

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII
MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Electronică și Telecomunicații
Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice**

**Admis la susținere
Șef departament
Sava Lilia, conferențiar universitar, doctor în științe tehnice**

„_____” _____ 2021

**Dezvoltarea platformei de comunicare și
monitorizare pentru nanosatelitul educațional
”TUMnanoSAT”**

Teză de master

Student: Vărzaru Vladimir, grupa SCE-201M

**Coordonator: Secieru Nicolae
Conferențiar universitar,
doctor**

Chișinău, 2021

Rezumat

Dezvoltarea platformei de comunicare și monitorizare pentru nanosatelitul educațional "TUMnanoSAT"

Vladimir VĂRZARU

Cuvinte cheie: nanosateliti, Software Defined Radio, comunicare, monitorizare

Scopul general al acestei lucrări de master reprezintă crearea unei platforme de comunicare și control ce va simplifica interacțiunea dintre operator și algoritmi de comunicare cu nanosatelitul educațional "TUMnanoSAT" ce stau la nivel mai jos. Platforma de comunicare reprezintă nivelul de aplicație din stiva de comunicare cu nanosatelitul menționat și trebuie să ofere utilizatorului o interfață grafică simplă și explicită pe de o parte iar pe de altă parte trebuie să automatizeze, pe cât este de posibil, procesul de comunicare cu nanosatelitul educațional "TUMnanoSAT". De asemenea, platforma trebuie să permită prezentare către utilizator a informațiilor utile recepționate de la nanosatelit, a informațiilor referitor la starea satelitelui și a subsistemelor acestuia precum și trimiterea spre nanosatelit a comenzilor corespunzătoare pentru configurarea acestuia, resetarea lui sau pentru solicitarea datelor utile.

Lucrarea este împărțită în trei compartimente. În primul capitol este analizată situația actuală în segmentul spațial și, îndeosebi, importanța sateliților mici pentru dezvoltarea științei și pentru popularizarea tehnologiilor spațiale. În acest capitol accentul este pus pe sateliții educaționali de pe orbitele de jos a Pământului și metodele de comunicare cu aceștia precum și instrumentele utilizate la acest proces. În urma analizei efectuate au fost stabilite cerințele tehnice și funcționale față de platforma de comunicare care trebuie dezvoltată.

În continuare, în capitolul doi, a fost studiat mai detaliat nanosatelitul educațional "TUMnanoSAT", arhitectura acestuia, subsistemele în care este împărțit precum și principiul de interacțiune dintre nanosatelit și stația terestră cu care trebuie să comunice. A fost efectuat studiul metodelor de comunicare utilizate, a instrumentelor pe care se bazează algoritmi de comunicare (de nivel jos) cu nanosatelitul și cum interacționează între componentele acestor algoritmi.

Ulterior, în ultimul capitol, este descrisă arhitectura generală de comunicare cu nanosatelitul, obținută în urma implementării platformei de comunicare și monitorizarea create în cadrul lucrării de față. În acest capitol este prezentată aplicația, interfața grafică a acesteia și sunt prezentate toate părțile componente și instrumentele disponibile în cadrul ei. De asemenea, în acest

capitol, sunt prezentate și imagini în care se prezintă funcționarea platformei în regim de testare și rezultatele obținute în urma procesului menționat.

Drept rezultat al realizării sarcinii propuse în cadrul acestei lucrări s-a obținut aplicația de comunicare cu nanosatelitul "TUMnanoSAT". Această aplicație oferă operatorului stației terestre o interfață grafică explicită unde sunt prezentate date despre stările satelitelui și care poate fi utilizată la trimiterea comenzilor spre el. Pe de altă parte, aplicația efectuează automatizarea unor procese implicate în comunicarea cu nanosatelitul și anume resolicitarea pachetelor pierdute în urma recepționării imaginilor și completarea fișierului în cauză; extragerea datelor utile din fișierele recepționate și salvarea acestora în baza de date; recepționare și prezentarea informației împachetate în mesajele de tip baliză, precum și trimiterea acestei informații spre baza de date corespunzătoare. În urma implementării aplicației create, în arhitectura de comunicare, se obține, în ansamblu, o platformă complexă ce îndeplinește sarcinile de prezentare a datelor, comunicare, monitorizare și control a nanosatelitelui "TUMnanoSAT".

Summary

Development of the communication and monitoring platform for the "TUMnanoSAT" educational nanosatellite

Vladimir Vărzaru

Key words: nanosatellites, Software Defined Radio, communication, monitorization

The main purpose of this master's thesis is the development of a communication and control platform that would simplify the interaction between the operator of the ground station and the communication algorithms that work at a lower level and communicate with the "TUMnanoSAT" educational nanosatellite. The communication platform represents the application level of the communication stack with the mentioned nanosatellite and must provide the user with a simple and explicit graphical interface on the one hand and on the other hand must automate as much as possible the communication process. The platform must present to the user all the useful information received from the nanosatellite in the current communication session, the information on the status of the satellite, its subsystems, the received useful data etc., and it should also allow sending to the nanosatellite of the appropriate commands for its configuration, reset or requesting useful data.

The work is divided into three compartments. The first chapter analyzes the current situation in the space segment and, in particular, the importance of small satellites for the development of science and for the popularization of space technologies. In this chapter the focus is on educational satellites placed on the Low Earth Orbits and the methods of communication with them as well as the tools used in this process. Following the analysis, the technical and functional requirements for the communication platform to be developed were established.

Next, in chapter two, the educational nanosatellite "TUMnanoSAT" was studied in more detail, its architecture, the subsystems into which it is divided as well as the principle of interaction between the nanosatellite and the ground station with which it must communicate. The study of the communication methods used, of the tools on which the communication algorithms (low level) with the nanosatellite are based and how the interaction between the mentioned components of these algorithms takes place.

Lastly, in the last chapter, the general communication architecture with the nanosatellite is described. This architecture was obtained following the implementation of the communication and monitoring platform developed within this paper. This chapter presents the application, its

graphical interface and all the components and tools available in it. Also, in this chapter are presented images of the operation of the platform during the test process.

As a result of accomplishing the task proposed in this paper, the communication application with the nanosatellite "TUMnanoSAT" was obtained. This application provides the ground station operator with an explicit graphical interface where satellite status data is presented and which can be used to send commands to it. On the other hand, the application performs the automation of some processes involved in the communication with the nanosatellite, namely the recovery of the lost packets after receiving the images and the completion of the file; extracting useful data from received files and saving them in the database; receiving and presenting the information packaged in the beacon messages, as well as sending this information to the corresponding database. The implementation in the communication architecture of the developed application results in a complex platform that fulfills the tasks of data presentation, communication, monitoring and control of the nanosatellite "TUMnanoSAT".

Cuprins

INTRODUCERE	11
1. ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE ÎN SEGMENTUL SATELIȚILOR EDUCAȚIONALI ȘI A METODELOR ȘI UNELTELOR UTILIZATE LA COMUNICARE CU ACEȘTIA	13
1.1. Actualitatea temei	13
1.2. Standardul CubeSat pentru sateliți	14
1.3. Sateliți educaționali	16
1.3.1. Satelitul educațional PW-SAT2	17
1.3.2. Satelitul educațional EQuiSAT	19
1.4. Nanosatelitul educațional TUMnanoSAT	20
1.4.1. Istoric, dezvoltare și misiune	21
1.4.2. Subsistemele nanosatelitului educațional TUMnanoSAT	22
1.4.3. Utilizarea SDR ca mod de comunicare cu satelitul	29
1.5. Orbitele importante ale Pământului	32
1.5.1. Specificul orbitei de jos a pământului (Low Earth Orbit)	33
1.5.2. Ferestrele de vizibilitate și interacțiunea Satelit -Stație terestră pentru un satelit aflat pe LEO	34
1.5.3. Provocări de comunicare pentru orbita LEO	36
1.6. Necesitatea platformei de comandă și control a misiunii	39
1.7. Analiza platformelor de comandă și control	40
1.8. Problemele de cercetare/dezvoltare	41
2. ANALIZA STRUCTURALA ȘI FUNCȚIONALĂ A NANOSATELITULUI EDUCAȚIONAL TUMNANOSAT ȘI STUDIUL INSTRUMENTELOR IMPLICATE ÎN PROCESUL DE COMUNICARE CU ACESTA	43
2.1. Arhitectura generală TUMnanoSAT – stație terestră	43
2.2. Arhitectura SDR ca nucleu al procesului de comunicare	45
2.2.1. GNU Radio și blocurile de procesare digitală	46
2.2.2. ZMQ ca interfațare între GNU Radio și aplicație	48
2.2.3. Bazele de date pentru stocarea datelor utile descărcate de pe nanosatelit	49
2.3. Stabilirea grilei de comenzi-răspunsuri dintre TUMnanoSAT și stația terestră	51
2.4. Calcularea și simularea bugetului de date utile	54
2.5. Utilizarea QT-toolkit pentru platforma de comandă și control	64

2.6. Concluzii	65
3. DESCRIEREA ARHITECTURII DE COMUNICARE, PREZENTAREA APLICAȚIEI, A TESTELOR ȘI REZULTATELOR OBTINUTE ÎN URMA IMPLEMENTĂRII PLATFORMEI DE COMUNICARE	66
3.1. Descrierea arhitecturii generale a platformei de comunicare și control.....	66
3.2. Prezentarea aplicației și interfeței grafice	68
3.3. Testări și rezultate	75
CONCLUZII	84
BIBLIOGRAFIE	85

Introducere

În lucrarea de față este cercetat subiectul sateliților de dimensiuni mici, cu misiuni educaționale și de cercetare, lansați pe orbitele de jos ale Pământului preponderent de universități din diferite țări ale lumii. Abordarea acestui subiect este condiționată de necesitatea acumulării de informații referitor la metodele și instrumentele utilizate în procesul de comunicare cu sateliții de pe orbită, informații ce urmează a fi folosite pentru crearea unei platforme de comunicare cu nanosatelitul educațional "TUMnanoSAT".

În procesul de analiză a fost atrasă o atenție sporită algoritmilor de comunicare dezvoltați la etapa de licență. Acest lucru se datorează faptului că platforma ce urmează a fi dezvoltată va funcționa la nivelul superior al stivei de comunicare cu nanosatelitul și, dacă mai precis, la nivelul aplicației. Pe de altă parte însă, la nivelele de jos, nivelul fizic și nivelul legătură de date, stau algoritmi de comunicare menționați. Deci, aplicația trebuie să fie compatibilă cu acești algoritmi și să interacționeze corect cu ei ca să aibă loc procesul de comunicare.

După analiza bazei informaționale acumulate, a metodelor implementate de comunicare cu alți sateliți, a structurii nanosatelitelui educațional "TUMnanoSAT" și a algoritmilor de comunicare dezvoltați la etapa tezei de licență, se poate formula scopul de bază al acestei lucrări: dezvoltarea unei platforme explicite, comodă în utilizare, cu o interfață grafică bine definită și intuitivă, ce va simplifica, pentru operator, procesul de comunicare și monitorizare a nanosatelitelui "TUMnanoSAT". În baza scopului menționat au fost formulate și următoarele obiective:

- De crea o aplicație ca va îmbunătăți și simplifica interacțiunea dintre operatorul stației terestre și a nanosatelitelui educațional "TUMnanoSAT";
- Aplicația trebuie să ofere utilizatorului o interfață grafică explicită și intuitivă prin intermediul căreia utilizatorul va interacționa cu platforma de comunicare;
- Aplicația creată trebuie să fie compatibilă și să utilizeze, la trimiterea și recepționarea mesajelor, algoritmi de comunicare cu nanosatelitul "TUMnanoSAT", creați la etapa de licență;
- Platforma trebuie să includă o metodă de stocare a datelor recepționate de pe nanosatelit pentru revizuirea ulterioară a acestora și pentru analiza statistică. Mai mult decât atât, datele obținute din mesajele de tip "Beacon" trebuie să fie stocate separat de datele utile, recepționate drept răspunsuri la comenzile de solicitare a datelor;

- Aplicația trebuie să prezinte, într-o formă simplă și ușor de asimilat, informația extrasă din mesajele recepționate în timpul sesiunii de comunicare;
- Aplicația trebuie să permită introducerea manuală de către operator a comenzilor pentru nanosatelit dar și selectarea acestora din lista de comenzi disponibile;

Pentru îndeplinirea scopului și obiectivelor propuse, lucrarea a fost divizată în trei compartimente. Primul compartiment conține propriu-zis analiza generală a situației în segmentul spațial educațional, analiza instrumentelor și arhitecturilor utilizate la comunicare cu sateliții educaționali, analiza generală a două exemple de nanosateți educaționali dar și a nanosatelitului "TUMnanoSAT". Compartimentul numărul este finisat cu formularea cerințelor tehnice și funcționale față de platforma de comunicare. În continuare, compartimentul numărul doi, conține analiza mai detaliată a structurii nanosatelitului "TUMnanoSAT", analiza metodelor utilizate la comunicarea cu acesta, dar și analiza algoritmilor de comunicare, de nivel jos, implicați în trimiterea și recepționarea mesajelor. În acest capitol este stabilită și grila de comenzi și răspunsuri dintre satelit și stație terestră, este calculat și simulat volumul maxim de date utile ce poate fi descărcat și sunt descrise instrumentele disponibile ce pot fi folosite la dezvoltarea platformei de comunicare.

În ultimul capitol al acestei lucrări este descrisă arhitectura generală a platformei de comunicare dezvoltată; sunt atașate imagini ce prezintă interfața grafică a aplicației create cu descrierile corespunzătoare a fiecărui compartiment și instrument implementat în aplicație; sunt prezentate rezultatele testării aplicației la comunicarea cu nanosatelitul educațional "TUMnanoSAT".

Bibliografie

1. *World's largest database of nanosatellites, over 3200 nanosats and CubeSats.*
Disponibil: <https://www.nanosats.eu/>
2. *What is a nanosatellite?* Disponibil: <https://alen.space/basic-guide-nanosatellites/>
3. *Nanosatelitul PW-Sat2.* Disponibil: <https://pl.wikipedia.org/wiki/PW-Sat2>
4. *Nanosatelitul EQUiSat.* Disponibil: <https://en.wikipedia.org/wiki/EQUiSat>
5. BOSTAN, Viorel; SECRIERU, Nicolae; ILCO, Valentin; MELNIC, Vladimir; MARTÎNIUC, Alexei; VĂRZARU, Vladimir; *TUMnanoSAT Nanosatellite and Kibocube Program.* 2020 13th International Conference on Communications (COMM). 2020 13th International Conference on Communications (COMM). DOI:10.1109/COMM48946.2020.9142025. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/342995785_Tumnanosat_Nanosatellite_and_Kibocube_Program
6. J. Farkas, CPX: Design of a Standard Cubesat Software Bus, California State University, California, USA, 2005.
7. L. Dusseau et al., CUBE SAT SACRED: a student project to investigate radiation effects, In: RADECS 2005 Proceedings, Cap d'Agde, France, 2005.
8. B. Larsen, The Montana nanosatellite for science, engineering, and technology for the AFRL/NASA university nanosat program.
9. J. Bouwmeester et al., Advancing nanosatellite platforms: the Delfi program, - In: Proceedings of the 59th International Astronautical Congress, Glasgow, Scotland 2008.
10. J. Bouwmeester, J. Guo, Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology. - Acta Astronautica 67 (2010) 854–862 pp.
11. CEOS EO handbook – catalogue of satellite missions. –In: <http://database.eohandbook.com/database/missiontable.aspx>
12. World's largest database of nanosatellites, more than 1700 nanosats and CubeSats. – In: <http://www.nanosats.eu/>
13. CubeSat Design Specification (CDS) Rev. 13. The CubeSat Program, Cal Poly SLO, 2013. – In: <http://cubesat.org>
14. TUMnanoSAT proposal for CubeSAT Mission Application for the Fourth Round in the framework of United Nations/Japan Cooperation Programme on CubeSat

- Deployment from the International Space Station (ISS) Japanese Experiment Module "KiboCube". – Technical University of Moldova. Chişinău, 2019. 63 p.
15. The United Nations/Japan Cooperation Programme on CubeSat Deployment from the International Space Station (ISS) Japanese Experiment Module (Kibo) "KiboCUBE" – In: http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/hsti/kibocube_2019.htm
 16. *Understanding the Software Defined Radio Receiver.* Disponibil: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/sdr-software-defined-radio-receiver/sdr-basics.php>
 17. *The hardware/software division of radio tasks in software-defined radio vs. a traditional hardware radio.* Disponibil: https://www.researchgate.net/figure/The-hardware-software-division-of-radio-tasks-in-software-defined-radio-vs-a-traditional_fig6_257247073
 18. *Type of orbit.* Disponibil: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits
 19. *Low Earth Orbit.* Disponibil: https://en.wikipedia.org/wiki/Low_Earth_orbit
 20. *About GPredict.* Disponibil: <http://gpredict.oz9aec.net/>
 21. *Orbitron.* Disponibil: <https://orbitron.ru.malavida.com/#gref>
 22. *How does ARGOS transmit to outer space and back?* Disponibil: <https://news.mongabay.com/2017/05/location-location-location-goes-high-tech-facts-and-faqs-about-satellite-based-wildlife-tracking/>
 23. *What is Open MCT?* Disponibil: <https://nasa.github.io/openmct/about-open-mct/>
 24. *What is GNU Radio?* Disponibil: <https://www.gnuradio.org/about/>
 25. *Why ZeroMQ?* Disponibil: <https://zeromq.org/>
 26. *Qt.* Disponibil: <https://ro.wikipedia.org/wiki/Qt>