

## **REALIZAREA COMUNICAȚIEI NANOSATELITULUI „TUMNANOSAT” CU STAȚIILE TERESTRE ÎN BAZA TEHNOLOGIEI „SOFTWARE DEFINED RADIO”**

**Vladimir VĂRZARU,  
Valentin ILCO,  
Alexei MARTÎNIUC**

*Universitatea Tehnică a Moldovei, Centrul Național de Tehnologii Spațiale*

\*Autorul corespondent: Vladimir Vărzaru, email: [vladimir.varzaru@srco.utm.md](mailto:vladimir.varzaru@srco.utm.md)

**Rezumat:** Segmentul de stație terestră din cadrul comunicației cu nanosatelitul TUMnanoSAT este implementat prin intermediul tehnologiei Software Defined Radio (SDR). Elaborarea algoritmilor de comunicare cu adaptare la diverse tipuri de modulație, codificare, procesare a informației disponibile este suportată eficient de această tehnologie foarte versatilă. În lucrarea prezentă se descrie metoda de implementare a algoritmului de comunicație a mesajelor uplink și downlink cu sateliți, precum și decodificarea informației utile din semnalele recepționate.

**Cuvinte cheie:** demodulare, decodificare, semnal radio, stație terestră, telemetrie, microsatelit

### **Introducere**

În ultima perioadă lansarea sateliților educaționali de către universitățile din toată lumea cunoaște o notă ascendentă [1]. Universitatea Tehnică a Moldovei s-a aliniat acestor standarde și a început proiectarea unei familii de nanosateți, primul satelit fiind TUMnanoSAT. TUMnanoSAT este un nanosatelit de tip cubesat, dezvoltat la Centrul Național de Tehnologii Spațiale din cadrul UTM, ce are forma unui cub cu latura de 10 cm și cântărește până la 1,3kg, urmând astfel standardele internaționale pentru construirea unui satelit din această categorie. În cadrul runde a patra a programului KiboCube, UNOOSA și JAXA au selectat Universitatea Tehnică drept beneficiar a lansării pe gratis a satelitului [2]. Acest lucru presupune că satelitul TUMnanoSAT va fi lansat de către JAXA, de pe Stația Spațială Internațională, cu utilizarea modulului experimental de lansare a sateliților de tip cubesat.

Comunicarea cu satelitul presupune și crearea unei stații terestre, care trebuie să conțină echipamentul compatibil de comunicare cu cel de pe satelit [3]. Pentru a comunica cu satelitul au fost realizate 2 stații terestre performante, una la Chișinău în blocul nr. 3 de studii a UTM iar a doua la sudul Moldovei, în satul Brînza, raionul Cahul. Stațiile terestre sunt dotate cu ansamblu de antene UHF și VHF pentru operarea în benzile de radioamator, respectiv 70cm și 2m, USRP-uri pentru digitalizarea semnalelor recepționate și stații de calcul pentru procesarea datelor obținute. USRP este un dispozitiv hardware frontend, unicul dispozitiv hardware din cadrul topologiei SDR, utilizat la conversia analog-digital a semnalelor recepționate din eter și la conversia digital-analog în cazul când se face emisia semnalelor [4].

Conceptul de SDR presupune extinderea maximă a procesării informației pe software și minimalizarea dispozitivelor hardware implicate. Conceptul tipic SDR este prezentat în figura 1. În această figură sunt prezente segmentele de bază ale tehnologiei SDR, acestea fiind: partea RF (Radio Frequency) care recepționează semnalele din eter; partea de conversie care digitalizează datele recepționate; partea de digital front end în care se face eșantionarea, decimarea și restul operațiilor necesare ca în continuare datele să poată fi procesate de mașina de calcul; partea de procesare a informației [5].

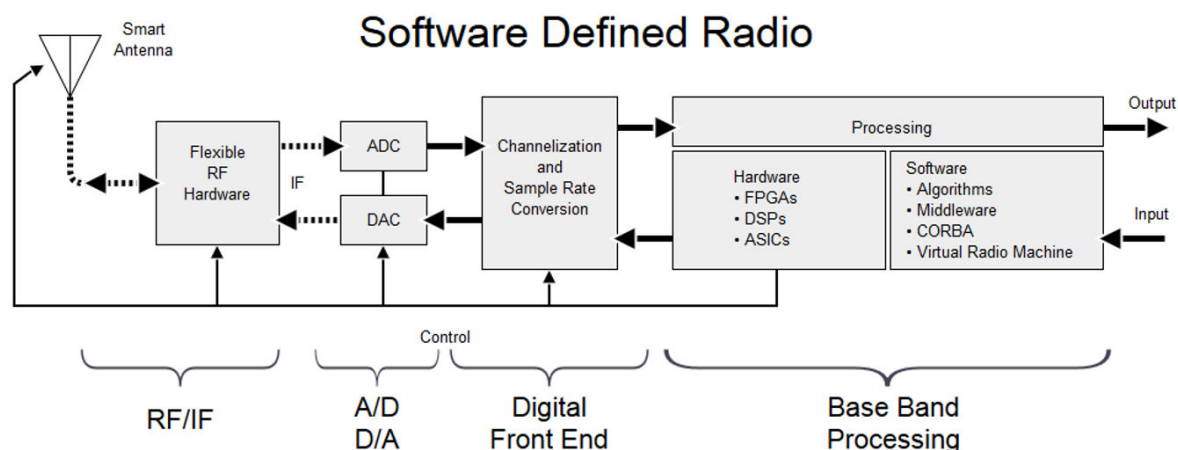


Figura 1. Arhitectura generală SDR [2]

### Procedurile de comunicare

Comunicarea cu satelitul TUMnanoSAT se va efectua în banda de 70cm (433 MHz) pentru radioamatori prin intermediul celor două stații terestre menționate anterior. Schema generală de comunicare este prezentă în figura 2.

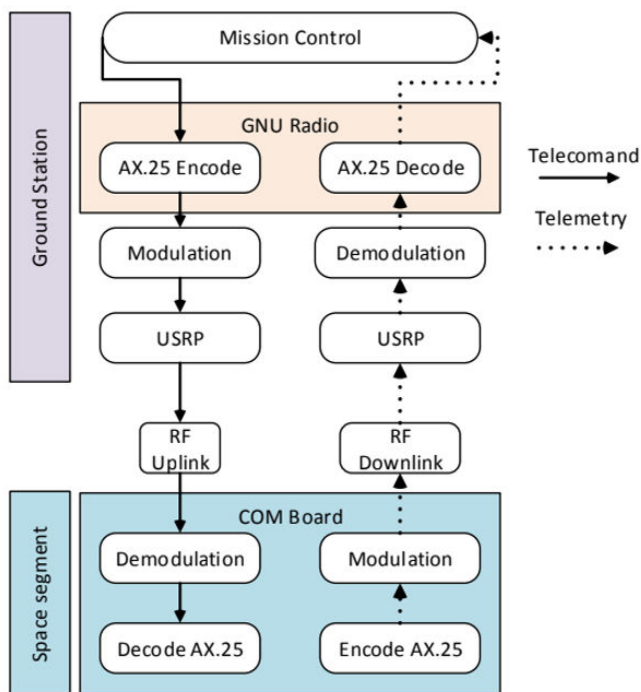


Figura 2. Schema generală de comunicare cu satelitul TUMnanoSAT

În figura de mai sus este evidențiat direcția în care sunt procesate și transmise comenzile, precum și direcția în care se propagă răspunsurile emise de satelit la comenzile primite. Sunt delimitate segmentele de Ground Station și Space Segment, precum și blocurile funcționale din care sunt formate ele.

În figura 3 sunt prezentați parametrii transmisiunii, aceștia fiind: încapsulare/decapsulare AX.25 data-link protocol, AX.25 fiind o adaptare a protocolului X.25, făcută astfel încât să poată ruta pachete în rețeaua de radioamatori în care legătura este efectuată preponderent prin unde radio; bit-stuffing/destuffing efectuat asupra pachetului încapsulat AX.25 cu scopul de a evita secvențe de 6 unități consecutive altele decât fanioanele protocolului AX.25; G3RUH scrambling/descrambling utilizat cu scopul de eficientiza utilizarea spectrului care rearanjează biții într-o ordine pseudo-aleatorie în așa fel încât să balanseze numărul de unități și zerouri din mesaj; NRZ-I codare/decodare; modulare/demodulare GMSK (preponderent 9600 baud/s cu deviația maximă de 2400 Hz, dar se va utiliza și 1200 baud/s pentru redundanță).

## Recepție

La recepționarea mesajelor trimise de satelitul TUMnanoSAT trebuie de ținut cont de tipurile mesajelor care pot fi emise. Așadar, mesaje avem de 3 tipuri: telemetrice, date utile și imagini. Mesajul telemetric presupune un șir de bytes în care este codificată informația referitoare la starea tuturor subsistemelor satelitului și parametrii acestora la momentul formării pachetului. Mesajul cu date utile sau payload-ul conține datele citite de pe senzorii aflați la bordul satelitului iar pachetele imagine sunt conțin imagini făcute cu camera instalată pe satelit.

GMSK Modulated signal

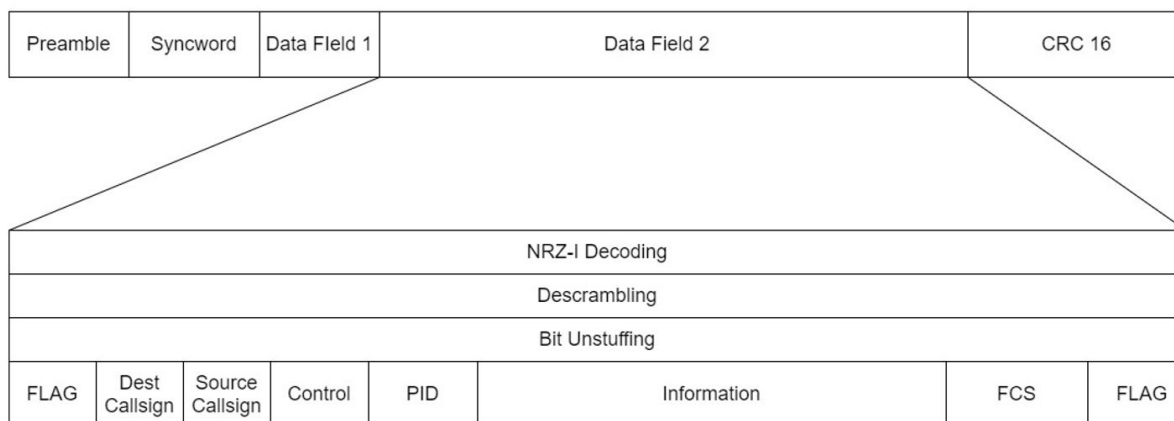


Figure 2. Schema generală de formare a pachetului pentru TUMnanoSAT

Implementarea algoritmului de recepție a datelor în mediul de dezvoltare Gnuradio este prezentată în Figura 4. Gnuradio-companion sau GRC este un mediu de prototipare cu interfață grafică a algoritmilor de comunicare, destinat pentru utilizarea în arhitectura SDR.

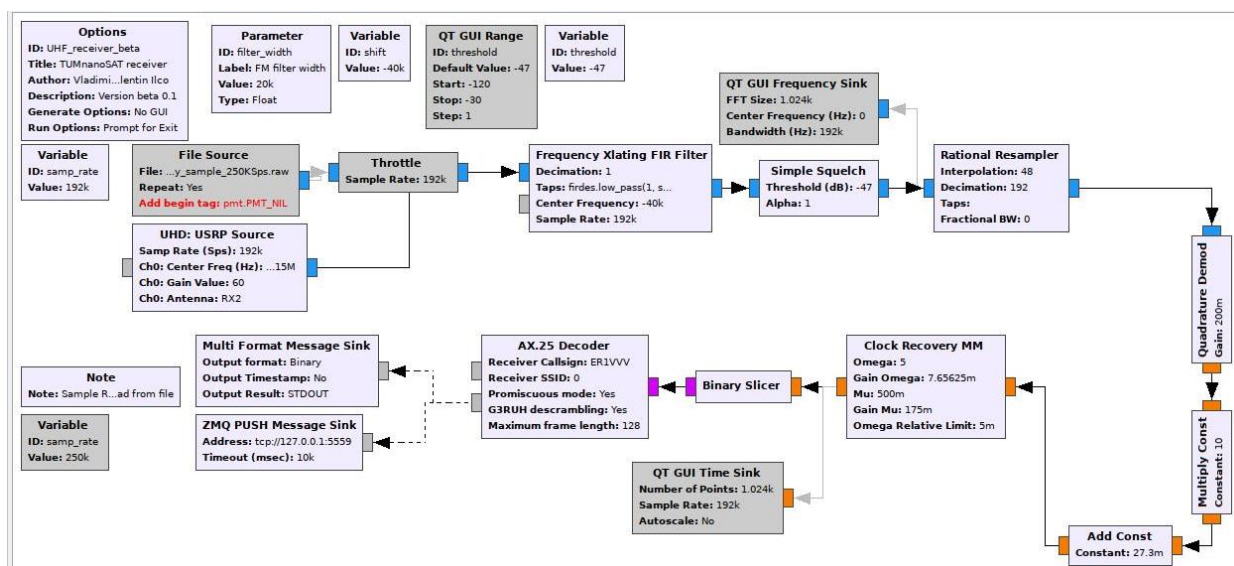


Figure 4. Implementarea algoritmului de recepție în GRC

## Procedurile de transmisie

Mesajele transmise către satelitul TUMnanoSAT vor constitui doar comenzi de configurare sau cerere. Nu se vor transmite alt tip de date spre satelit. Tipuri de comenzi transmise avem 4: comanda PING, utilizată pentru testarea legăturii cu satelitul; comenzi de cerere care presupun specificarea datelor pe care operatorul stației terestre le solicită de la satelit; comenzi de configurare utilizate la setarea anumitor parametri ai subsistemelor de pe satelit; comanda de cerere a imaginii care se utilizează pentru solicitarea imaginilor. Algoritmul de transmisiune a comenzilor spre satelit se obține prin inversarea algoritmului de recepție. Implementarea algoritmului de transmisie în GRC este redată în Figura 5.

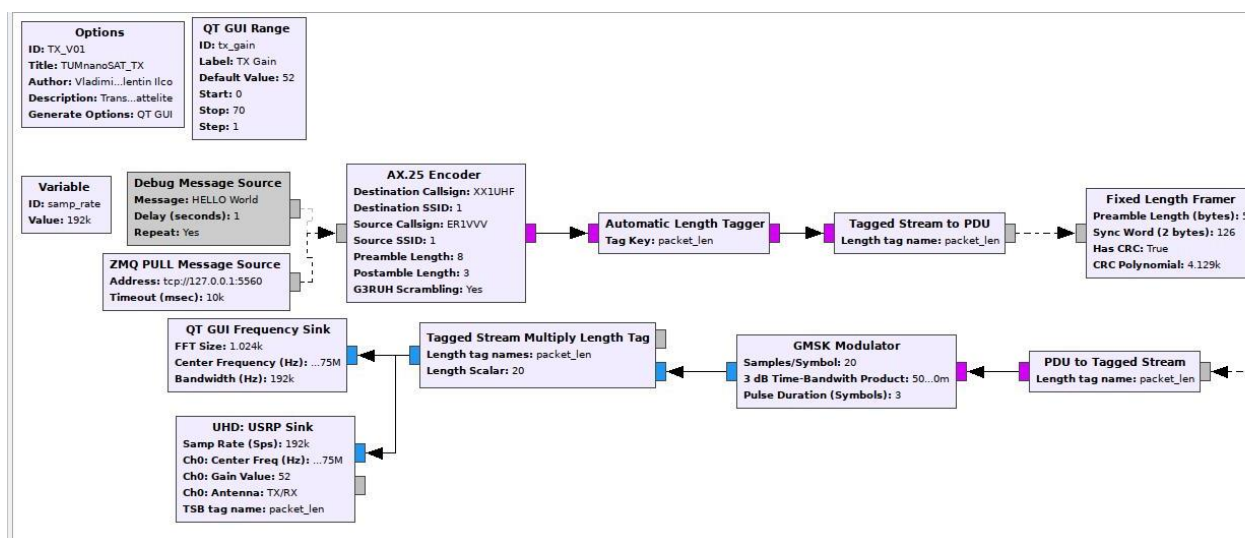


Figura 5. Implementarea în GRC a algoritmului de transmisie

## Concluzii

S-a aratat, că prin aplicarea tehnologiei Software Defined Radio s-au realizat rapid algoritmi de comunicare cu adaptarea lor la diverse tipuri de modulare a datelor, criptarea lor, utilizând doar un singur dispozitiv hardware universal, care efectuează conversia datelor din domeniul digital în cel analogic și invers în funcție de transmiterea sau recepția lor.

În rezultatul experimentelor s-a demonstrat faptul că volumul datelor procesate depinde de echipamentul, pe care se efectuează această procesare. USRP-ul, fiind doar un dispozitiv periferic, convertește datele ca acestea să poată fi procesate de calculator și se transmite prin interfața corespunzătoare, în cazul dat USB3.0 spre PC. Astfel, datele sunt prelucrate, iar volumul datelor care poate fi prelucrat în timp util depinde doar de performanța de procesare a calculatorului.

S-a aratat, că tehnologia SDR asigură ca algoritmi de comunicare să fie foarte ușor proiectați și testați, ceea ce simplifică considerabil procesul de prototipare a algoritmilor de comunicare și micșorează considerabil timpul necesar pentru dezvoltarea algoritmilor proiectați din motivul că nu trebuie să se confecționeze alte dispozitive hard specifice pentru implementarea noilor algoritmi de comunicare.

## Referințe:

1. World's largest database of nanosatellites, more than 2500 nanosats and CubeSats. – Disponibil: <https://www.nanosats.eu/database> [accesat 26.02.2020]
2. KiboCUBE: Team from the Republic of Moldova Selected for Fourth Round. [accesat 26.02.2020] Disponibil: <https://global.jaxa.jp/press/2019/06/20190610a.html>
3. VANGLI, H. *Construction of a remotely operated satellite ground station for low earth orbit communication*, Diss. Master's thesis, University of Oslo, Department of Physics, 2010.
4. BOSTAN, I., PISO, I.-M., BOSTAN, V., BADEA, A., SECRIERU, N., TRUSCULESCU, M., CANDRAMAN, S., MARGARINT, A., MELNIC, V. Arhitectura rețelei stațiilor terestre de comunicații cu sateliți. In: *Akademios*, nr. 2 (70), 2016, p. 70-77.
5. SDR for rapid prototyping of radio communications. [accesat 25.02.2020]. Disponibil: <https://sourceforge.isae.fr/projects/sdr-for-rapid-prototyping-of-radio-communications/wiki/Concepts>