

**DISPOZITIVE
MECATRONICE,
TEHNOLOGII
INDUSTRIALE
ȘI SATELITARE**

Acad. Ion BOSTAN

Dr.hab., prof. univ. Valeriu DULGHERU

Dr., conf. univ. Nicolae SECRIERU

Dr., conf. univ. Viorel BOSTAN

Dr., conf. univ. Anatolie SOCHIREAN

Drd. Sergiu CANDRAMAN

Drd. Sergiu GANGAN

Drd. Andrei MARGARINT

Drd. Sergiu GRIȚCOV

Universitatea Tehnică a Moldovei

*MECHATRONICS DEVICES, INDUSTRIAL
AND SATELLITE TECHNOLOGIES*

Summary. As a results of this State Program there were revealed many unknown materials up nowadays in the areas of space technologies: the determination of gyroscopic moments, testing of the software and handling interface for the satellite attitude control systems; the overall experimental research of the interaction between the land control system with the board computer and operational system for satellite attitude control and stabilization systems; the general testing of the attitude control software of the satellite installed in the gyroscopic simulator that assures three degrees of freedom.

Keywords: satellite, spatial technologies, attitude.

Rezumat. Ca rezultat al acestui program de stat s-au descoperit mai multe materiale necunoscute până în zilele noastre în domeniul tehnologiilor spațiale: determinarea momentelor giroscopice, testarea software-ului și a interfeței de manipulare pentru sistemele de control al atitudinii satelitelui; cercetarea experimentală generală a interacțiunii dintre sistemul de control pe teren cu computerul de bord și sistemele operaționale pentru controlul atitudinii prin satelit și de stabilizare; testarea generală a software-ului de control a atitudinii satelitelui instalat în simulatorul giroscopic, care asigura trei grade de libertate.

Cuvinte-cheie: satelit, tehnologii spațiale, atitudine.

1. Introducere

Un aspect indispensabil al existenței zilnice umane devin tehnologiile spațiale. Acestui domeniu i se acordă o atenție deosebită în strategia europeană de dezvoltare până în anul 2020.

„Sectorul spațial reprezintă un element-cheie al Strategiei Europa 2020 și al inițiativelor emblematice ale acesteia – „O Uniune a inovării” și politica sa industrială. Tehnologia spațială are o însemnătate deosebită pentru economia bazată pe cunoaștere, influențând competitivitatea economică în viitor și asigurând instrumentele pentru soluționarea altor probleme terestre urgente” (Comitetul Regiunilor, „Politica industrială spațială a UE: valorificarea potențialului de creștere economică în sectorul spațial”). Comitetul Regiunilor menționează că aspectele relevante care trebuie reglementate în contextul politicii spațiale emergente a UE vor fi standardele industriale, operațiunile tehnice și exploatarea comercială a infrastructurii de comunicare prin sateliți. Comitetul solicită stabilirea criteriilor privind utilitatea publică a serviciilor, în lumina competențelor și nevoilor autorităților publice, care vor fi aplicate în evaluarea cererii utilizatorilor. Se sugerează ca serviciile și aplicațiile dezvoltate pe baza tehnologiilor spațiale să fie cofinanțate din fondurile structurale, în măsura în care există un grad suficient de voință politică și de sensibilizare a celor care gestionează fondurile. Se arată că, în marea majoritate a cazurilor, serviciile Copernicus/GMES deservește nevoile politicii publice și și-au demonstrat utilitatea pentru obiectivele publice, iar faza operațională a programului Copernicus este esențială pentru succesul economic al noilor evoluții tehnologice. Totuși, va fi necesară asistența financiară pentru a acoperi cheltuielile de constituire legate de adoptarea unei noi tehnologii de către diferiți utilizatori.

Republica Moldova, prin asocierea sa la prioritățile Uniunii Europene în domeniul științei și inovării, se angajează să asigure buna activitate a savanților în problemele prioritare ale științei și tehnicii, un exemplu în acest sens fiind **Programul de Stat „Sisteme pentru valorificarea energiilor regenerabile, dispozitive mecatronice, tehnologii industriale și satelitare”**, coordonat de acad. Ion Bostan.

În cadrul Clusterului „Tehnologii satelitare” al acestui program s-au derulat două proiecte de cercetare:

1. Proiectul „Cercetarea cinematicii și dinamicii sistemelor de control, orientare și stabilizare a satelitelui în simulator cu identificarea legăturilor feed back cu stația terestră de comandă”. Director de proiect: acad. Ion Bostan.

2. **Proiectul „Cercetarea metodelor și procedurilor de comunicare a microsateleților cu stațiile terestre pentru captarea și transmisiunea imaginilor în timp real”.** Director de proiect: dr., conf. univ. Nicolae Secieru.

Scopul major al Clusterului: crearea primului microsatelelit în Republica Moldova și a infrastructurii terestre de monitorizare a zborului microsatelelitului.

La realizarea proiectelor în cauză au participat 16 cercetători științifici, specialiști din domeniul mașinologiei, electronicii, tehnologiilor informaționale, inclusiv 8 tineri cercetători cu vârsta sub 35 de ani. Rezultatele de bază au fost publicate într-o monografie editată la Editura „Springer” (Bostan I., Gheorghe A., Dulgheru V., Sobor I., Bostan V., Sochirean A. *Resilient Energy Systems. Renewables: Wind, Solar, Hydro*. Springer, VIII, 507 p. 2013), în articole inserate în culegeri internaționale. Elaborările realizate au fost demonstrate la diverse expoziții internaționale de invenții și transfer tehnologic (Eureka, Bruxelles, Geneva; Arhimed, Moscova; Inova, Zagreb, Croația; EuroInvent și Inventica, Iași; ProInvent, Cluj-Napoca; InfoInvent, Chișinău) unde au fost apreciate cu 4 medalii de aur și 1 de argint.

În cadrul Clusterului au fost atinse câteva obiective importante:

- proiectarea stației terestre de monitorizare a zborului microsatelelitului;
- elaborarea și fabricarea sistemului de determinare și control al atitudinii în baza giroscopului precesional cu schimbarea momentului giroscopic pe 3 axe;

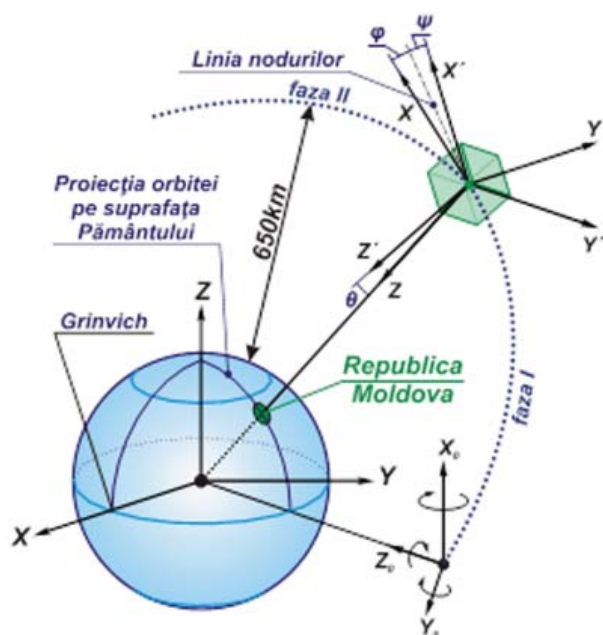


Fig. 1. Atitudinea satelitelui în prima fază de la lansare și după intrarea pe orbită

c) proiectarea construcției antenei telemetrice și stației terestre pentru recepția imaginilor de pe satelitul;

d) dezvoltarea metodelor și procedurilor de comunicare a microsateleților cu stațiile terestre pentru recepția imaginilor în timp real.

În conformitate cu planul calendaristic al proiectelor Clusterului, a fost creată stația terestră de comunicare telemetrică. Stația terestră de comunicare telemetrică reprezintă o structură de elemente cu funcții specializate necesare pentru efectuarea controlului modulelor satelitelui, precum și urmărirea traiectoriei de deplasare și captarea datelor de la microsatelelit.

Controlul atitudinii microsatelelitului. Asupra satelitelui în zbor pe orbită influențează o serie de perturbații care modifică poziționarea lui în spațiu. Imediat după lansarea în spațiu (până la intrarea pe orbită) în funcție de necoincidența punctului de aplicare a forței lansatoare cu centrul de greutate al satelitelui, acesta poate efectua, în cel mai complex caz, o mișcare de deplasare cu rotire (rostogolire) în jurul a 3 axe, X_0, Y_0, Z_0 (fig. 1). Stabilizarea satelitelui în această fază este foarte complicată din punct de vedere operațional și dinamic, deoarece impune operațiuni succesive de „stingere” a rotirii satelitelui în jurul axelor sale, astfel ca satelitul să intre pe orbita de zbor calculată deja stabilizat pe toate 3 axe de coordonate.

În realitate, după lansare, stabilizarea satelitelui durează o anumită perioadă de timp, ei aflându-se deja pe orbită. Această perioadă depinde de pertur-

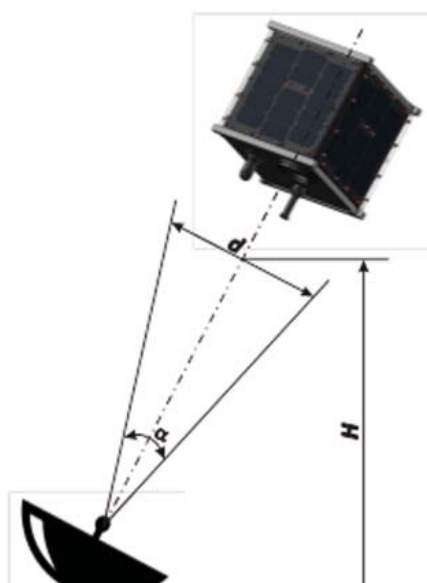


Fig. 2. Schema de calcul al diametrului eficient de radiație

bațiile cosmice ce influențează asupra satelitelui, de dinamica mișcărilor impuse imediat după aruncare în spațiu, cât și de operativitatea stingerii de către mecanismele de acționare a mișcărilor de rotație proprii ale satelitelui. În acest scop, un rol important îl are stația terestră de stabilizare la etapa inițială și de monitorizare a microsatelitelui pe tot parcursul existenței sale pe orbită.

Calculul preciziei poziționării antenei. Pentru ghidarea satelitelui, care se află pe orbita joasă, este nevoie de un sistem de poziționare a antenei parabolice foarte exact și mobil. Ghidarea cu o precizie înaltă oferă posibilități enorme în ceea ce privește comunicația cu satelitul, având antena de fiecare dată orientată spre satelit (fig. 2). Au fost efectuate calcule pentru determinarea diametrului eficient de radiație pe orbita satelitelui (fig.2). Lățimea petalei principale a diagramei de radiație este de 1,5 grade, iar lățimea eficientă de radieră pe orbita satelitelui a fost calculată din relația:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{d/2}{H}$$

unde: α este lățimea petalei principale a diagramei de radiație;

d – diametrul eficient de radiație pe orbita satelitelui;

H – înălțimea orbitei satelitelui.

Astfel s-a obținut că la înălțimea de 600 km exactitatea poziționării antenei parabolice este de 13,44 m, ceea ce permite ghidarea satelitelor de orice dimensiuni și cu orice viteze.

Structura generală a stației terestre de comunicare telemetrică (fig. 3). Structura generală a sistemului de interacțiune cu satelitul reprezintă o stație terestră de comunicare telemetrică cu elementele ei principale: antenele de uplink și downlink; reductorul care rotește elementele antenei; controlul de bază pentru efectuarea prelucrării semnalelor de comandă necesare pentru efectuarea mișcărilor de rotație a satelitelui; transceiverul; calculatorul de prelucrare a datelor. Poziția antenei este determinată de mișcarea de rotație a reductorului. Semnalele de comandă, care controlează reductorul, sunt generate de către un procesor care comunică cu sistemul prin intermediul driverelor. Ele sunt prelucrate la calculatorul de procesare a datelor. Frecvența de obținere a semnalelor este de ordinul milisecundelor. Astfel, calculatorul de prelucrare a datelor este capabil să execute aceste funcții fără apariția erorilor.

Pentru a asigura fiabilitatea înaltă a centrului de comandă și pentru a direcționa antenele de telemetrie și de descărcare a imaginilor de pe satelit, a fost cercetată varianta de urmărire vizuală a sateli-

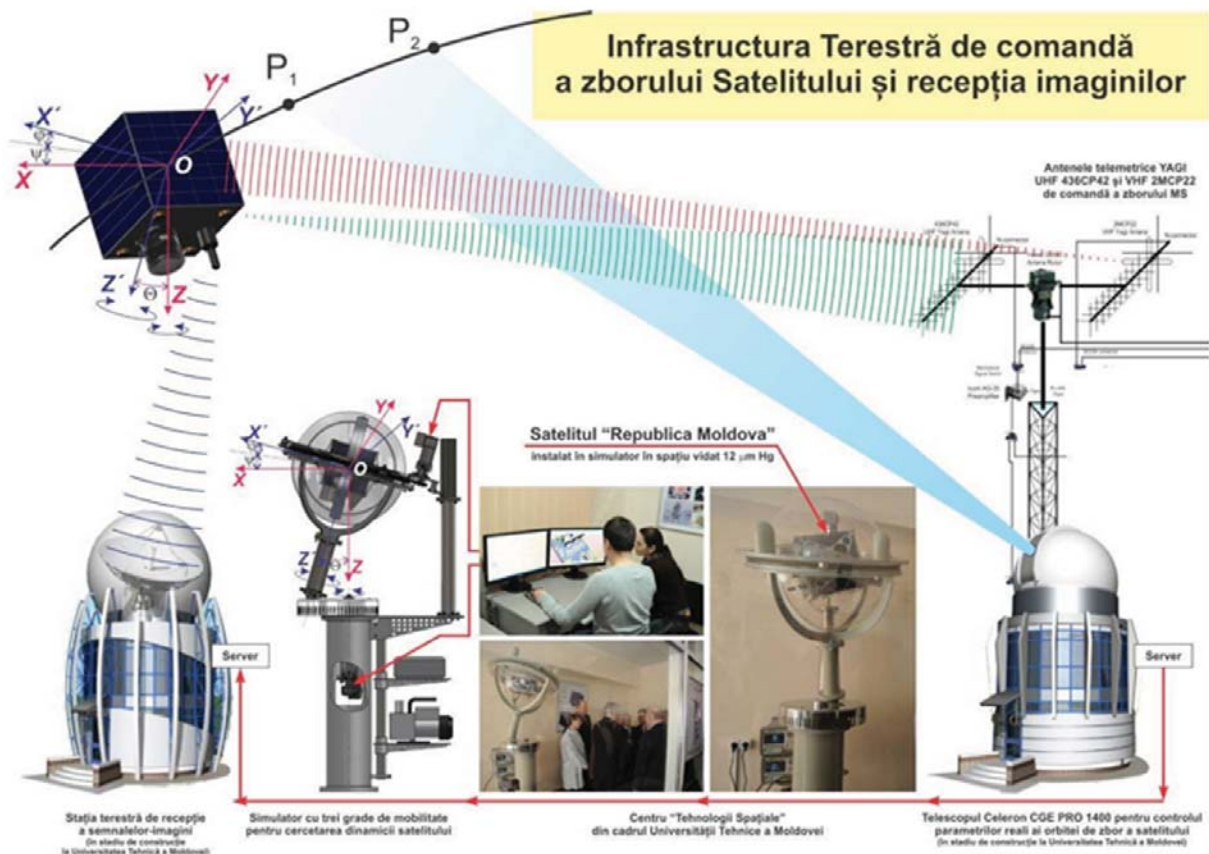


Fig. 3. Stația terestră de monitorizare a zborului microsatelitelui și recepție a semnalelor



Fig. 4. Stația terestră pentru monitorizarea zborului microsatelitului și telescopul Celeron CGE PRO 1400 pentru studierea corpurilor cerești

tului cu ajutorul unui telescop (fig. 4,b). Telescopul poate fi condus în mod digital și fixa optic satelitul, apoi să-l urmărească pe bolta cerească, transmițând în același timp ambelor antene coordonatele reale ale satelitului spre a obține un link ridicat pentru ambele antene.

În figurile 4,a,b,c sunt prezentate localurile infrastructurii terestre pentru comanda și monitorizarea zborului Microsatelitului „Republica Moldova” și, respectiv, al Telescopului Celeron CGE PRO 1400 pentru monitorizarea zborului microsatelitului și pentru studierea a peste 150 000 de corpuri cerești în cadrul orelor de astronomie din

curricula liceală. Profesorii de fizică de la Universitatea Tehnică a Moldovei vor ține conferințe online la acest subiect pentru elevi în cadrul orelor de astronomie găzduite de parcul-Muzeu al Tehnicii, sectorul Râșcani.

Potrivit planului calendaristic al Proiectelor Clusterului, au fost efectuate, de asemenea: proiectarea echipamentului necesar și platformei de amplasare a antenei parabolice; perfecționarea modelului controlului atitudinii microsatelitului și sistemului de comandă, orientare și stabilizare; re-proiectarea și fabricarea subsistemului de captare a imaginii (fig.5); cercetarea și proiectarea canalului

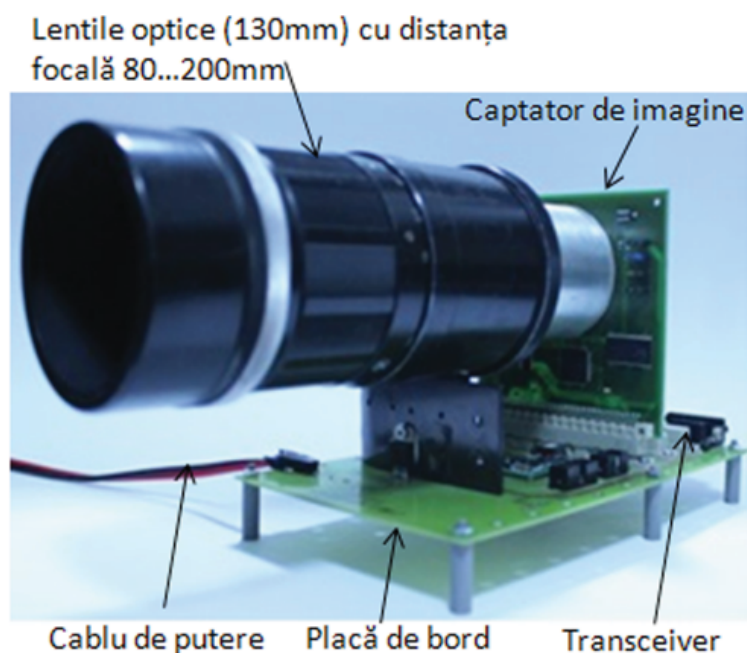
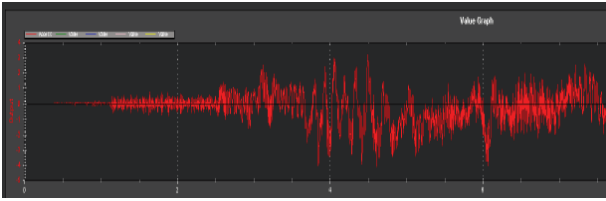


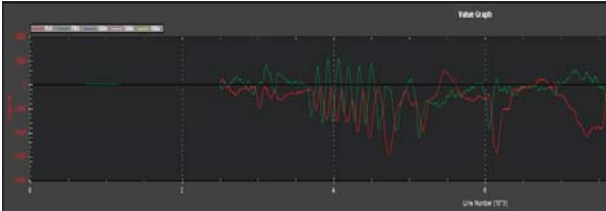
Fig. 5. Captorul de imagini, transceiverul și sursa de alimentare

Fără filtrarea datelor

Semnalul accelerometrului inițial.

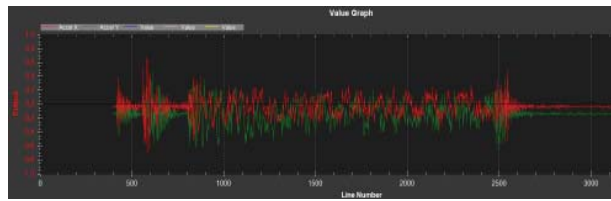


Controlul atitudinii (Roll & Pitch) calculat



Cu filtrarea datelor

Semnalul accelerometrului – zgomot de 10 ori mai mic



Controlul atitudinii (Roll & Pitch) calculat

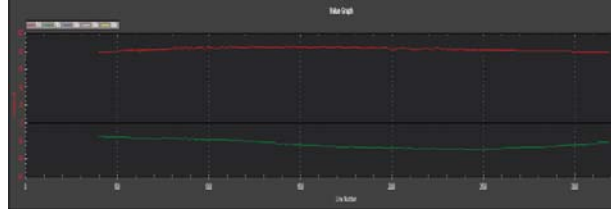


Fig. 6. Semnale cu și fără filtrarea datelor

radio pentru monitorizarea stației terestre. În urma cercetărilor efectuate, s-a găsit soluția pentru citirea imaginilor înscrise pe cartelă SD. A fost elaborată cartela SD care va fi utilizată doar pentru transferarea datelor de la stația terestră la calculator, fără a fi necesară înscrierea lor în timp real. Cartelele au un volum sporit (până la 64 Gbyte), fapt ce face posibilă stocarea a aproximativ 12 000 de imagini cu volum de 4 Mbyte fiecare.

Sistemul elaborat de îmbunătățire a imaginilor (reglare a clarității) va fi aplicat la etapa inițială de prelucrare a imaginilor recepționate de la satelit, problema principală la prelucrarea imaginilor fiind timpul necesar pentru procesare. Astfel, timpul minim de prelucrare pentru o imagine standard (2000 x 2000 pixel) este de 30 minute și poate ajunge la câteva ore la aplicarea unui filtru concret. O soluție pentru accelerarea procesului de prelucrare a imaginilor este transferul funcțiilor de prelucrare pe un accelerator hardware. Ca o soluție, poate fi utilizat sistemul de recepție, prelucrare și stocare a imaginilor în baza KIT-ului DE2-115, fapt ce va permite reducerea timpului de prelucrare a imaginilor de sute de ori. S-a stabilit că o imagine cu volum de 4 Mbyte va fi înscrisă aproximativ în 4 secunde. Această viteză de înscriere este acceptabilă. În fig. 6 se prezintă o analiză comparativă a semnalelor cu și fără filtrarea datelor.

Conceptul constructiv-cinematic al antenei telemetrice pentru comanda și monitorizarea zborului satelitelui pe orbită, elaborat în cadrul proiectelor. Conceptul se bazează pe utilizarea a

două antene telemetrice: de emisie VHF 2MCP22 și de recepție YAGI UHF 436CP42 (fig. 3), prin care se asigură comanda zborului microsatelitelui, menținerea lui pe orbita stabilită, corectarea traiectoriei microsatelitelui în caz de apariție a unor abateri de la cea stabilită, preluarea informațiilor.

Bibliografie

1. Wertz, James R. ed. *Spacecraft Attitude Determination and Control*. Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel Publishing Company, 1978.
2. Ovchinnikov M. Yu. *Sistemy orientaczii sputnikov: ot Lagranja do Koroleva*, Soro-sovskij obrazovatel'nyj zhurnal, 1999, nr. 12.
3. *Opýt razrabotki, sozdaniya i èkspluataczii magnitnyh sistem orientaczii malyh sputnikov*, M.Yu. Ovchinnikov, V.I. Pen'kov, I.I. Kiryushkin, R.B. Nemuchinskij, A.A. Il'in, E.E. Noxrina. Preprint IPM im. M.V. Keldýsha RAN, Moskva, 32 p.
4. Karpenko S.O. *Algoritmy upravleniya orientaciej mikrosputnikov*. Trudy Soveshhanuya „Upravlenie dvizheniem malogabaritnyh sputnikov, IPM im. M.V. Keldýsha RAN. Moskva, 2006.
5. Miele A., Frediani A., *Advanced Design Problems in Aerospace Engineering*. Volume 1: *Advanced Aerospace Systems*, Texas Rice University Houston and University of Pisa, Italy, Kluwer Academic Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2007.
6. Elbert, Bruce R., *The satellite communication applications handbook*, Boston, MA: Artech House, 1997.
7. Chandrasekaran A., Gutshall James E., *The Design of the Communication and Telemetry System Used by the Ionospheric Observation Nanosatellite Formation Mission*, Utah State University, Logan, UT 84322-4120, USA. p. 11.