

14.11.2023



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователно-научна степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: инж. Ивайло [REDACTED] Начев

Тема: „Средства и алгоритми за автоматично кацане на БЛА, чрез радиочестотна обработка и псевдо конично сканиране”

Професионално направление: 5.3 Комуникационна и компютърна техника

Докторантска програма: Радиопредавателна и радиоприемна техника

Рецензент: проф. д-р инж. Емил [REDACTED] Йончев

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

В последното десетилетие приложението на безпилотни летателни апарати (БЛА) в различни сектори на индустрията се разширява. Това води и до увеличаване на техния брой и необходимостта от регулиране на тяхното използване чрез нормативни документи и повишаване на изискванията към техните системи за навигация, позициониране и ориентация при излитане и кацане. При повечето бъдещи приложения отделните етапи на полета на БЛА ще бъдат напълно автоматизирани. Такава е и целта на дисертационния труд - да се разработят средства и алгоритми на система за автоматично кацане на БЛА, чрез радиочестотна обработка и псевдо конично сканиране(ПКС) с намалена изчислителна сложност.

Решението на поставените задачи, получените експериментални и симулационни резултати в научно, научно-приложно и приложно отношение притежават безспорна актуалност. Допълнително доказателство за това е и големият брой научни и практически разработки в тази област, публикувани през последните няколко години.

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

За разработване на дисертацията докторантът е ползвал общо 177 актуални литературни източници, от които 176 броя на латиница и 1 на кирилица. Всичките са включени в дисертацията и са цитирани коректно.

В първа глава докторантът е направил задълбочено литературно проучване на съществуващите методи, средства и алгоритми за автоматично кацане на БЛА. Това му е позволило правилно да дефинира целите и задачите на дисертационния труд. Направените критични анализи и изследвания показват, че авторът познава много добре състоянието на проблема и умее да прави аналитични и критични интерпретации на използвания литературен материал. Това му е позволило успешно да изпълни поставените задачи и да

получи резултати със значими научни, научно-приложни и приложни приноси.

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

Избраната методика на изследване в дисертационния труд е на базата на задълбочен критичен анализ на съществуващите системи за автоматично кацане на БЛА, работещи на различен принцип, методите и средствата касаещи локализиране на цели чрез радиочестотна обработка и средствата за подобряване характеристиките на фазирана антенна решетка (ФАР).

За постигане на поставените задачи са приложени подходящи методики, алгоритми, схемни решения, анализ на получените резултати. Направена е верификация на предложените решения чрез симулации и подходящи експерименти върху авторски разработки на базова приемна част на системата за автоматично кацане на БЛА, система за автоматично следене на БЛА с псевдо конично сканиране и модифицирани периодични структури. Има пълно съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд.

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

Дисертационният труд е разработен в обем от 157 страници. Структурата му съответства на темата. Отделните глави имат логическа обвързаност и са добре балансирани по обем. Разпределението на материала е както следва: заглавна страница; съдържание и увод; използвани съкращения; пет глави; приноси; списък с публикации към дисертационния труд; участия в проекти във връзка с работата по дисертационния труд; постигнати резултати и препоръки за бъдеща работа; списък на използваната литература.

В първа глава е направен литературен обзор на методите и средствата за автоматично кацане на БЛА, методите за локализиране на цели чрез радиочестотна обработка, средства за подобряване качествените показатели на фазирана антенна решетка с ПКС чрез периодични структури.

Във втора глава е извършен анализ и са дефинирани основните технически показатели и параметри на радио комуникационна система за автоматично кацане на БЛА с използване на ПКС. Направен е избор на вариант на системата и е определено максималното работно разстояние на системата.

В трета глава е проектирана, реализирана и изследвана базова приемна част на системата за ПКС по избрания вариант от втора глава. Получени са диаграмите на насочено действие (ДНД) на антенната решетка за различните състояния на лъча. Предложени са различни варианти за подобряване на динамичния обхват на характеристиките на антенната система чрез микровълнови периодични структури.

В четвърта глава е дискутиран подход за определяне на ъгловите

координати на БЛА с ФАР и псевдо конично сканиране чрез обработка на мощността на приетия сигнал. Изведени са математически зависимости, които позволяват директно определяне на ъгловите координати на обекта, чрез измерените мощности от ПКС.

Пета глава е посветена на разработване на алгоритми за автоматично кацане на БЛА на базата на предложения подход. Те са имплементирани в реализирана система за автоматично следене и навигация.

Получените резултати от проведените експерименти потвърждават достоверността на материала и напълно съответстват на поставените в дисертацията задачи и са дело на докторанта.

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

Заявените от дисертанта приноси са научни, научно-приложни и приложни. Те имат следните характеристики: предложени са нови подходи и методи за изследване, разработени са нови и модифицирани структури и системи, алгоритми за тяхното управление и изследване. Получени и са доказани нови и потвърдителни факти.

С научен характер са:

1. Предложен е подход за определяне на ъгловите координати на БЛА чрез ФАР с псевдо конично сканиране, с използване само на мощността на приетия радиочестотен сигнал. Оценката се извършва с изведена система линейни уравнения използващи Гаусова апроксимация на ДНД и последваща линейна апроксимация на измерените или симулирани разликови диаграми в логаритмичен мащаб. Получените резултати са доказани с тестово измерване и изследване на грешката при позициониране.
2. Проектирани, реализирани и изследвани са модификации в периодични структури, с цел подобряване динамичния обхват на системата за автоматично следене с ПКС. Доказано е, че чрез тях се увеличава и коефициента на усилване на антените.

С научно-приложен характер са:

1. Разработена е методика за определяне на връзката между височината, от която може да започне процесът за кацане на БЛА, ъгъла на ДНД на антената и чувствителността на приемника от системата за приземяване. Доказана е практическата приложимост на предложената методика.
2. Разработен е алгоритъм за автоматично кацане на БЛА, използващ разработения подход за определяне на ъгловите координати на обекта, на основата на линейна апроксимация на разликовите ДНД в логаритмичен мащаб. Той е изследван симулационно със синтезиран програмен код, като е оценена точността му с отчитане влиянието на систематичната грешка на сензора и влиянието на случайната грешка от измерване. Получените резултати доказват, че предложения алгоритъм е сходящ при всички изследвани случаи, въпреки

въздействието на систематичната и случайната грешка от измерване на мощността на приетия сигнал.

3. На основата на предложения подход за оценка на ъгловите координати е предложен алгоритъм на система за следене на БЛА с псевдо конично сканиране. За целите на изследването е проектирана и реализирана система за автоматично следене. Разработен е програмен код на алгоритъма, който е имплементиран в нея. Представени са резултати от работата на системата за следене, които доказват приложимостта на предложения подход и разработения алгоритъм за следене.

С приложен характер са:

1. Предложени и са анализирани пет възможни варианта за реализация на система за автоматично кацане на БЛА в зависимост от разположението на предаващата и приемната част на системата. Определени са функционалните изисквания и техническите параметри за всеки елемент от системата.
2. На основата на дефинираните технически изисквания и функционални възможности, с известни методики е проектирана и реализирана базова приемна част на системата по избрания вариант.
3. Симулационно и чрез измерване са изследвани и сравнени радиационните диаграми на различни варианти на ФАР с имплементирани в тях PBG и EGB структури. Направените изследвания доказват, че предложените топологии на ФАР са подходящи за реализиране и увеличаване на динамичния обхват на системата за автоматично кацане. Освен за автоматично кацане с псевдо конично конично сканиране, разработените и изследвани ФАР могат да се прилагат в конвенционални безжични комуникационни системи.
4. Изследвана и оценена е систематичната грешка при позициониране с използване на подхода за определяне на ъгловите координати и използване на различни антенни системи. Получените резултати показват, че предложеният подход на апроксимиране и определяне на ъгловите координати, може да се реализира на практика и има необходимата точност в процеса на кацане на БЛА.

Приемам формулираните от докторанта приноси. Считам, че те правилно отразяват постигнатото от докторанта в резултат на проведените изследвания и ще намерят приложение в практиката.

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

Постигнатите резултати са публикувани в 9 научни публикации в съавторство само с научния ръководител, като в осем от тях е посочен на първо място в авторския колектив. Докторантът има участие в проект в помощ на докторанти и национална програма „Млади учени и постдокторанти – 2“. Всичко това дава основание да се счита, че приносите са дело на докторанта, под ръководството на неговия научен ръководител проф. д-р Илия Илиев.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд:

По дисертационния труд са направени девет публикации, осем в съавторство с ръководителя на докторанта и една самостоятелна. Една публикация е в списание Sensors, една в Microwave Review, останалите са на престижните научни конференции ICEST(2019, 2021, 2022), TELECOM(2021 и 2022) и CIEES'22. Всичките са на английски език. Осем от публикациите са индексирани в Scopus и в IEEE Xplorer, а статия [1] е с наукометрични показатели IF 3.9, SJR 0.76, Q1.

Направените публикации напълно отразяват разработените проблеми в дисертационния труд и обхващат съществена част от дисертационния труд.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект

Справката в базата данни на Scopus показва до настоящия момент 6 цитирания на научни публикации към дисертацията. 3 броя цитирания за „Automatic Landing of Unmanned Aerial Vehicles via Wireless Positioning System with Pseudo-Conical Scanning“ и 3 броя цитирания за „Circularly Polarized Phased Antenna Array with Pseudo-Conical Scanning with an Application for UAVs Unmanned Landing“, което показва тяхната значимост за научната общност в областта на радиопредавателната и радиоприемна техника.

Направените разработки за автоматично кацане и следене на БЛА, използващи разработения подход за определяне на ъгловите координати на обекта биха могли да доведат до реализиране на пряк икономически ефект, свързан с намаляване на времето на доставка на товари. Това се потвърждава от представените резултати от симулации и тестове върху разработените елементи и системи.

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 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, участие в научно изследователски договори, както и абстракт на английски език.

10. Мнения, препоръки, забележки

Докторантът се е съобразил с направените от мен препоръки на предварителното обсъждане на дисертационния труд.

Все още се забелязват редакционни пропуски. Например:

- На стр.103 е направено обобщение на изводи, които отчасти се повтарят в точка 4.5 „Изпълнени цели, задачи и изводи от четвърта глава“ на стр. 107;
- На фигура 4.32 липсва описание кой параметър, с каква линия е представен;
- На определени места в текста са останали номера на фигури, които липсват, например стр.18 - фиг.1.5, стр.27 - фиг.1г.

Докторантът е изграден научен работник, способен да решава задачи в областта на радиопредавателната и радиоприемна техника. Доказателство за това е не само представената дисертация, а и допълнителните 7 броя статии и цитирания в 21 научни публикации, всичките в Scopus. Препоръчвам му да продължи работата си в избраната от него научна област.

11. Заключение

Докторантът е направил задълбочено изследване на поставените проблеми, предложил е и е реализирал на практика елементите и алгоритмите на система за следене на БЛА с псевдо конично сканиране. Постигнатите научни, научно-приложни и приложни приноси, отразени в достатъчен на брой научни публикации, са напълно достатъчно основание за **положителна оценка на дисертационния труд**. Въз основа на която предлагам на уважаемото Научно жури да **присъди образователната и научна степен „доктор“ на маг. инж. Ивайло [REDACTED] Начев** в професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника по научна специалност Радиопредавателна и радиоприемна техника.

14.11.2023 г.
гр.София

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

VIZ 78-1021-080
14.11.2023



REVIEW

of a PhD thesis for the acquisition of educational and scientific degree
"Doctor"

Author of the PhD thesis: *Mag.Eng. Ivaylo [redacted] Nachev*

Topic of the PhD thesis: *Means and algorithms for automatic landing of UAV
via radio frequency processing and pseudo conical scanning*

Professional direction: *5.3. Communication and computer equipment*

Doctoral programme: *Radio transmitting and receiving equipment*

Prepared by: *Prof. Emil [redacted] Iontchev, PhD,*

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

Over the past decade, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) has expanded across various sectors, leading to an increased need for regulations through normative documents. This growth also necessitates enhanced requirements for UAV navigation, positioning, and orientation systems during takeoff and landing. In most future applications, the individual stages of UAV flight will be fully automated. Such is the goal of this dissertation, to develop the means and algorithms of an automatic UAV landing system utilizing radio frequency processing and pseudo conical scanning (PCS) with reduced computational complexity.

The solution of the set tasks, the obtained experimental and simulation results in scientific, scientific-applied and applied terms have undeniable relevance. Further evidence of this is the large number of scientific and practical developments in this field published in the last few years.

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

For the development the PhD student has used a total of 177 actual literature sources, of which 176 in Latin script and 1 in Cyrillic. All of them are included in the dissertation and are cited correctly.

In chapter one, the PhD student has conducted an in-depth literature survey of existing methods, tools and algorithms for automatic UAV landing. This has enabled him to correctly define the aims and objectives of the thesis. Critical analysis and investigations undertaken illustrates the author's excellent

understanding of the problem's state and the ability to provide analytical and critical interpretation of the literature used. This has allowed him to successfully accomplish the set tasks and to obtain results with significant scientific, scientific-applied and practical contributions.

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

The chosen research methodology in the dissertation is based on a thorough critical analysis of the existing automatic landing systems for UAVs operating on different principle, the methods and means concerning target localization by radio frequency processing and the means for improving the characteristics of phased array antenna (PAA).

Appropriate methodologies, algorithms, schematic solutions, analysis of the obtained results are applied to achieve the set tasks. Verification of the proposed solutions by simulations and appropriate experiments on the author's developments of the base receiver part of the UAV automatic landing system, the UAV automatic tracking system with pseudo conical scanning and modified periodic structures is made. There is a full correspondence of the chosen research methodology and the stated aim and tasks of the thesis.

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 is developed in a volume of 157 pages. Its structure corresponds to the topic. The individual chapters have a logical coherence and are well balanced in volume. The distribution of the material is as follows: title page; table of contents and introduction; abbreviations used; five chapters; contributions; list of publications related to the dissertation work; participation in projects related to the dissertation work; achieved results and recommendations for future work; list of literature used.

Chapter one presents a literature review of methods and means for automatic UAV landing, methods for target localization using radio frequency processing, means for improving the quality performance of phased array antenna with PCS by periodic structures.

In the second chapter, the main technical characteristics and parameters of a radio communication system for automatic landing of UAVs using PAA are analyzed and defined. The selection of the system variant is made and the maximum working distance of the system is determined.

In the third chapter, a basic receiving part of the system for UAV is designed, implemented and investigated according to the selected variant of the second chapter. The directional action diagrams (DADs) of the antenna array for different beam states are obtained, along with various proposals for improving the dynamic range of antenna system characteristics through microwave periodic structures.

Chapter four discusses an approach for determining the angular coordinates of UAVs with PAA and pseudo conical scanning by processing the received signal

power. Mathematical dependencies are derived that allow direct determination of the angular coordinates of the object using the measured powers from the PCS. Chapter five is devoted to the development of automatic UAV landing algorithms based on the proposed approach. They are implemented in an realised automatic tracking and navigation system.

The results obtained from the conducted experiments affirm the credibility of the material and fully correspond to the tasks set in the dissertation and are the work of the PhD student.

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

The contributions stated by the PhD student are scientific, scientific- applied and applied. They have the following characteristics: new research approaches and methods have been proposed, new and modified structures and systems have been developed, algorithms for their management and research have been developed. New and confirmatory facts have been obtained and proved.

Scientific contributions:

1. An approach for determining the angular coordinates of UAVs by PAA with pseudo conical scanning, using only the power of the received radio frequency signal is proposed. The estimation is performed with a derived system of linear equations using a Gaussian approximation of the DAD and a subsequent linear approximation of the measured or simulated difference diagrams on a logarithmic scale. The obtained results are validated through test measurements and positioning error study.

2. Modifications in periodic structures are designed, implemented and investigated in order to enhance the dynamic range of the automatic tracking system with PCS. It has been proved that they lead to increase the gain factor of the antennas.

Scientific-applied contributions:

1. A methodology has been developed to determine the relationship between the altitude from which the UAV landing process can be initiated, the angle of the antenna DAD and the receiver sensitivity of the landing system. The practical applicability of the proposed methodology has been demonstrated.

2. An automatic UAV landing algorithm has been developed using the established approach to determine the angular coordinates of the object, based on a linear approximation of the spacing DADs in logarithmic scale. It is investigated by simulation with synthesized programming code, and its accuracy is evaluated by considering the influence of the systematic sensor error and the influence of the random measurement error. The obtained results prove that the proposed algorithm is convergent in all the investigated cases, despite the influence of the systematic and random error of the received signal power measurement.

3. Based on the proposed approach for estimating the angular coordinates, an algorithm for a UAV tracking system with pseudo conical scanning is proposed. For the purpose of the study, an automatic tracking system is designed and implemented. The programming code of the algorithm has been developed and implemented in it. Performance results of the tracking system are presented to

demonstrate the feasibility of the proposed approach and the developed tracking algorithm.

Applied contributions:

1. Five possible implementations of an automatic UAV landing system have been proposed and analyzed based on the location of the transmitting and receiving parts of the system. The functional requirements and technical parameters for each element of the system have been determined;
2. On the basis of the defined technical requirements and functional capabilities, a basic receiving part of the system has been designed and implemented according to the selected variant using known methodologies.
3. The radiation patterns of different variants of PAA with PBG and EGB structures implemented in them, were investigated and compared by simulation and measurement. The investigations performed prove that the proposed PAA topologies are suitable to implement and increase the dynamic range of the automatic landing system. In addition to automatic landing with pseudo conical scanning, the developed and investigated PAA can be applied in conventional wireless communication systems.
4. The systematic positioning error is investigated and evaluated using the angular coordinate estimation approach and using different antenna systems. The results demonstrate that the proposed approach of approximating and determining the angular coordinates can be implemented in practice and has the required accuracy in the UAV landing process.

I accept the contributions formulated by the PhD student. I believe that they accurately reflect what he has achieved as a result of the conducted research and will find application in practice.

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

The achieved results have been published in 9 scientific publications co-authored only with the supervisor, and in eight of them he is listed first in the author collective. The PhD student has participated in a project to support PhD students and the national program "Young Scientists and Postdocs - 2". All of this provides ground to consider that the contributions are the work of the PhD student, under the guidance of his scientific supervisor Prof. Dr. Ilia Iliev.

7. Evaluation of the publications on the dissertation

Nine publications have been made on the dissertation, eight co-authored with the PhD supervisor and one independent. One publication is in the journal *Sensors*, one in *Microwave Review*, the rest are in the prestigious scientific conferences ICEST(2019, 2021, 2022), TELECOM(2021 and 2022) and CIEES'22. All of them are in English. Eight of the publications are indexed in Scopus and IEEE Xplorer, and paper [1] has a science metrics of IF 3.9, SJR 0.76, Q1.

The publications fully reflect the problems developed in the dissertation and cover an essential part of the dissertation.

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

The Scopus database reference shows 6 citations of scientific publications to the dissertation so far. 3 citations for "Automatic Landing of Unmanned Aerial Vehicles via Wireless Positioning System with Pseudo-Conical Scanning" and 3 citations for "Circularly Polarized Phased Antenna Array with Pseudo-Conical Scanning with an Application for UAVs Unmanned Landing", which indicates their significance for the scientific community in the field of radio transmission and reception equipment.

The developments made for the automatic landing and tracking of UAVs using the developed approach for the determination of the angular coordinates of the object could potentially lead to the realization of a direct economic effect related to the reduction of cargo delivery times. This is confirmed by the presented results from simulations and tests conducted on the developed elements and systems.

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

The abstract of the dissertation is 32 pages and is developed in accordance with the requirements of the Regulations for the Conditions and Procedure for the Acquisition of Scientific Degrees at TU-Sofia. It accurately presents the content, the essential aspects of the research, the theoretical and practical results achieved and the defined scientific, scientific-applied and applied contributions contained in the full text of the dissertation. Additionally, a list of publications on the dissertation topic, participation in scientific contracts, and an abstract in English is also provided.

10. Opinions, recommendations and remarks

The doctoral student has taken into account the recommendations I made during the preliminary discussion of the dissertation.

Editorial omissions are still noticeable. For example:

- A summary of conclusions is provided on page 103, which is partially repeated in section 4.5 "Completed objectives, tasks and conclusions of the fourth chapter" on page 107;

- Figure 4.32 lacks a description of which parameter is represented by each line;

- In certain parts of the text there are figure numbers that are missing, e.g. p.18 - Fig.1.5, p.27 - Fig.1d.

The PhD student is an established researcher, capable of solving problems in the field of radio transmission and reception equipment. This is evidenced not only by the submitted dissertation, but also by the additional 7 articles and citations in 21 scientific publications, all in Scopus. I recommend him to continue his work in his chosen scientific field.

11. Conclusion

The PhD student has made a thorough study of the problems posed, has proposed and practically implemented the elements and algorithms of a UAV tracking system with pseudo conical scanning. The achieved scientific, scientific-applied and applied contributions, reflected in a sufficient number of scientific publications, are quite sufficient grounds for a **positive evaluation of the dissertation**. On the basis of which I propose the esteemed scientific jury to **award the educational and scientific degree "Doctor" to MSc. Eng. Ivaylo [redacted] Nachev** in the professional field 5.3 Communication and computer equipment in the scientific specialty Radio transmitting and receiving equipment.

Date: 14.11.2023

Reviewer: [redacted]

/Prof. Dr. Emil Iontchev/