

RECEPȚIONAT

Ageția Națională pentru

Cercetare și Dezvoltare _____

” ” _____ 2024

AVIZAT

Secția AȘM _____

” ” _____ 2024

RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL 2024
privind implementarea proiectului din cadrul concursului
„Proiecte Tineri Cercetători”

Proiectul Cercetarea și sinteza algoritmilor eficienți de control
atitudine pentru nanosateliți

Cifrul proiectului 23.70105.5007.13T

Prioritatea Strategică V „Competitivitate economică și tehnologii inovative”

Rector U.T.M.

dr. hab. Viorel BOSTAN


(numele, prenumele)


(semnătura)

Președintele
Consiliului științific UTM

dr. hab. Vasile TRONCIU

(numele, prenumele)


(semnătura)

Conducătorul proiectului

Dr. Irina COJUHARI

(numele, prenumele)


(semnătura)



Chișinău 2024

CUPRINS:

1. Scopul etapei 2024
2. Obiectivele etapei 2024
3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2024
4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor etapei 2024
5. Rezultatele obținute
6. Diseminarea rezultatelor la foruri științifice
7. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului 2024
8. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului 2024
9. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului 2024
10. Dificultăți în realizarea proiectului: financiare, organizatorice, legate de resursele umane
11. Recomandări, propuneri
12. Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice publicate în anul 2024
13. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect 2024 în limba română și în limba engleză
14. Executarea devizului de cheltuieli din contractul de finanțare pentru anul 2024
15. Componența echipei conform contractului de finanțare pentru anul 2024

1. Scopul etapei 2024 conform proiectului depus la concurs

Cercetătorii de la Centrul Tehnologii Spațiale (CNTS) în colaborare cu alte instituții lucrează asupra extinderii domeniilor de cercetare a tehnologiilor spațiale. Promovarea cu succes și punerea în aplicare programului de elaborare a nanosateliților necesită cercetarea problemelor de elaborare eficientă a sistemelor de bord, în mod deosebit, a controlului atitudinii nanosateliților, care va asigura baza tehnico-științifică multidisciplinară pentru cercetători, masteranzi și doctoranzi.

Scopul proiectului este dezvoltarea și cercetarea algoritmilor eficienți control atitudine pentru nanosateliți. În scopul realizării diverselor misiuni, inclusiv captarea imaginilor și monitorizarea plantațiilor, inundațiilor, dezastrelor ecologice, aplicarea de noi submodule satelit cu performante ridicate este necesitatea de orientare și stabilizare a nanosateliților. Una din cele mai complexe probleme ale nanosateliților este combaterea rostogolirii și stabilizarea mișcării lor pe orbită. Această se datorează faptului că nanosateliții sunt limitați atât în volum, cât și în masă, prin urmare, se reduce senzorică pentru determinarea atitudinii și simplificarea actuatorilor controlului atitudinii. O cale de depășirea a acestei probleme este eficientizarea algoritmilor de control atitudine și implimentare lor în softul respectiv, proiectarea și elaborarea acestora sunt cheile pentru rezolvarea acestor probleme, ceea ce nu implică majorarea volumului și masei nanosateliților.

2. Obiectivele etapei 2024 (obligatoriu)

1. Dezvoltarea prototipului sistemului control atitudine, ce va permite satelitului să-și determine propria orientare în spațiu în limita capacităților sale de acționare.
2. Dezvoltarea și cercetarea algoritmilor eficienți control atitudine pentru nanosateliți.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2024 (obligatoriu)

1. Dezvoltarea prototipurilor de module satelitare pentru determinarea atitudinii nanosatelitului.
2. Crearea software-ului pentru unitatea de achiziție a datelor pentru determinare a atitudinii și control.
3. Elaborarea algoritmilor de calibrare a senzorilor pentru control eficient al atitudinii nanosateliților.
4. Analiza și dezvoltarea algoritmilor de reglare pentru eficientizarea stabilizării nanosateliților în baza: algoritmului clasic de reglare PID, regulator fuzzy și regulator hibrid PID-fuzzy.
5. Susținerea tezei de doctor în informatică a doctorandului Melnic Vladimir.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor etapei 2024

1. Module satelitare proiectate pentru determinarea atitudinii nanosatelitului.
2. Modulele de software dezvoltate pentru calculatorul de bord al nanosateliților pentru achiziția eficientă a datelor.
3. Proceduri și algoritmi pentru majorarea preciziei determinării atitudinii nanosateliților în baza calibrării senzorilor de poziție (accelerometre, magnetometre și microgiroscoape) și procesării preliminare a datelor achiziționate.
4. Metode și algoritmi de sinteză a reguletoarelor clasici și inteligenți pentru eficientizarea stabilizării nanosateliților.
5. Susținerea tezei de doctor în cadrul Consiliului științific specializat: D 122.03-24-25 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei a domnului Melnic Vladimir, pe data 01.11.2024.

5. Rezultatele obținute

a. Dezvoltarea prototipurilor de module satelitare pentru determinarea atitudinii nanosatelitului.

A fost elaborată arhitectura și schema electronică de principiu a modulului de achiziție și preprocesare a datelor pentru determinarea atitudinii nanosatelitului (Figura 1). Modulul conține un senzor MEMS integrat BMI088 pentru măsurarea mărimilor inerțiale (vitezele unghiulare și accelerațiile) pentru axele X, Y, Z și un magnetometru AMR hibrid triaxial HMC2003. Modulul are și o interfață analogică cu 6 canale pentru măsurarea fotocurenților generați de 6 fotodiode utilizate în calitate de senzori solari pentru determinarea poziției relative a soarelui în raport cu sistemul de coordonate legat a nanosatelitului. Pentru rularea aplicației de achiziție a datelor și calibrare a senzorilor a fost selectat microcontroller-ul (MCU) STM32F411RE pe care este implementată și o interfață serială cu calculatorul de bord a nanosatelitului.

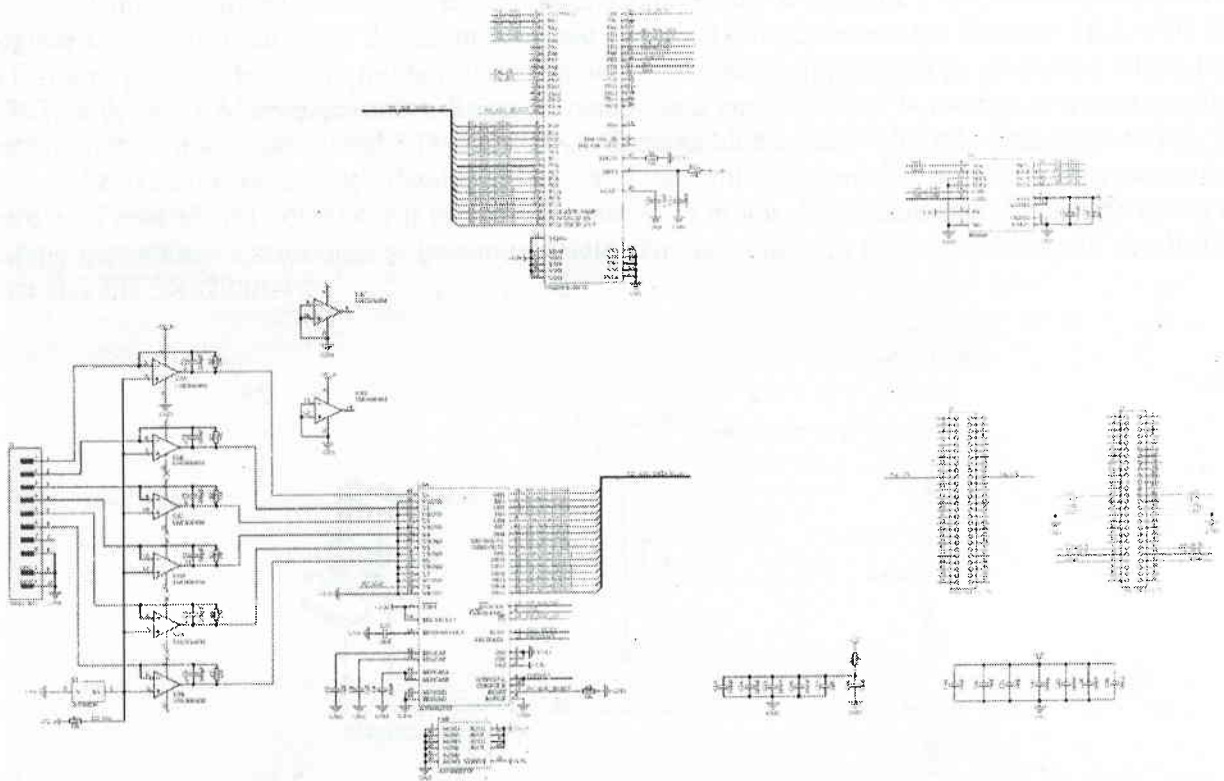


Fig. 1. Schema electronică de principiu a modulului de achiziție și preprocesare a datelor pentru determinarea atitudinii nanosatelitului.

b. Crearea software-lui pentru unitatea de achiziției a datelor pentru determinare a atitudinii și control.

S-a dezvoltat aplicația modulară pentru achiziția datelor: software-ul pentru unitatea de achiziție a datelor pentru determinare a atitudinii și control constă din driver-ul senzorului inerțial integrat, driverele de sistem al MCU și sistemul de operare de timp real RTOS, pe lângă codul programului care efectuează achiziția datelor. Sistemul de operare este utilizat pentru rularea în paralel a rutinelor de achiziție a datelor de la senzori și de comunicare cu calculatorul de bord prin interfața serială.

c. Elaborarea algoritmilor de calibrare a senzorilor pentru control eficient al atitudinii nanosateliților.

Algoritmul de calibrare a senzorilor propus permite determinarea coeficienților de proporționalitate sub forma unei matrici a vectorului offset-urilor și a matricii de rotație pentru sistemul de coordonate legat de măsurare a magnetometrului triaxial. Implementarea algoritmului propus a fost mai întâi realizată sub formă de script MATLAB și urmează a fi implementată în tr-o formă optimizată pentru rularea pe un MCU de 32 biți cu coprocesor Single Precision FPU. Algoritmul este destinat în special corecției distorsiunilor elipsoidale ale magnetometrului cauzate de variația de la axă la axă a erorilor de scalare și poate fi aplicat și la alte tipuri de senzori triaxiali.

d. Analiza și dezvoltarea algoritmilor de reglare pentru eficientizarea stabilizării nanosateliților în baza: algoritmului classic de reglare PID, regulator fuzzy și regulator hibrid PID-fuzzy.

Sistemul de achiziție a datelor experimentale

Pentru a realiza identificarea experimentală a modelului matematic a fost asamblat sistemul de reglare a turațiilor motorului de curent continuu cuplat cu o roata de reacție. Motorul FK130SH DC a fost ales pentru a testa mai multe roți de reacție, cu sistemul implementat pe platforma NUCLEO-F303K8 de la ST Microelectronics. Roata de reacție este cuplată direct la motor, iar viteza acestuia este reglată de microcontrolerul STM32F303K8. Schema bloc a sistemului este prezentată în Fig. 2.

Pentru a începe achiziția datelor, calculatorul transmite un semnal de pornire la microcontroler, care apoi controlează comutatorul electronic conectat la motor. Microcontrolerul măsoară viteza de rotație instantanee a motorului și transmite datele către calculator în timp real. Senzorul de viteză a fost ales EE-SX4235A-P2.

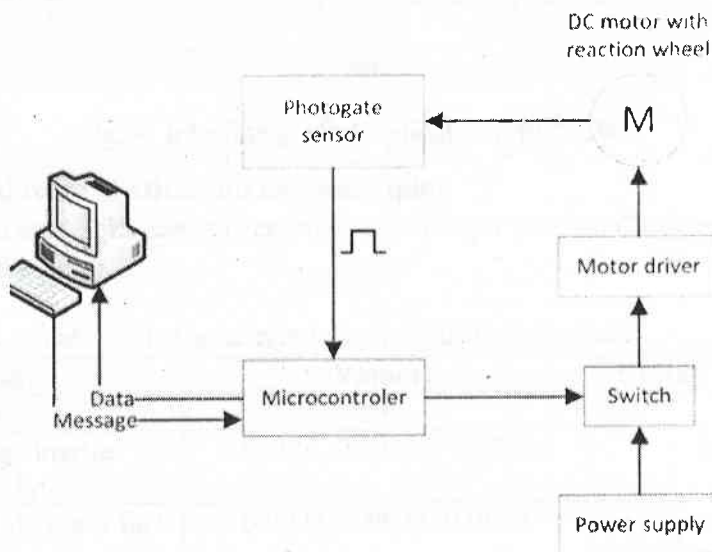


Fig. 2. Schema bloc-structurală a sistemului de reglare a turațiilor DC motorului.

Pentru achiziția datelor în timp real a fost realizată aplicația LabVIEW (figura 3). Aplicația data permite ridicarea curbelor în timp real, unde interfața este prezentată în figura 4.

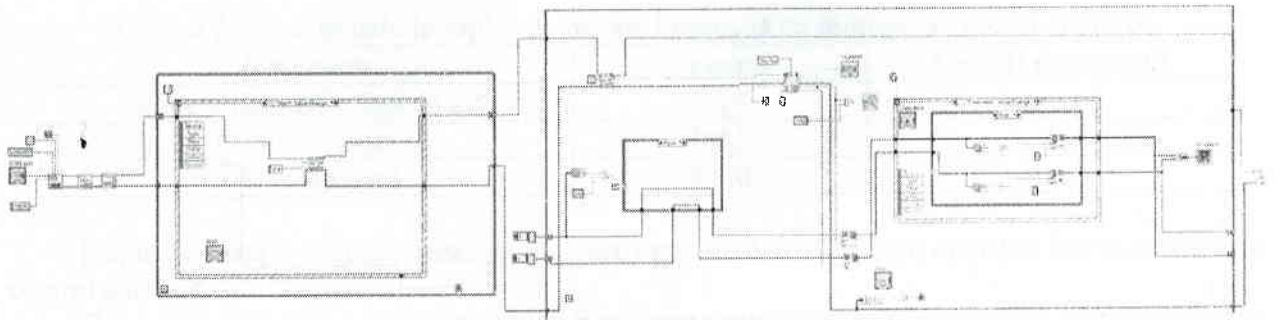


Fig. 3. Aplicația LabVIEW pentru achiziția datelor experimentale.

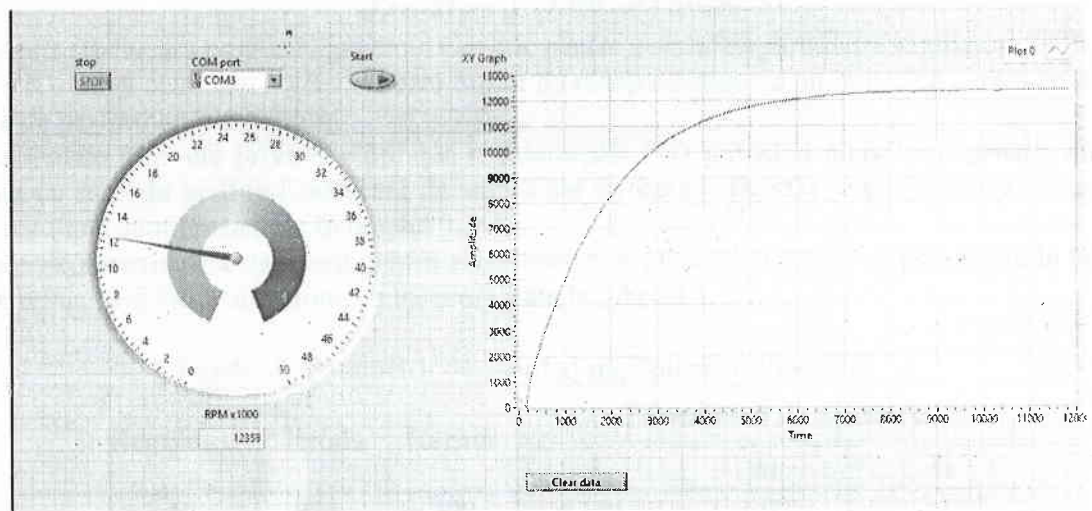


Fig. 4. Interfața grafică aplicației LabVIEW.

Algoritmi de conducere al atitudinii nanosateliților

Modelul satelitului studiat în această cercetare este de tip CubeSat. Caracteristicile satelitului studiat sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Caracteristicile structurii satelitului.

Descriere	Valoare	Unități de măsură
Masa	1.00	kg
Momentele de inerție I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}	0.00235, 0.00235, 0.00166	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Poziția centrului de masă față de centrul geometric (x, y, z)	0.0023, 0.0034, 0.0025	m
Dimensiuni	0.1×0.1×0.1135	m

Poziționarea satelitului este realizată prin roțile de reacție, care sunt montate ortogonal pe cele trei axe x , y și z corespunzător sistemului de referință al satelitului și funcționează pe principiul conservării momentului unghiular.

Caracteristicile roților de reacție împreună cu motorul de curent continuu la care sunt cuplate sunt indicate în tabelul 2.

Tabelul 2. Caracteristicile roților de reacție împreună cu motorul de curent continuu.

Descriere	Valoare	Unități de măsură
Moment de inerție față de axă	1.25	kg·mm ²
Curent maxim	0.41	A
Viteza maximă	9000	min ⁻¹

Roțile de reacție sunt acționate de motoare care, de obicei, și sunt actuatori într-un sistem de control automat.

Datele experimentale privind variația vitezei motorului de curent continuu au fost modelate ca un sistem inerțial de ordinul doi:

$$H(s) = \frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)} = \frac{1.0069}{3.1695s^2 + 5.0289s + 1} \quad (1)$$

În acest studiu, s-a propus Algoritmul Genetic pentru a sintetiza parametrii regulatorului PI, PID și hibrid PID-fuzzy destinate reglării vitezei roților de reacție cuplate la un motor cu curent continuu, în funcție de performanțele impuse.

Rezultatele obținute privind acordarea regulatorului PID utilizând algoritmul genetic au fost comparate cu metoda gradului maximal de stabilitate cu iterații (MSD) și performanța sistemului automat rezultată sunt prezentate în tabelul 3.

Valorile parametrilor de acord pentru algoritmii de reglare PI și PID sunt prezentate în tabelul 3, iar performanțe sistemului automat sunt prezentate în tabelul 4.

Tabelul 3. Parametrii de acord al regulatorului PI și PID.

Nr. crt.	Regulator	Metoda	Iterații	Parametrii de ajustare		
				k_p	k_i	k_d
1	PI	GA	200	4.891	1.07	
2	PI	MSD		1.64	0.46	
3	PID	GA	55	20.402	4.58	9.12
4	PID	MSD		10.226	4.07	5.29

Tabelul 4. Performanțele sistemului automat.

Nr.	Regulator	Metoda	Performanțele sistemului			
			t_r	t_s	σ	λ
1	PI	GA	1.39	4.56	12.044	1
2	PI	MSD	3.66	11.55	3.55	1
3	PID	GA	0.55	2.50	3.99	1
4	PID	MSD	0.93	5.039	7.83	1

Rezultatele simulării sistemul automat cu algoritmii de reglare PI și PID sunt prezentate în figura 5 a), b), unde curba 1 reprezintă cazul acordării regulatorului în baza algoritmului genetic, iar curba 2 reprezintă cazul acordării regulatorului prin metoda gradului maximal de stabilitate.

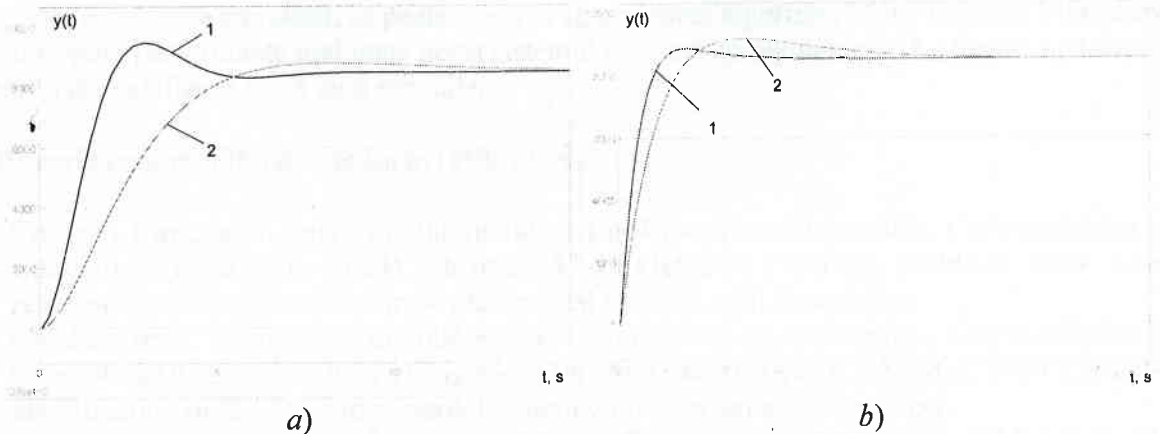


Fig. 5. Procese tranzitorii sistemului automat cu obiectul de reglare (1):
 a) regulatorul PI; b) regulatorul PID

În continuare, în mediul Simulink, pentru fiecare roată de reacție a satelitelui, a fost acordat regulatorul hibrid, o parte de schemă pentru o roată de reacție este prezentată în figura 6.

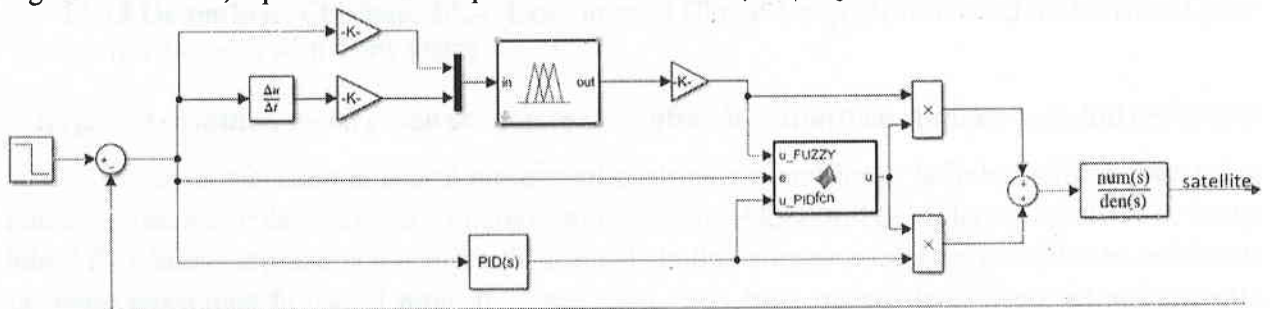


Fig. 6. Schema de simulare a sistemului cu regulatorul fuzzy PID hibrid Simulink.

În continuare s-a efectuat simularea poziționării satelitelui utilizând algoritmul de reglare hibrid PID-fuzzy și procesele tranzitorii ale sistemului automat de reglare al poziționării satelitelui sunt prezentate în figura 7 a), b). Din figura 7 se observă că algoritmul de reglare hibrid PID-fuzzy asigură un timp de stabilizare a satelitelui egal cu 2 secunde.

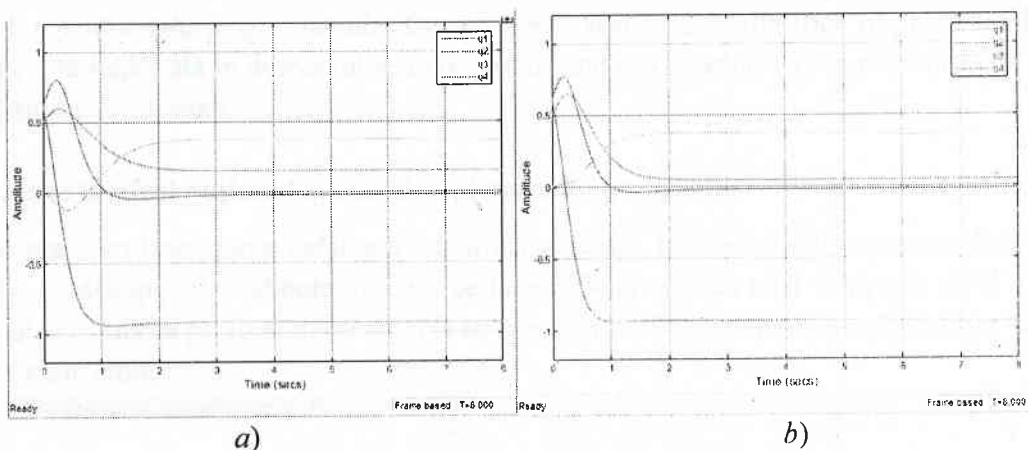


Fig. 7. Procesul tranzitoriu sistemului automat:
 a) cu regulatorul PID; b) cu regulatorul hibrid fuzzy-PID.

Din rezultatele simulării, se poate observa că utilizarea algoritmului de regulare PID fuzzy hibrid asigură performanțe mai bune decât sistemul automat cu regulator PID, oferind o performanță timpului de stabilizare egală cu 2 secunde.

6. Diseminarea rezultatelor la foruri științifice

- 1) Cojuhari Irina, conf. univ., dr. International Conference on Electronics, Communications and Computing (IC|ECCO – 2024), Chișinău, **17-18 October**, Chișinău, Moldova, 2024: Control-relevant identification of the first-order inertial systems with time-delay.
- 2) Cojuhari Irina, conf. univ., dr. International Conference on Electronics, Communications and Computing (IC|ECCO – 2024), Chișinău, **17-18 October**, Chișinău, Moldova, 2024: Closed-loop identification of the first order inertial system with astaticism and time delay.
- 3) Melnic Vladimir, lect. univ. International Scientific Conference Mathematical Modeling, **11-14 decembrie**, Borovets, Bulgaria 2024: Control-relevant identification of the DC engine coupled with a reaction wheel.
- 4) Cojuhari Irina, conf. univ., dr. International Conference dedicated to the 60th anniversary of the foundation of Vladimir Andrunachievici Institute of Mathematics and Computer Science, MSU, **10-13 Octombrie**, Chisinau, 2024: Experimental Closed-Loop Identification of the Third Order Inertial Systems with Time Delay.

7. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului

Cercetările efectuate în cadrul proiectului contribuie semnificativ la îmbunătățirea preciziei și eficienței sistemelor de control al atitudinii nanosateliților. Algoritmii de reglare avansați (PID, fuzzy, hibrid PID-fuzzy) reprezintă o contribuție originală la literatura de specialitate. Modelele de module satelitare dezvoltate în cadrul proiectului pot servi drept bază pentru dezvoltarea de noi generații module pentru nanosateliți, cu performanțe superioare. Cercetările efectuate în cadrul proiectului vor genera noi cunoștințe și vor contribui la formarea de noi specialiști în domeniu.

Nanosateliții cu sisteme de control îmbunătățite pot fi utilizați într-o gamă largă de aplicații, misiuni educaționale, cercetarea, comunicații și observarea Pământului. Rezultatele proiectului contribuie la democratizarea accesului la tehnologiile spațiale, prin dezvoltarea de soluții mai accesibile și mai ușor de utilizat ce poate servi drept exemplu de inspirație pentru studenți, stimulând interesul lor pentru tehnologii spațiale. Cercetările și rezultatele științifice obținute tip facilitează cooperarea internațională în domeniul spațial, deschizând noi oportunități de colaborare în domeniul nanosateliților educaționali.

8. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului

Recunoaștem importanța colaborării la nivel național, dar specificul cercetării date implică o combinație de discipline și tehnologii, ceea ce face dificilă găsirea unei echipe la nivel național cu care am putea colabora pe acest domeniu. Ne concentrăm astfel pe consolidarea relațiilor cu instituții de cercetare din străinătate.

9. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului

Compania RISE, Romanian InSpace Engineering, România – colaborarea cu compania RISE fiind bazată în mare măsură pe schimbul de experiență în cercetările pe care le facem la Centrul Național de Tehnologii Spațiale al UTM, prin workshop-urile organizate.

Kyushu Institute of Technology, Japonia – colaborarea cu Kyushu Institute of Technology are loc în vederea dezvoltării unui modul care va fi parte componentă a nanosatelitului dezvoltat în comun cu Institutul de Tehnologie Kyushu.

10. Dificultățile în realizarea proiectului: financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.

Nu au fost întâlnite astfel de dificultăți.

11. Recomandări, propuneri.

Nu sunt.

Conducătorul de proiect  / (dr. Irina COJUHARI)

Data: 06.12.24

L.Ș.



**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice
publicate în anul 2024 în cadrul proiectului**

**Cercetarea și sinteza algoritmilor eficienți de control
atitudine pentru nanosateliți**

1. Articole în reviste științifice

1.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS (cu indicarea factorului de impact IF)

- 1) COJUHARI, I. Control-Relevant Identification of the Unstable Inertial Systems. In: *RIMNI - An Internațional Journal of Numerical Methods for Calculation and Design in Engineering (Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería)*, Volume 40, Issue 4, 2024, pp. 1–18. (IF: 0.3)
DOI: 10.23967/j.rimni.2024.10.56550

Disponibil: www.scipedia.com/wd/images/b/b2/Cojuhari_2024a_6769_TSP_RIMNI_56550.pdf

1.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

- 2) COJUHARI, I. Closed-loop Model Estimation of the Underdamped Second Order Inertial Systems. În: *ROMAI Journal*. 2023, v.19, no.2 pp. 13–22. (Articol publicat în 2024). ISSN (P)1841-5512; ISSN (E) 2065-7714
Disponibil: <https://rj.romai.ro/arhiva/2023/2/Cojuhari.pdf>
- 3) COJUHARI, I. A PID Tuning Approach for Inertial Systems Performance Optimization. *Applied Mathematics*, 15, 2024, pp. 96-107.
DOI: [10.4236/am.2024.151008](https://doi.org/10.4236/am.2024.151008).
Disponibil: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=130845>

2. Articole în culegeri științifice naționale/internaționale

2.1. culegeri de lucrări științifice editate peste hotare

- 4) COJUHARI, I.; MELNIC, V.; MARTINIUC, A.; CARBUNE, V. Control-relevant identification of the DC engine coupled with a reaction wheel In: *Proceedings of the VII International Scientific Conference Mathematical Modeling, Year VIII, Volume 1/8, 11-14 december, Borovets, Bulgaria 2024*, pp. 38-41. ISSN 2535-0978 (Print). ISSN 2603-3003 (Online).
Disponibil program conferinței: <http://mathmodel.eu/sbornik/2024.pdf>

2.2 culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

- 5) COJUHARI, I. Experimental Closed-Loop Identification of the Third Order Inertial Systems with Time Delay. In: *Proceedings of the International Conference dedicated to the 60th anniversary of the foundation of Vladimir Andrunachievici Institute of Mathematics and Computer Science, MSU*, 10-13 October, Chisinau, 2024, pp. 409-416. ISBN 978-9975-68-515-3.
Disponibil: https://www.math.md/imcs60/combined_IMCS_v7_with_preface.pdf

3. Teze ale conferințelor științifice

3.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

- 6) COJUHARI, I. Control-relevant identification of the first-order inertial systems with time-delay. In: *Book of Abstracts of the 12th edition of the International Conference on*

Electronics, Communications and Computing (IC|ECCO – 2024), Chişinău, 17-18 October, Republic of Moldova, 2024.

- 7) COJUHARI, I. Closed-loop identification of the first order inertial system with astaticism and time delay. In: *Book of Abstracts of the 12th edition of the International Conference on Electronics, Communications and Computing (IC|ECCO – 2024)*, 17-18 October, Chişinău, Republic of Moldova, 2024.

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2024

Pentru anul 2024:

Lucrările în cadrul proiectului 23.70105.5007.13T planificate pentru anul 2024, au fost îndeplinite integral și în termenii stabiliți, astfel:

1. A fost elaborată arhitectura și schema electronică de principiu a modulului de achiziție și preprocesare a datelor utilizat pentru determinarea atitudinii nanosatelitului. Modulul include un senzor MEMS integrat, BMI088, care măsoară mărimi inerțiale, precum vitezele unghiulare și accelerațiile pe axele X, Y, Z, și un magnetometru triaxial hibrid AMR, model HMC2003. De asemenea, modulul este echipat cu o interfață analogică cu 6 canale, folosită pentru măsurarea fotocurenților generați de 6 fotodiode. Acestea funcționează ca senzori solari pentru determinarea poziției relative a soarelui față de sistemul de coordonate al nanosatelitului. Pentru gestionarea achiziției datelor și calibrarea senzorilor, a fost selectat microcontrolerul STM32F411RE. Acesta integrează și o interfață serială care permite comunicarea cu calculatorul de bord al nanosatelitului.
2. A fost dezvoltată aplicația modulară pentru achiziția datelor, destinată determinării atitudinii. Modulul de control constă din driver-ul senzorului inerțial integrat, driverele de sistem al MCU și este utilizat sistemul de operare de timp real RTOS. Sistemul de operare este utilizat pentru rularea în paralel a rutinelor de achiziție a datelor de la senzori și pentru comunicare cu calculatorul de bord prin interfața serială.
3. Algoritmul de calibrare a senzorilor propus permite determinarea coeficienților de proporționalitate sub formă de matrice, a vectorului de offset-uri și a matricei de rotație aferente sistemului de coordonate al magnetometrului triaxial.
Implementarea inițială a algoritmului a fost realizată sub formă de script MATLAB, urmând să fie optimizată pentru rularea pe un microcontroler (MCU) de 32 de biți cu coprocesor Single Precision FPU. Algoritmul este conceput în principal pentru corectarea distorsiunilor elipsoidale ale magnetometrului, cauzate de variațiile de scalare între axe, și poate fi adaptat și pentru alte tipuri de senzori triaxiali.
4. A fost realizat modelul matematic de descriere a atitudinii satelitului, iar rezultatele obținute în urma simulărilor au arătat că strategiile de inteligență artificială, în special logica fuzzy, îmbunătățesc controlul atitudinii nanosateliților. S-a demonstrat că regulatorul hibrid oferă performanțe sistemului automat mai ridicate cu 20% în comparație cu algoritmul de reglare clasic PID, în ceea ce privește timpul de reglare. Rezultatul obținut contribuie la dezvoltarea unui sistem de control automat al poziționării unui nanosatelit pe 3 axe prin intermediul roților de reacție.
5. Susținerea tezei de doctor în cadrul Consiliului științific specializat: D 122.03-24-25 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei a domnului Melnic Vladimir, pe data 01.11.2024, tema tezei: „Modelarea matematică și simularea computațională a comportamentului dinamic pe orbită a nanosateliților”.

<https://utm.md/blog/2024/10/18/se-anunta-sustinerea-publica-a-tezei-de-doctor-in-informatica-a-candidatului-vladimir-melnic/>

For the year 2024:

The activities planned for 2024 within project 23.70105.5007.13T were fully completed on time, as follows:

1. The architecture and conceptual electronic schematic for the data acquisition and preprocessing module used to determine the nanosatellite's attitude were developed. The module includes an integrated MEMS sensor, BMI088, which measures inertial parameters such as angular velocities and accelerations on the X, Y, and Z axes, along with a hybrid triaxial AMR magnetometer, model HMC2003. Additionally, the module is equipped with a 6-channel analog interface used to measure photocurrents generated by six photodiodes functioning as solar sensors. These sensors determine the sun's relative position concerning the nanosatellite's coordinate system. For data acquisition and sensor calibration, the STM32F411RE microcontroller was selected, which also integrates a serial interface for communication with the nanosatellite's onboard computer.
2. A modular application for data acquisition, designed for attitude determination, was developed. The control module consists of the integrated inertial sensor driver, MCU system drivers, and a real-time operating system (RTOS). The operating system is used for parallel execution of routines for sensor data acquisition and communication with the onboard computer via the serial interface.
3. The proposed calibration algorithm enables the determination of proportionality coefficients in matrix form, offset vectors, and the rotation matrix corresponding to the triaxial magnetometer's coordinate system. The algorithm was initially implemented as a MATLAB script and will be optimized for execution on a 32-bit microcontroller (MCU) with a Single Precision FPU coprocessor. The algorithm primarily corrects the magnetometer's ellipsoidal distortions caused by axis-to-axis scaling errors and can also be applied to other types of triaxial sensors.
4. A mathematical model describing the satellite's attitude was developed. Simulation results demonstrated that artificial intelligence strategies, particularly fuzzy logic, improve nanosatellite attitude control. It was shown that the hybrid controller enhances the automated system's performance by 20% compared to the classical PID control algorithm in terms of settling time. This result contributes to the development of an automatic control system for nanosatellite positioning on three axes using reaction wheels.
5. On November 1, 2024, Mr. Vladimir Melnic successfully defended his doctoral thesis, titled "*Mathematical Modeling and Computational Simulation of the Dynamic Behavior of Nanosatellites in Orbit*", in the specialized Scientific Council D 122.03-24-25 at the Technical University of Moldova.

Conducătorul de proiect  / (dr. Irina COJUHARI)

Data: 06.12.24

LȘ




Executarea devizului de cheltuieli,

conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare pentru anul 2024

Cifra proiectului 23.70105.5007.13T

Cheltuieli, mii lei							
Denumirea	Cod Eco (k6)	Anul de gestiune 2024					
		Aprobat buget	Modificat buget +/-	Precizat buget	Aprobat cofinanțare	Modificat cofinanțare +/-	Precizat cofinanțare
Remunerarea muncii	21	134,7		134,7			
Remunerarea muncii temporare	211200	108,6		108,6			
Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii	212100	26,1		26,1			
Deplasări de serviciu în interiorul țării	222710						
Deplasări de serviciu peste hotare	222720	25,8		25,8			
Servicii editoriale	222910						
Servicii de cercetări științifice	222930						
Servicii neatribuite altor aliniate	222999	5,0		5,0			
Cheltuieli curente neatribuite la alte categorii	281900						
Procurarea mașinilor și utilajelor	314110				9,4		9,4
Procurarea activelor nemateriale	317110						
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110	34,5		34,5	30,6		30,6
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110						
TOTAL		200,0		200,0	40,0		40,0

Rector U.T.M.


(semnătura)

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

Contabil (economist)


(semnătura)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)

Conducătorul de proiect


(semnătura)

Dr. Irina COJUHARI

(numele, prenumele)

Data:

06.12.24

LȘ



Componenta echipei conform contractului de finanțare 2024

Cifra proiectului 23.70105.5007.13T

Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) pentru 2024						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Cojuhari Irina	1985	Dr.	0.25	02.01.2024	31.12.2024
2.	Carbune Viorel	1985	Dr.	0.25	02.01.2024	31.12.2024
3.	Melnic Vladimir	1990		0.25	02.01.2024	31.12.2024
4.	Martiniuc Alexei	1993		0.50	02.01.2024	31.12.2024

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2024					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.					

Rector U.T.M.

V. J.

(semnătura)

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

Contabil (economist)

A. Iovăneș

(semnătura)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)

Conducătorul de proiect

I. Cojuhari

(semnătura)

Dr. Irina COJUHARI

(numele, prenumele)

Data: 06.12.24

LȘ





**EXTRAS din Procesul Verbal
al ședinței Consiliului Științific UTM
din 06 decembrie 2024**

Prezenți: 14 membri ai Consiliului științific al UTM – Vasile Tronciu, *Prorector pentru cercetare, prof. univ., dr. hab.*; Bostan Ion, *Academician AȘM, prof. univ., dr. hab.*; Bostan Viorel, *Rector UTM, prof. univ., dr. hab.*; Siminiuc Rodica, *Directoare a ȘD UTM, conf. univ, dr.*; Sturza Rodica, *Membru cor. AȘM, prof. univ., dr. hab.*; Ghendov-Moșanu Aliona, *conf. univ., dr. hab.*; Țurcanu Dinu, *dr., conf. univ.*; Cepoi Liliana, *Director, Institutul de Microbiologie și Biotehnologie al UTM, conf.univ., dr.*; Gheorghiiță Maria, *prof. univ., dr.*; Monaico Eduard; *dr., conf. cercet.*; Țișu Mihai; *Director Institutul de Energetică UTM, conf. univ., dr.*; Popovici Mihail, *conf. univ., dr.*; Caisin Larisa, *prof. univ., dr. hab.*; Muntean Viorel, *Doctorand UTM*

S-A DISCUTAT: audierea rezultatelor științifice obținute pe parcursul anului 2024 al proiectului din cadrul Concursului „Proiecte pentru Tineri Cercetători”: 23.70105.5007.13T „Cercetarea și sinteza algoritmilor eficienți de control atitudine pentru nanosateliți”, Conducător de proiect: *dr. Irina COJUHARI.*

S-A DECIS: aprobarea rezultatelor științifice obținute pe parcursul anului 2024 al proiectului din cadrul Concursului „Proiecte pentru Tineri Cercetători”: 23.70105.5007.13T „Cercetarea și sinteza algoritmilor eficienți de control atitudine pentru nanosateliți”, Conducător de proiect: *dr. Irina COJUHARI.*



[Handwritten signature]

Președinte al CȘ UTM,
Vasile TRONCIU, dr. hab., prof. univ.

Secretar al CȘ UTM,
Rodica SIMINIUC, dr., conf. univ.