



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Автор на дисертационния труд: **маг.инж. Елеонора Ивова Иванова**

Тема на дисертационния труд: **„Отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти при безпилотни летателни апарати“**

професионално направление: **5.3. Комуникационна и компютърна техника**

научна специалност: **„Системи с изкуствен интелект“**

Рецензент: **доц. д-р инж. Галя Веселинова Павлова**

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията

Дисертационният труд е посветен на изследване и оценка на методи за отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти, като се използват данни, получени от безпилотни летателни апарати чрез използване на съвременни технологии, включително сензори, изкуствен интелект и аналитични алгоритми. Темата на дисертационния труд е изключително актуална, тъй като резултатите могат да бъдат използвани за картографиране, наблюдение и охрана на граници, мониторинг на околната среда, земеделие и управление на ресурси, спасителни операции и управление на бедствия. Новите алгоритми за обработка на данни правят възможно разпознаването на малки и трудно откриваеми обекти, както и прогнозиране на бъдещи събития въз основа на исторически данни.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Литературният анализ на съвременното състояние на извършваните операции и събирането на данни с безпилотни летателни апарати е направен на базата на 138 литературни източника. Изследвани са и подходи и методи за отдалечено откриване и разпознаване на обекти и приложението им в различни области.

Анализът на решенията е задълбочен и аргументиран, което потвърждава отличните познания на автора за съвременното състояние в областта на разглежданата тематика. Докторантката показва качества и възможности за оценка на постиженията и нерешените проблеми, което е видно както при формулирането на целите и задачите на

дисертационния труд, така от постигнатите цели с акцент на реално приложими решения и технологично развитие.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е да се изследват, предложат и оценят методи за откриване, разпознаване и проследяване на обекти с използване данни, получени с безпилотни летателни апарати, които осигуряват висока точност, надеждност и ефективност. За постигането на тази цел са поставени 5 задачи, свързани с разработване на иновативна система за отдалечено откриване и разпознаване на обекти, като се интегрират различни технологии за събиране на данни и навигация, анализиране и оценка на приложимостта на предложената система в различни области и да се направи валидация и оценка на тази система.

Методиката е добре обоснована и считам, че в дисертационния труд е налице съответствие между избраната методология на изследване и поставената цел и задачи, за което свидетелстват и постигнатите приноси и статистическото представяне и анализ на получените експериментални резултати.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 162 страници, като включва увод, четири глави, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература.

В първа глава, организирана в 7 части, е направен литературен анализ на съвременното състояние на безпилотните летателни апарати. На базата на направените изводи в края е дефинирана целта и са формулирани задачите на дисертационния труд.

Във втора глава, организирана в 5 части, са разглежда съществуващите алгоритми и методи за отдалечено откриване и разпознаване на обекти, както и техниките и методите за обработка на изображения. Направени са теоретични изследвания върху методи от ИИ за разработване на система за навигация и избягване на препятствия. Предложени са критерии за оптималност на модела. Представена е методология за прилагане на паралелни изчислителни технологии която ще се използва за внедряване на софтуерната част на системата за планиране. Представен е математически модел на алгоритъм за глобално и локално планиране движението за група мобилни роботи на основата на модифицирана невронна мрежа на Хопфийлд. Представен е нов оптимизиран и модифициран модел за изграждане на невронна карта, който да се използва в при изследванията.

В трета глава, организирана в 8 части, е предложена е методология за проектиране и разработване на система за отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на

обекти при безпилотни летателни апарати. Предложено е използване на хибриден ансамблов метод за откриване на обекти с обединяване на прогнозите на два модела. Предложени са техники за оптимизация на обучението на модели в системата с използване на трансферно обучение, обогатяване на данни и управление на скоростта на обучение с политика на единствен цикъл за осигуряване на висока точност и ефективност и предотвратяване на прекомерно приспособяване на моделите. Специално внимание е отделено на интеграцията на данни от различни сензори. Предложени са стратегии за хардуерна и софтуерна оптимизация на системата за постигане на енергийна ефективност.

Глава 4 е посветена на планиране и провеждане на експерименти за валидиране на предложената методология и анализ на получените от тях резултати. Направено е сравнение на производителността на различни архитектури за откриване на YOLO, SSD, Faster R-CNN; Оценка на влиянието на различни фактори върху точността на откриване на обекти: височина на полета, ъгъл на камерата, осветеност; Изследване на ефективността на различни методи за откриване на малки обекти; Анализ на между точност и скорост на обработване на данни с различните методи; Оценка на производителността на методите при различни класове обекти (например, превозни средства, хора, сгради); Изследване на ефективността на трансферно обучение за адаптация към специфични сценарии с безпилотни летателни апарати; Оценка на устойчивостта на моделите при различни атмосферни условия и наличие на шум.

Сред основните предизвикателства, идентифицирани при проведените научни и експериментални изследвания се открояват нуждата от още по-висока точност при разпознаване на обекти с ниска резолюция, адаптивност към динамично променящи се среди, както и устойчивост при липса на достатъчно обучаващи данни. Сложността на комбинирането на множество източници на данни в реално време също представлява техническо предизвикателство.

Дисертационният труд завършва със заключение, формулиране на приноси и библиографска справка.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд

Формулирани са 3 научни, 4 научно-приложни и 4 приложни приноси, които включват:

НАУЧНИ

- Предложена методология за проектиране и разработване на система за отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти при безпилотни летателни апарати;
- Предложена концептуална архитектура на система, проектирана с предложената методология, състояща се от хардуерни компоненти и софтуерни модули;
- Предложен адаптиран алгоритмичен модел за откриване на обекти според изискванията на конкретно приложение (автономни дронове, роботизирани системи, видеонаблюдение, интелигентни транспортни решения).

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ

- Използване на хибриден ансамблов метод за откриване на обекти при безпилотни летателни апарати чрез комбиниране на модели с различни архитектури на невронни мрежи;
- Предложени са техники за оптимизация на обучението на модели за отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти с използване на трансферно обучение, обогатяване на данни и управление на скоростта на обучение с политика на единствен цикъл;
- Предложена е методология за анализ и филтрация на грешки при откриването на обекти от вида фалшиво положителни, фалшиво отрицателни, неправилни класификации чрез комбиниране на Grad-CAM визуализация и статистически анализ на грешките;
- Предложена е методология за оценка на устойчивостта на моделите за откриване на обекти при безпилотни летателни апарати при закриване на обекти.

ПРИЛОЖНИ

- Дефинирани са конкретни препоръки за избор на модел и параметри за отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти при безпилотни летателни апарати в динамични среди;
- Предложена е модифицирана архитектура за ансамблов детектиране на обекти при безпилотни летателни апарати за приложения в реално време и за подобряване с до 7% на анализа при сложни сцени прямо най-добрия индивидуален модел;
- Разработена е експериментална рамка за сравнителен анализ на модели за отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти при безпилотни летателни апарати, която може да бъде използвана за оценка на нови архитектури и модели;
- Изследвано е влиянието на външни фактори – атмосферни условия (дъжд, мъгла, ниска осветеност), частично закриване на обекти, условия на регистриране на изображения (височина на полет, ъгъл на заснемане) върху точността на откриване и проследяване на обекти при безпилотни летателни апарати с използване на обучени модели със съвременни архитектури на невронни мрежи.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите

Считам, че приносите в представения ми за рецензиране дисертационен труд са оригинални и са предимно лично дело на докторанта, под ръководството на неговите научни ръководители проф. д-р инж. Милена Лазарова-Мицева и проф. д-р инж. Румен Трифонов.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани

Към дисертацията е приложен списък с направени 4 публикации, 2 от които са самостоятелни.

Публикациите на маг. инж. Елеонора Иванова отразяват основните резултати и приноси, получени при изготвянето на дисертационния труд. Количеството и качеството на публикациите отговарят на изискването за придобиване на образователна и научна степен „доктор“.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика

Представената система е приложима в широк кръг от реални ситуации – от мониторинг на природната среда и управление на земеделски дейности до дейности, свързани с националната сигурност и реакция при природни бедствия. Тя може да бъде адаптирана за различни платформи и условия на работа. Модулната ѝ структура и възможността за работа с мултимодални данни я правят ценен инструмент за инженери и изследователи.

9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът на дисертационния труд е в обем от 32 стр. и е оформен в съответствие с изискванията на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ- София. Той отразява вярно съдържанието, проведените изследвания, постигнатите теоретични и практически резултати и приносите, съдържащи се в пълния текст на дисертационния труд. Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

10. Мнения, препоръки и бележки

Дисертационният труд показва голям обем извършена научно-изследователска работа и свидетелства за добро познаване на предметната област от докторантката, които водят до убедителни резултати.

Освен това познавам лично маг. инж. Елеонора Иванова и мога да отбележа, че тя е добър професионалист, колега, на когото може да се разчита, отличава с се упоритост и хъс в работата си като учен и изследовател.

Нямам сериозни забележки към представения ми за рецензиране дисертационен труд.

Позволявам си да препоръчам да продължи изследванията си в тази перспективна област, като публикуват статии в реферирани в световната мрежа списания.

11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд.

След запознаване с представените документи и дисертационния труд, както и съдържащите се в него научни, научно-приложни и приложни приноси, считам, че те са в актуална научна област и показват способност за самостоятелно решаване на инженерни задачи.

Представените материали от маг. инж. Елеонора Иванова удовлетворяват всички изисквания на Закон за развитието на академичния състав в Република България, Правилник за неговото прилагане и Правилник за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ–София.

Всичко това ми дава основание да дам **положителна** оценка на дисертационния труд и да предложа на уважаемото научно жури да присъди образователната и научна степен „доктор“ на маг.инж. Елеонора Ивова Иванова в областта на висшето образование 5. Технически науки, Професионално направление: 5.3. Комуникационна и компютърна техника, научна специалност „Системи с изкуствен интелект“.

Дата:

18.06.2025 г.

РЕЦЕНЗЕНТ:

✓

R E V I E W

of a dissertation for acquiring the educational and scientific degree "Doctor"

Author of the dissertation: **M.Sc. Eng. Eleonora Ivova Ivanova**

Title of the dissertation: **Remote Detection, Recognition, and Tracking of Objects Using Unmanned Aerial Vehicles**

Field: **5.3. Communication and Computer Engineering**

Scientific specialty: **Artificial Intelligence Systems**

Reviewer: **Assoc. Prof. PhD. Eng. Galya Veselinova Pavlova**

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and applied terms. Degree and levels of relevance of the problem and the specific tasks developed in the dissertation

The dissertation is dedicated to the study and evaluation of methods for remote detection, recognition and tracking of objects using data obtained from unmanned aerial vehicles using modern technologies, including sensors, artificial intelligence and analytical algorithms. The topic of the dissertation is extremely relevant, as the results can be used for mapping, surveillance and border protection, environmental monitoring, agriculture and resource management, rescue operations and disaster management. New data processing algorithms make it possible to recognize small and difficult-to-detect objects, as well as predict future events based on historical data..

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material

The literature review is based on 138 sources and includes a thorough analysis of approaches and methods for remote object detection and recognition across various application domains. The analysis is in-depth and well-argued, reflecting the author's excellent knowledge of the field. The doctoral candidate demonstrates the ability to assess achievements and unresolved issues, as evident in the formulation of goals and tasks, with an emphasis on practically applicable solutions and technological advancement.

3 Compliance of the chosen research methodology with the set goal and objectives of the dissertation

The aim of the dissertation is to investigate, propose and evaluate methods for detection, recognition and tracking of objects using data obtained with unmanned aerial vehicles, which provide high accuracy, reliability and efficiency. To achieve this goal, 5 tasks have been set,

related to the development of an innovative system for remote detection and recognition of objects, integrating various technologies for data collection and navigation, analyzing and assessing the applicability of the proposed system in various areas and to validate and evaluate this system.

The methodology is well-founded and I believe that in the dissertation there is a correspondence between the chosen research methodology and the set goal and tasks, as evidenced by the contributions achieved and the statistical presentation and analysis of the experimental results obtained.

4. Brief analytical description of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the dissertation are built

The dissertation consists of 162 pages, including an introduction, four chapters, a list of contributions, publications, and references.

In the first chapter, organized in 7 parts, a literature analysis of the current state of unmanned aerial vehicles is made. Based on the conclusions made at the end, the goal is defined and the tasks of the dissertation are formulated.

In the second chapter, organized in 5 parts, the existing algorithms and methods for remote detection and recognition of objects, as well as the techniques and methods for image processing are considered. Theoretical research has been conducted on AI methods for developing a navigation and obstacle avoidance system. Criteria for optimality of the model are proposed. A methodology for applying parallel computing technologies is presented, which will be used to implement the software part of the planning system. A mathematical model of an algorithm for global and local planning of movement for a group of mobile robots based on a modified Hopfield neural network is presented. A new optimized and modified model for building a neural map is presented, which will be used in the research.

In the third chapter, organized in 8 parts, a methodology is proposed for the design and development of a system for remote detection, recognition and tracking of objects in unmanned aerial vehicles. The use of a hybrid ensemble method for object detection by merging the predictions of two models is proposed. Techniques for optimizing model training in the system using transfer learning, data enrichment and learning rate control with a single-loop policy are proposed to ensure high accuracy and efficiency and prevent overfitting of the models. Special attention is paid to the integration of data from different sensors. Strategies for hardware and software optimization of the system to achieve energy efficiency are proposed.

Chapter 4 is devoted to planning and conducting experiments to validate the proposed methodology and analyzing the results obtained from them. A comparison of the performance of different detection architectures YOLO, SSD, Faster R-CNN is made; Assessment of the influence of various factors on the accuracy of object detection: flight height, camera angle, illumination; Study of the effectiveness of various methods for detecting small objects;

Analysis of the trade-off between accuracy and speed of data processing with different methods; Assessment of the performance of methods for different classes of objects (e.g., vehicles, people, buildings); Study of the effectiveness of transfer learning for adaptation to specific scenarios with unmanned aerial vehicles; Assessment of the robustness of models under different atmospheric conditions and the presence of noise. Among the main challenges identified in the conducted scientific and experimental studies, the need for even higher accuracy in recognizing objects with low resolution, adaptability to dynamically changing environments, as well as robustness in the absence of sufficient training data stands out. The complexity of combining multiple data sources in real time also represents a technical challenge.

The dissertation ends with a conclusion, formulation of contributions and a bibliography.

5. Scientific and Applied Contributions

Three scientific, four scientific-applied and four applied contributions have been formulated, which include:

Scientific:

- Proposed methodology for design and development of a system for remote detection, recognition and tracking of objects in unmanned aerial vehicles;
- Proposed conceptual architecture of a system designed with the proposed methodology, consisting of hardware components and software modules;
- Proposed adapted algorithmic model for object detection according to the requirements of a specific application (autonomous drones, robotic systems, video surveillance, intelligent transport solutions).

Scientific-Applied:

- Use of a hybrid ensemble method for object detection in unmanned aerial vehicles by combining models with different neural network architectures;
- Techniques for optimizing the training of models for remote detection, recognition and tracking of objects using transfer learning, data enrichment and learning rate control with a single-loop policy are proposed;
- A methodology for analyzing and filtering errors in object detection such as false positives, false negatives, and misclassifications is proposed by combining Grad-CAM visualization and statistical error analysis;

A methodology for assessing the robustness of object detection models for unmanned aerial vehicles to object occlusion is proposed.

Applied:

- Specific recommendations for selecting a model and parameters for remote detection, recognition, and tracking of objects for unmanned aerial vehicles in dynamic environments are defined;
- A modified architecture for ensemble detection of objects for unmanned aerial vehicles is proposed for real-time applications and for improving the analysis in complex scenes by up to 7% compared to the best individual model;
- An experimental framework for comparative analysis of models for remote detection, recognition, and tracking of objects for unmanned aerial vehicles is developed, which can be used to evaluate new architectures and models;
- The influence of external factors - atmospheric conditions (rain, fog, low light), partial occlusion of objects, image recording conditions (flight altitude, shooting angle) on the accuracy of object detection and tracking in unmanned aerial vehicles using trained models with modern neural network architectures - was studied.

6. Evaluation of the doctoral student's individual contribution

I believe that the contributions in the dissertation submitted to me for review are original and are mainly the personal work of the doctoral student, under the guidance of his scientific supervisors Prof. Dr. Eng. Milena Lazarova-Mitseva and Prof. Dr. Eng. Rumen Trifonov..

7. Assessment of publications on the dissertation: number, nature of the publications in which they are published

A list of 4 publications is attached to the dissertation, 2 of which are independent.

The publications of M. Eng. Eleonora Ivanova reflect the main results and contributions obtained in the preparation of the dissertation. The quantity and quality of the publications meet the requirement for acquiring the educational and scientific degree "doctor".

8. Use of the Dissertation Results in Scientific and Social Practice

The presented system is applicable in a wide range of real-world situations – from monitoring the natural environment and managing agricultural activities to activities related to national security and responding to natural disasters. It can be adapted for different platforms and operating conditions. Its modular structure and the ability to work with multimodal data make it a valuable tool for engineers and researchers.

9. Assessment of the compliance of the abstract with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main provisions and contributions of the dissertation.

The abstract of the dissertation is 32 pages long and is designed in accordance with the requirements of the Regulations on the conditions and procedure for acquiring scientific

degrees at TU-Sofia. It faithfully reflects the content, the research conducted, the theoretical and practical results achieved and the contributions contained in the full text of the dissertation. The numbers of the figures, tables and formulas in the abstract correspond to those in the dissertation.

10. Comments and Recommendations

The dissertation shows a large volume of scientific research work carried out and evidence of good knowledge of the subject area by the doctoral student, which lead to convincing results.

In addition, I personally know M.Eng. Eleonora Ivanova and I can note that she is a good professional, a colleague who can be relied on, distinguished by perseverance and enthusiasm in her work as a scientist and researcher.

I have no serious objections to the dissertation submitted to me for review.

I would like to recommend that you continue your research in this promising area by publishing articles in internationally refereed journals.

11. Conclusion with a clear positive or negative assessment of the dissertation

After reviewing the submitted documents and the dissertation, as well as the scientific, scientific-applied and applied contributions contained therein, I believe that they are in a current scientific field and show the ability to independently solve engineering problems.

The materials submitted by M.Sc. Eng. Eleonora Ivanova satisfy all the requirements of the Act on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria, Regulations for its implementation and Regulations on the terms and procedure for acquiring scientific degrees at TU-Sofia.

All this gives me reason to give a positive assessment of the dissertation and to propose to the esteemed scientific jury to award the educational and scientific degree "**doctor**" to **M.Sc. Eng. Eleonora Ivova Ivanova** in the field of higher education 5. Technical sciences, Professional field: 5.3. Communication and computer technology, scientific specialty "Artificial intelligence systems".

Date

18.06.2025r.

REVIEWER: