



РЕЦЕНЗИЯ

от доц. д-р инж. Росен Георгиев Милетисв
за дисертационния труд на маг.инж. Ивайло Найденов Начев на тема
„Средства и алгоритми за автоматично кацане на БЛА чрез радиочестотна обработка и
псевдоконично сканиране”
за присъждане на образователната и научна степен „доктор”

Настоящото становище е изготвено съгласно решение на Научно жури по процедура **ФТК78-НС1-080**, назначено със Заповед № ОЖ – 5.3 - 59 от 16.10.2023 г. на Ректора на ТУ – София, за придобиване на образователна и научна степен „доктор” с кандидат маг. инж. **Ивайло Найденов Начев**.

Общо описание на представените материали

Представеният ми дисертационен труд е с обем от 157 машинописни страници, като включва увод, списък на използваните съкращения, пет глави, списък на основните приноси, списък на публикациите и използвана литература.. Приложената библиография съдържа 177 актуални и съвременни заглавия, които обхващат различни информационни източници, от които 176 бр.на латиница и 1 източник на кирилица.

Това показва задълбочения литературен обзор на поставените проблеми и демонстрира умението на автора да анализира значителна по обем литература и да следи последните достижения в областта на системи за автоматично кацане на безпилотни летателни апарати (БЛА), което пък е дало възможност на докторанта да предложи адекватни решения на съществуващите проблеми при приемането и обработката на сигнали в тези системи. Същевременно авторът е демонстрирал и отлично боравене с математическия и симулационния апарат, което му е позволило извеждането на редица аналитични изрази за определянето на ъгловите координати на обектите и последващо симулационно потвърждение на изведените зависимости.

Към представените материали са приложени и автореферат и 9 (девет) научни публикации.

Обща характеристика на научно – изследователската работа на кандидата

Представеният дисертационен труд анализира методи и алгоритми за автоматизиране кацане на БЛА с прилагане на радиочестотни методи с фазиращи антенни решетки (ФАР) с псевдоконично сканиране (ПКС).

В описанието на общата характеристика на дисертационния труд са дефинирани актуалността на проблематиката, обекта на изследване, предмета на разработката, както структурата на дисертационния труд, както и основната цел и научно – изследователски задачи, решени в отделните глави на дисертацията.

В Глава 1 са разгледани основните проблеми на съществуващите методи и средства за автоматично кацане на БЛА, методите за локализиране на цели чрез радиочестотна обработка, средства за подобряване качествените показатели на ФАР с ПКС чрез периодични структури. Анализът на тази част показва, че маг. инж. Ивайло Начев детайлно е запознат с основните проблеми относно различните методи за локализация и позициониране на подвижни обекти с прилагане на ФАР за приемане на сигналите.

В Глава 2 са анализирани различни варианти за реализация на система за автоматично кацане на БЛА с радиочестотна обработка посредством ПКС, като се дефинират основните изисквания и технически параметри на радио комуникационната система, като на базата на критичен анализ на съществуващите решения (5 варианта) е избран вариант с ниска изчислителна сложност и задоволителна точност. В зависимост от чувствителността на приемника е определен максималния обхват на захващане и съпровождане на БЛА за автоматично кацане.

В Глава 3 по избраният вариант в Глава 2 е проектирана и изследвана приемната страна на системата за ПКС, като е предложена четириелементна структура за ФАР за постигане на ПКС. За подобряване на динамичният обхват на характеристиките на антенната система за автоматично кацане на БЛА с ПКС са изследвани няколко варианта на микровълнови периодични структури. Симулационно и експериментално са изследвани и сравнени диаграмите на излъчване на шест варианти на антени с PBG и EGB структури.

В Глава 4 е предложен начин за определяне на ъгловите координати на БЛА чрез ФАР с псевдоконично сканиране чрез обработка на мощността на приетия сигнал и са изведени зависимости за ъгловите координати на обекта от измерената приета мощност от

ПКС. За оценка на точността от позиционирането е оценена систематичната и случайната грешка при определяне на ъгловите координати за ФАР 2x2 с различни излъчватели и поляризация.

В Глава 5 са определяни ограничителните условия и функционалните възможности на алгоритъм за автоматично кацане и следене на БЛА при използване на предложеният в Глава 4 метод за определяне на ъгловите координати на обекта, като е определена оптималната височина на работа на системата с и без GPS система. Теоретично получените резултати са сравнени със симулационно получени резултати за няколко начални височини (15m и 45m) и максимално теоретично определената. За намаляване на средната квадратична грешка от позициониране е приложена пропорционално интегрална корекция на позицията на БЛА. За увеличаване на скоростта на кацане и броя на точките на корекция е предложено да се използва логаритмичен мащаб на изменение на височината.

Основни научни и научно – приложни приноси

В дисертационният труд са дефинирани 2 научни, 3 научно – приложни и 4 приложни приноси както следва:

Научни приноси

1. Предложен е метод за определяне на ъгловите координати на БЛА чрез ФАР с ПКС на базата на система линейни уравнения (4.7), използваща Гаусова апроксимация на диаграмата на насочено действие (ДНД) и последваща линейна апроксимация на разликовите диаграми в логаритмичен мащаб (4.3 а), (4.3 б), (4.4 а), (4.4 б) (4.5) за различните състояния на псевдо конично сканиране.
2. Предложени са модифицирани периодични структури, които подобряват динамичния обхват на сензора за псевдоконично сканиране – ФАР. Изследвани и анализирани са следните структури: фотонни периодични структури тип огледало на Брейк, Z-образни EBG периодични структури и модифицирани гъбообразни EBG. За подобряване на динамичният обхват на характеристиките на антенната система за автоматично кацане на БЛА с ПКС са изследвани няколко конфигурации на разстоянията между антената и периодичната структура.

Научно-приложни приноси

1. Предложена е зависимост за определяне на височината, от която може да започне процесът за безпилотно кацане на БЛА, спрямо ъгъла на ДНД на сензора
2. Предложен е алгоритъм за автоматично кацане на БЛА, използващ разработения метод за определяне на ъгловите координати на обекта на основата на линейна апроксимация на разликите ДНД в логаритмичен мащаб за намаляване на средноквадратичната грешка. Алгоритъмът е изследван симулационно със синтезиран програмен код за няколко височини сред които и максимално определената съгласно горната зависимост.
3. Предложен е алгоритъм на система за следене на БЛА с псевдо конично сканиране на основата на предложения метод за оценка на ъгловите координати с използване на разликите ДНД на ФАР и тяхната линейна апроксимация като алгоритъма е изследван симулационно и експериментално.

Приложни приноси

1. Предложени и са анализирани пет възможни варианта за реализация на система за автоматично кацане на БЛА с радиочестотна обработка, посредством псевдо-конично сканиране (§2.1) в зависимост от разположение на предаващата и приемната част на системата, като е избран вариант с ниска изчислителна сложност и задоволителна точност.
2. Проектирани, реализирани, измерени и са анализирани ФАР с 2x2 пач елементарни излъчватели за ПКС (фиг. 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 и 3.10).
3. От предложените модифицирани периодични структури симулационно и експериментално са изследвани диаграмите на излъчване на няколко варианти на ФАР антени с имплементирани в тях PBG и EGB структури.
4. Изследвана и оценена е систематичната грешка при позициониране на основата на предложените зависимости за определяне на ъгловите координати на БЛА.

На тази база считам, че поставените цели и задачи в дисертационния труд са изпълнени в пълна степен.

По дисертационния труд са направени 9 публикации на международни конференции и списания, индексирани в Scopus и/или Web of Science, които реално отразяват постигнатите научно – изследователски резултати. В една от приложените

публикации докторантът е самостоятелен автор, което ми дава основания да считам, че публикациите са авторски и дело на докторанта. Забелязани са общо 7 цитирания на публикациите, което въпреки краткия срок след тяхното публикуване, доказва теоретичната и практическата ценност на научните приноси.

Авторефератът отразява резултатите, описани в дисертацията.

Критични бележки и препоръки

Към дисертационния труд имам следните основни забележки:

1. В предложения алгоритъм за автоматично кацане на БЛА в т.5.1 в стъпка 5 е описано използването на калманова филтрация и дискретен PI контролер, но симулационното изследване е реализирано без такава филтрация и остава неизяснен ефекта от нейното прилагане;
2. Фигура 5.4 а) е нечетима;
3. При сравнение на точността на алгоритъма и предложеният подход с други известни до момента подходи и методи за автоматично приземяване на БЛА (стр.127) автора некоректно е сравнил точността на L1 GNSS системите с предложения метод, тъй като за автоматизирано кацане на БЛА се използват RTK или DGPS системи с точност в сантиметровия диапазон;

Заклучение

Като резултат от направените от мен забележки и препоръки считам, че те не намаляват научната стойност на представения дисертационен труд. Представените научни разработки са авторски и оригинални, поради което препоръчвам на Уважаемото Научно жури присъждането на образователна и научна степен „ДОКТОР“ на маг. инж. Ивайло Найденов Начев в професионално направление 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“.

София

14.11.2023

Изготвил:.....

/доц. д-р инж. Росен Милетиев/

Технически Университет – София

Факултет по Телекомуникации



REVIEW

by Assoc. Prof. Rosen Georgiev Miletiev, PhD
for the dissertation work of M.Eng. Ivaylo Naydenov Nachev on topic
"Means and algorithms for automatic landing of UAVs using radio frequency processing and
pseudoconical scanning" for awarding of PhD degree

This review is prepared according to the decision of the Scientific Jury under procedure FTK78-
HC1-080, appointed by Order No. ОЖ - 5.3 - 59 / 16.10.2023 of the Rector of TU - Sofia, for the
acquisition of PhD degree with Candidate M.Sc. Eng. Ivaylo Naydenov Nachev.

General description of the presented materials

The submitted dissertation is 157 typewritten pages long and includes an introduction, a list of abbreviations used, five chapters, a list of main contributions, a list of publications and references. The attached bibliography contains 177 actual and contemporary titles that cover a variety of information sources, of which 176 in Latin and 1 source in Cyrillic.

This shows the in-depth literature review of the problems posed and demonstrates the author's ability to analyze a significant volume of literature and follow the latest developments in the field of automatic landing systems for unmanned aerial vehicles (UAVs), which in turn enabled the candidate to propose adequate solutions of the existing problems in receiving and processing signals in these systems. At the same time, the author demonstrated excellent handling of the mathematical and simulation apparatus, which allowed him to derive a number of analytical expressions for the determination of the angular coordinates of the objects and subsequent simulation confirmation of the obtained dependencies.

An abstract and 9 (nine) scientific publications are attached to the presented materials.

General characteristics of the scientific research

The presented dissertation analyzes methods and algorithms for automating the landing of UAVs using radio frequency methods with phased antenna arrays (PAA) with pseudoconical scanning (PCS).

In the description of the general characteristics of the dissertation, the problem actuality, the object of research, the subject of the development, as well as the structure of the dissertation and the main goal and research tasks solved in the individual chapters of the dissertation are defined.

In Chapter 1, the main problems of the existing methods and means of automatic landing of UAVs, the methods of locating targets by radio frequency processing, means of improving the qualitative indicators of the PAA with the PCS through periodic structures are discussed. The analysis of this part shows that M.Sc. Eng. Ivaylo Nachev is thoroughly familiar with the main problems regarding the various methods of localization and positioning of moving objects with the application of PAA for signal reception and processing.

In Chapter 2, different options for the implementation of a system for automatic landing of UAVs with radio frequency processing by means of the PCS are analyzed, defining the main requirements and technical parameters of the radio communication system, and on the basis of a critical analysis of the existing solutions (5 options) one of variants is selected due to the low computational complexity and satisfactory accuracy. Depending on the sensitivity of the receiver, the maximum range of detection and tracking for automatic landing of the UAV is determined.

In Chapter 3, following the selected variant in Chapter 2, the receiver side of the PCS system is designed and investigated, and a PAA four-element structure is proposed to achieve PCS. Several variants of microwave periodic structures are investigated to improve the dynamic range characteristics of the antenna system for automatic landing of UAVs with PCS. The radiation patterns of six variants of antennas with PBG and EGB structures were investigated and compared by simulation and experiments.

In Chapter 4, a way to determine the angular coordinates of the UAV by means of a pseudo-conical scan PAA on the basis of processing of the received signal power is proposed, and dependences for the angular coordinates of the object on the measured received power from the PCS are derived. To assess the positioning accuracy, the systematic and random error in determining the angular coordinates for the 2x2 array with different topologies and polarization are evaluated.

In Chapter 5, the limiting conditions and functional capabilities of an algorithm for automatic landing and tracking of UAVs are determined using the method proposed in Chapter 4 for determining the angular coordinates of the object, and the optimal operating height of the system with and without a GPS system is determined. The theoretically obtained results are compared

with simulation obtained results for several initial heights (15m and 45m) and the maximum theoretically determined.

To reduce the positioning root mean square error, a proportional integral correction of the UAV position is applied. To increase the landing speed and the number of correction points, it is proposed to use a logarithmic scale of height too.

Basic scientific and scientific - applied contributions

In the PhD study are defined 2 scientific, 3 scientific-applied and 4 applied contributions as follows:

Scientific contributions

1. A method is proposed for determining the angular coordinates of UAVs by means of PAA with PCS based on a system of linear equations (4.7), using Gaussian approximation of the antenna radiation pattern (ARP) and subsequent linear approximation of the difference diagrams on a logarithmic scale (4.3 a), (4.3 b), (4.4 a), (4.4 b) and (4.5) for the different states of pseudo-conical scanning.

2. Modified periodic structures are proposed that improve the dynamic range of the pseudoconical scanning sensor – the phased antenna array. The following structures have been tested and analyzed: photonic periodic Bragg mirror structures, Z-shaped EBG periodic structures, and modified mushroom-like EBGs. In order to improve the dynamic range performance of the antenna system for the automatic landing of UAVs with PCS, several configurations of the distances between the antenna and the periodic structure have been investigated.

Scientific and applied contributions

1. A dependence is proposed for determining the height from which the process of unmanned landing of a UAV can be initialized, in relation to the sensor radiation pattern.

2. An algorithm for automatic landing of UAVs is proposed, using the developed method for determining the angular coordinates of the object based on a linear approximation of the difference ARPs in a logarithmic scale to reduce the root mean square error. The algorithm is investigated by simulation using an MATLAB program code for several heights, including the maximum determined according to the above mentioned dependence.

3. An algorithm of a UAV tracking system with a pseudo-conical scan is proposed based on the proposed method for estimating the angular coordinates using the differential ARPs of the PAA and their linear approximation. The algorithm is studied by simulation and experiments.

Applied Contributions

1. Five possible options for the implementation of a system for automatic landing of UAVs with radio frequency processing, by means of pseudo-conical scanning (§2.1) are proposed and analyzed, depending on the arrangement of the transmitting and receiving part of the system. One variant is selected due to the low computational complexity and satisfactory accuracy.

2. Phased antenna array with 2x2 patch elements is designed, realized, measured and analyzed for the pseudo conical scanning purposes (Figure 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 and 3.10).

3. The radiation patterns of several variants of PAA with PBG and EGB structures are studied by simulations and experiments according to the proposed modified periodic structures.

4. The systematic positioning error based on the proposed dependencies for determining the angular coordinates of the UAV was investigated and estimated.

On this basis, I consider that the goals and tasks which are defined in the PhD study are fully fulfilled.

The dissertation has been published in 9 international conferences and journals, indexed in Scopus and/or Web of Science, which actually show the achieved scientific and research results. In one of the attached publications, the PhD student is a single author, which gives me reasons to believe that the publications are written by the candidate. A total of 7 citations of the publications are noticed, which, despite the short period after their publication, proves the theoretical and practical value of the scientific contributions.

The abstract shows completely the results described in the PhD study.

Critical notes and recommendations

I have the following main remarks about the dissertation work:

1. In the proposed algorithm for automatic landing of UAVs in item 5.1 in step 5, the use of Kalman filtration and a discrete PI controller is described, but the simulation study is implemented without such filtration and the effect of its application remains unclear;

2. Figure 5.4 a) is illegible;

3. When comparing the accuracy of the algorithm and the proposed approach with other currently known approaches and methods for automatic landing of UAVs (p.127), the author incorrectly compared the accuracy of L1 GNSS systems with the proposed method, since for automated landing of UAVs use RTK or DGPS systems with accuracy in the centimeter range;

Conclusion

As a result of the remarks and recommendations made by me, I believe that they do not reduce the scientific value of the presented PhD study. The presented scientific works are author's and original, which is why I recommend to the Honorable Scientific Jury the awarding of the PhD degree to M.Sc. Eng. Ivaylo Naydenov Nachev in professional direction 5.3 "Communication and computer technology".

Sofia

15.11.2023

Prepared by:.....


/Assoc. Prof. Rosen Miletiev, PhD/
Technical University of Sofia
Faculty of Telecommunications