, video stream, pattern recognition, artificial neural network, automated system.