



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: *проф. д-р инж. Емил Иванов Йончев*

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение

Възможностите, които предоставят безпилотните летателни апарати (БЛА) за отдалечено наблюдение и пренос на разнородни товари, съчетано с висока маневреност и трудна откриваемост ги превръщат в ключова технология с широко приложение в граждански, военни и научни области. Същевременно непрекъснатото развитие на сензорните технологии за отдалечено събиране на данни, комуникациите, обработката на големи обеми данни и изкуствения интелект дават възможност за нови функционалности и разширяване на областите на приложение. Всичко това води до увеличаване на техният брой, което поражда необходимост от регулиране на тяхното използване и поставяне на допълнителни изисквания към системите им - за точност, автономна работа при сложни и динамични среди и висока енергийна ефективност. Дисертационният труд е насочен към изследване на възможностите за преодоляване на посочените предизвикателства и ограничения. Актуалността му се състои в предложените и валидирани методи за откриване, разпознаване и проследяване на обекти, приложими както при автономната навигация, така и върху получавана мулти сензорна информация, използвана в различни приложения, при осигурена висока точност, надеждност и енергийна и изчислителна ефективност.

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

Дисертационният труд е посветен на актуална тематика, която предполага разширено проучване на технологии за получаване на данни, методи и алгоритми за откриване, разпознаване и проследяване на обекти. Цитираните 138 литературни източници, посочени в библиографската справка свидетелстват за извършения задълбочен критичен анализ и запознаване със спецификата на материята обект на дисертационния труд. На

тази база е формулирана целта на дисертационния труд и задачите за изпълнение. Творческата интерпретация на литературния материал, предложените архитектури, методи, проведените изследвания и получените резултати показват, че докторантката познава много добре състоянието на проблема. Това ѝ е позволило успешно да изпълни поставените задачи и да получи значими резултати.

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 на данни, получени с безпилотни летателни апарати, които осигуряват висока точност, надеждност и ефективност. Избраната изследователска методология се основава на теоретичен анализ, сравнителна и функционална оценка, моделиране, практически експерименти и анализ на получените резултати. Този комплексен подход позволява добре обоснован избор на инструменти и техники за решаване на определените изследователски задачи.

В дисертацията са предложени нови методи, модели и системни архитектури, които демонстрират подобрена точност, скорост на обработка, енергийна ефективност и изчислителна производителност. Тези решения са практически реализирани и приложени към различни реални сценарии, експериментално потвърдени и анализирани по отношение на тяхната ефективност. Всички тези усилия са довели до успешното решаване на поставените задачи и до постигането на общата цел на изследването.

4. Кратка аналитична характеристика 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 за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 138 литературни източника, като всички те са на латиница. Работата включва общо 15 фигури и 28 таблици.

В първа глава на дисертационния труд е направен преглед на текущото състояние на безпилотните летателни апарати, на технологиите за дистанционно откриване и разпознаване на обекти, техните специфични характеристики, предимства и свързаните с тях предизвикателства. Дефинирана е основната цел и изследователските задачи на дисертационния труд.

В глава втора е представен подробен преглед на технологиите за откриване на обекти използвани с БЛА, методите за обработка на получените данни и алгоритмите за разпознаване на обекти. Обобщени са съвременните тенденции в областта и е подчертана необходимостта от разработване на нови подходи и методи.

В трета глава са описаните етапите на разработка на системата, нейната хардуерна и софтуерна архитектура и процесите на интегриране на данните.

Методите и алгоритмите за откриване, разпознаване и проследяване на обекти са подбрани с оглед на изискванията за висока точност, скорост, енергийна ефективност и изчислителна производителност. Предложени са: стратегии за оптимизация на методите за откриване на малки обекти, за работа в динамични условия, за разпознаване и проследяване на обекти в реално време; техники за оптимизация на обучението на модели в системата; стратегии за хардуерна и софтуерна оптимизация на системата за постигане на енергийна ефективност.

Четвърта глава представя задълбочен експериментален анализ, при който системата е тествана при различни сценарии, за да се оцени и сравни производителността на различни архитектури за откриване на обекти (YOLO, SSD, Faster R-CNN). Оценява се влиянието на различни фактори като височина на полета, ъгъл на камерата, осветеност върху точността на откриване. В главата също така се оценява представянето на методите при различни класове обекти (превозни средства, хора, сгради), тяхната скорост на обработка и ефективност при откриване на малки обекти. Експерименталните резултати потвърждават надеждността, гъвкавостта и точността на прилаганите методи и разработените алгоритми.

5. Научни и/или научно-приложни приноси на дисертационния труд

В резултат на проведените изследвания, получените резултати са обобщени и представени като приноси систематизирани в три категории:

Научни приноси:

1. Предложена е методология за проектиране и разработване на система за дистанционно откриване, разпознаване и проследяване на обекти с помощта на безпилотни летателни апарати.
2. Предложена е концептуална архитектура на система, проектирана с предложената методология, състояща се от хардуерни компоненти и софтуерни модули, чието интегриране осигурява функционирането на системата съгласно поставените цели и функционални изисквания за точност, производителност, бързодействие и работа в реално време и енергийна ефективност.
3. Предложен е адаптиран алгоритмичен модел за откриване на обекти съобразен със специфичните изисквания на приложението. Той дава възможност за оптимизация за откриване на малки обекти и работа в динамична среда, както и разпознаване и проследяване на обекти в реално време.

Научно-приложни приноси:

1. Предложено е използване на хибриден ансамблов метод за откриване на обекти, който осигурява подобряване на точността при откриване на обекти при безпилотни летателни апарати чрез комбиниране на модели с различни архитектури на невронни мрежи.
2. Предложени са техники за оптимизация на обучението на модели за

отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти при безпилотни летателни апарати с използване на трансферно обучение, обогатяване на данни и управление на скоростта на обучение с политика на единствен цикъл, които осигуряват постигане на по-висока точност и предотвратяват прекомерното приспособяване на моделите.

3. 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.
4. Предложена е методология за оценка на устойчивостта на моделите за откриване на обекти при безпилотни летателни апарати при закриване на обекти, която може да се използва за адаптивно обучение и подобряване на производителността в реални условия.

С приложен характер:

1. 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.
2. Предложена е модифицирана архитектура за ансамблово детектиране на обекти при безпилотни летателни апарати с използване на YOLOv8 за баланс между точност и изчислителна ефективност за приложения в реално време и на Faster R-CNN за подобряване на анализа при сложни сцени, която подобрява точността с до 7% спрямо най-добрия индивидуален модел.
3. 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 в индустриални и изследователски среди за оценка на нови архитектури и модели.
4. 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.

Приемам приносите, както са формулирани от докторантката. Считам, че те точно отразяват постиженията ѝ в резултат на проведените изследвания и могат да намерят практическо приложение.

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

Постигнатите резултати от направените анализи и проведените изследвания в дисертационния труд, са представени на научни форуми и в списания, като са били рецензирани от независими рецензенти и са получили необходимата публичност и оценки от научната общност. На тази база, внимателен прочит и анализ на дисертационния труд, автореферата и на

публикациите ѝ, мога да направя заключение, че изследванията и приносите са нейно лично дело.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

По темата на дисертационния труд маг. инж. Елеонора Иванова е представила 4 публикации: две в списание „International Journal of Advances in Computer Science and Technology“, една в списание „Journal SECURITY & FUTURE“ и една докладвана на IX Международна научна конференция „INDUSTRY 4.0“, всичките са в периода 2024-2025 година. Две от публикациите са самостоятелни, две са с един съавтор. Във всичките публикации докторантката е на първо място. Няма забелязани цитирания. Направените публикации превишават изискуемия минимум точки заложи в Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Техническия университет - София.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната практика

Предложените архитектури, адаптивни модели, методология за оценка на устойчивостта на моделите и алгоритми за отдалечено откриване, разпознаване и проследяване на обекти чрез безпилотни летателни апарати, се характеризират с технологична адаптивност и са с висока степен на приложимост в широк кръг от реални ситуации. Комбинирането на данни от различни сензори, алгоритми за машинно и дълбоко обучение и ефективна обработка на изображения, позволява системата да бъде адаптирана за различни платформи и условия на работа. Това я прави ценен инструмент както за инженери, така и за изследователи, които търсят стабилна и гъвкава основа за по-нататъшно развитие и адаптиране.

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

Представеният от маг. инж. Елеонора Иванова автореферат на дисертационния труд е в обем от 32 страници и е оформен в съответствие с изискванията на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ТУ-София. Той представя вярно съдържанието, съществените страни на изследванията, постигнатите теоретични и практически резултати и дефинираните научни, научно-приложни и приложни приноси, съдържащи се в пълния текст на дисертационния труд. Представен е и списък на публикациите по темата на дисертацията, както и резюме на английски език.

10. Мнения, препоръки и бележки

Нямам съществени забележки към дисертационния труд. Той е оформен старателно, коректно представя научните изследвания и свидетелства за добрите познания на автора в областта. Докторантката е извършила значителна работа по темата на дисертацията, която е довела до убедителни научни и научно-приложни резултати. Темата на дисертацията е

в перспективна научна област и препоръка ми към маг.инж. Елеонора Иванова е да продължи своята научна работа и изследвания и да насочи усилия към внедряване на предложените методи и алгоритми в практиката, за постигане на преки приложни резултати.

11. Заключение

След като се запознах с дисертационния труд, считам че отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, Правилника за неговото прилагане, както и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Техническия университет - София. Докторантката е провела задълбочено изследване в актуална и значима област и е получила резултати, които съдържат научни, научно-приложни и приложни приноси, отразени в направените научни публикации. Въз основа на гореизложеното и представените материали давам положителна оценка на дисертационния труд и предлагам на уважаемите членове на Научното жури да бъде **присъдена образователна и научна степен „доктор“ на маг. инж. Елеонора Ивова Иванова** в професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника по научна специалност Системи с изкуствен интелект.

10.06.2025 г.
гр.София

Изготвил рецензията:.....
/проф. д-р инж. Емил Йончев /

REVIEW

of a dissertation for the acquisition of an 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 with unmanned aircraft*”

Professional direction: *5.3. Communication and computer equipment*

Scientific specialty: *Systems with artificial intelligence*

Reviewer: *Prof. Emil Ivanov Iontchev, PhD*

1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and scientific-applied terms

The capabilities offered by unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote observation and the transport of diverse payloads, combined with high maneuverability and low detectability, make them a key technology with wide application in civilian, military and scientific domains. At the same time, the continuous advancement of sensor technologies for remote data collection, communications, big data processing and artificial intelligence enables new functionalities and an expansion of application areas. All of this leads to an increase in their number, which creates a need for the regulation of their use and the imposition of additional requirements on their systems - such as accuracy, autonomous operation in complex and dynamic environments and high energy efficiency. This dissertation focuses on exploring ways to overcome the aforementioned challenges and limitations. Its relevance lies in the proposed and validated methods for object detection, recognition, and tracking, applicable both in autonomous navigation and in processing multi-sensor information used in various applications, ensuring high accuracy, reliability and both energy and computational efficiency.

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

The dissertation is dedicated to a current and relevant topic, which necessitates an in-depth exploration of data acquisition technologies, as well as methods and algorithms for object detection, recognition, and tracking. The 138 cited literature sources listed in the bibliography testify to a thorough critical analysis and a solid understanding of the subject matter of the dissertation. Based on this, the objective of the dissertation and the tasks required to achieve it have been formulated. The

creative interpretation of the literature, the proposed architectures and methods, the conducted research and the obtained results demonstrate that the doctoral candidate has a very good command of the state of the art in the field. This has enabled her to successfully accomplish the set tasks and achieve significant results.

3. Correspondence of the chosen research methodology with the set goal and tasks of the dissertation work

The objective of the dissertation is to investigate, propose, and evaluate methods for object detection, recognition and tracking using data acquired by unmanned aerial vehicles, ensuring high accuracy, reliability and efficiency. The chosen research methodology is based on theoretical analysis, comparative and functional evaluation, modeling, practical experiments and analysis of the obtained results. This comprehensive approach enables a well-grounded selection of tools and techniques for addressing the defined research tasks.

The dissertation proposes novel methods, models and system architectures that demonstrate improved accuracy, processing speed, energy efficiency and computational performance. These solutions have been practically implemented and applied to various real-world scenarios, experimentally validated and analyzed in terms of their effectiveness. All these efforts have led to the successful resolution of the defined tasks and the achievement of the overall research objective.

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

The dissertation consists of 162 pages and includes an introduction, four chapters dedicated to addressing the formulated core research tasks, a summary of the main contributions, a list of publications related to the dissertation and a bibliography. A total of 138 literature sources are cited, all of which are in Latin script. The work includes 15 figures and 28 tables.

Chapter One provides an overview of the current state of unmanned aerial vehicles, technologies for remote object detection and recognition, their specific characteristics, advantages and associated challenges. The main objective and research tasks of the dissertation are clearly defined.

Chapter Two presents a comprehensive review of object detection technologies used with UAVs, methods for processing the acquired data and algorithms for object recognition. Contemporary trends in the field are summarized and the need for the development of new approaches and methods is emphasized.

Chapter Three describes the development stages of the system, its hardware and software architecture and data integration processes. Methods and algorithms for object detection, recognition and tracking are selected with requirements for high accuracy, speed, energy efficiency and computational performance. The chapter proposes: optimization strategies for detecting small objects, operating in dynamic environments, real-time object recognition and tracking; techniques for optimizing model training; hardware and software optimization strategies to achieve energy efficiency.

Chapter Four presents a thorough experimental analysis, in which the system is tested under various scenarios to evaluate and compare the performance of different object detection architectures (YOLO, SSD, Faster R-CNN). The influence of different factors such as flight altitude, camera angle and lighting conditions on detection accuracy is assessed. The chapter also evaluates the performance of the methods across various object classes (vehicles, people, buildings), their processing speed and effectiveness in detecting small objects. The experimental results confirm the reliability, flexibility and accuracy of the applied methods and developed algorithms.

5. Scientific and/or scientific-applied contributions of the dissertation work

As a result of the conducted research, the results have been summarized and presented as contributions, systematically categorized into three groups:

Scientific contributions:

1. A methodology has been proposed for the design and development of a system for remote object detection, recognition and tracking using unmanned aerial vehicles.
2. A conceptual system architecture has been developed, based on the proposed methodology, consisting of hardware components and software modules whose integration ensures system functionality in accordance with defined objectives and functional requirements - accuracy, performance, real-time operation and energy efficiency.
3. An adapted algorithmic model for object detection has been proposed, tailored to application-specific requirements. It enables optimization for detecting small objects and operation in dynamic environments, as well as real-time object recognition and tracking.

Scientific-applied contributions:

1. A hybrid ensemble method for object detection has been proposed, enhancing detection accuracy in UAV applications by combining models with different neural network architectures.
2. Techniques have been developed to optimize the training of models for remote object detection, recognition and tracking using transfer learning, data augmentation and one-cycle learning rate policy. These techniques contribute to higher accuracy and prevent model overfitting.
3. A methodology has been proposed for analyzing and filtering detection errors such as false positives, false negatives and misclassifications by combining Grad-CAM visualizations with statistical error analysis.
4. A methodology has been proposed for evaluating the robustness of object detection models in UAVs under object occlusion conditions, which can be used for adaptive training and improving performance in real-world scenarios.

Applied Contributions:

1. Specific recommendations have been defined for the selection of models and parameters for remote object detection, recognition and tracking in dynamic environments using UAVs.

2. A modified ensemble detection architecture for UAVs has been proposed, utilizing YOLOv8 to balance accuracy and computational efficiency for real-time applications and Faster R-CNN to improve analysis in complex scenes. This ensemble achieves up to 7% higher accuracy compared to the best-performing individual model.

3. An experimental framework has been developed for comparative analysis of models for remote object detection, recognition and tracking using UAVs. This framework can be applied in both industrial and research settings to evaluate new architectures and models.

4. The impact of external factors - such as weather conditions (rain, fog, low light), partial occlusion of objects and image acquisition conditions (flight altitude, camera angle) - has been investigated in relation to the accuracy of object detection and tracking by UAVs using trained models with modern neural network architectures.

I accept the contributions as formulated by the doctoral candidate. I believe they accurately reflect her achievements resulting from the conducted research and are likely to find practical application.

6. Evaluation of the degree of personal participation of the PhD student in the contributions

The results achieved through the analyses and research presented in the dissertation have been disseminated at scientific forums and in peer-reviewed journals, having undergone evaluation by independent reviewers and received appropriate visibility and recognition from the scientific community. Based on this, as well as a careful review and analysis of the dissertation, the abstract and the related publications, I conclude that the research and contributions are her own original work.

7. Evaluation of the publications on the dissertation

On the topic of the dissertation, M.Sc.Eng. Eleonora Ivanova has presented four publications: two in the “International Journal of Advances in Computer Science and Technology”, one in the journal “Journal SECURITY & FUTURE” and one presented at the IX International Scientific Conference 'INDUSTRY 4.0'. All publications were issued during the period 2024–2025. Two of the publications are single-authored and two are co-authored with one other collaborator. In all publications, the doctoral candidate is listed as the first author. No citations have been identified to date. The publications exceed the minimum required number of points set forth in the Regulations for the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at the Technical University of Sofia.

8. Using the results of the dissertation work in scientific and social practice

The proposed architectures, adaptive models, methodology for evaluating model robustness and algorithms for remote object detection, recognition and tracking using unmanned aerial vehicles are characterized by technological adaptability and a high degree of applicability across a wide range of real-world scenarios. The integration of data from various sensors, combined with machine and deep learning algorithms and efficient image processing techniques, allows the system to be adapted for different platforms and operational conditions. This makes it a valuable tool for both engineers and researchers seeking a robust and flexible foundation for further development and adaptation.

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

The abstract of the dissertation submitted by M.Sc.Eng. Eleonora Ivanova consists of 32 pages and is formatted in accordance with the Regulations for the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at the Technical University of Sofia. It accurately reflects the content and essential aspects of the research, the achieved theoretical and practical results, as well as the defined scientific, applied-scientific and practical contributions contained in the full text of the dissertation. A list of publications related to the dissertation topic is also included, along with a summary in English.

10. Opinions, recommendations and notes

I have no significant remarks regarding the dissertation. It is carefully structured, accurately presents the scientific research and demonstrates the author's strong knowledge in the field. The doctoral candidate has carried out substantial work on the dissertation topic, resulting in convincing scientific and applied-scientific outcomes. The topic of the dissertation lies within a promising scientific area and my recommendation to M.Sc.Eng. Eleonora Ivanova is to continue her research efforts and to focus on the practical implementation of the proposed methods and algorithms in order to achieve direct applied results.

11. Conclusion

Having reviewed the dissertation, I consider that it meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria, the Regulations for its implementation, as well as the Regulations on the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at the Technical University of Sofia. The doctoral candidate has conducted in-depth research in a current and relevant field and has obtained results that include scientific, applied-scientific, and practical contributions, as reflected in the related scientific publications. Based on the above and the submitted materials, I give a positive evaluation of the dissertation and recommend to the esteemed members of the Scientific Jury **that the educational and scientific degree 'Doctor' be awarded to M.Sc.Eng. Eleonora Ivova Ivanova** in the professional field 5.3 Communication and Computer Engineering, in the scientific specialty Systems with artificial intelligence.

Date: 10.06.2025

Reviewer:.....
/Prof. Emil Iontchev, PhD/