

SATUM-MODULUL DE CAPTARE, PROCESARE DIGITALĂ ȘI TRANSMISIUNE ÎN BANDĂ ULTRA LARGĂ A IMAGINILOR TERREI

Gh. Bodean, Iu. Costin, S. Grițcov, T. Șestacov, Gh. Sorokin
Universitatea Tehnică a Moldovei

gbodean@mail.md, zakazpcb@mail.ru, gritscov@gmail.com, t.shestacova@gmail.com

Abstract. *The main units of image capturer, error-correcting coder and digital phase shift-keying modulator of the university nano-satellite, called SATUM, are presented and described in this article. This SATUM subsystem is implemented on 3 printed circuit boards of 100-by-100 mm size. It allows to capture the Terra color images of 4,2 Mpx size and transmit them in real time to the ground station by one image per second. The ISM-band unlicensed frequencies are used for images transmission.*

Cuvinte-cheie: *nanosatelit, CMOS-sensor, modulație digitală, bandă ultra largă.*

În lucrarea [1] au fost specificate cerințele principale înaintate față de subsistemul de captare și transmisiune a imaginilor, iar în articolul [2] au fost conturate entitățile constitutive ale nanosatelitului SATUM.

Soluțiile tehnice existente implementate integral (transceiverele WiFi, ZigBee, UWB etc.) nu oferă eficiența spectrală, necesară pentru transmisiunea în timp real a imaginilor digitale de rezoluție înaltă (e.g. 4 Mpx).

Pentru captarea imaginilor în prezent sunt folosite aparate cosmice de mare tonaj (2-3 tone), lansate pe orbite cu altitudine înaltă (peste 1000 km) și cu o durată îndelungată a misiunii (5-7 ani). În condițiile dezvoltării accelerate a tehnologiilor informaționale și de producere a circuitelor integrate, inclusiv și a CMOS-senzorilor, devine irațională și costisitoare folosirea aparatelor cosmice “grele”.

SATUM este abrevierea denumirii satelitului universitar elaborat (în cadrul Programului de Stat) de colaboratorii, doctoranzii, masteranzii și studenții Universității Tehnice a Moldovei (Technical University of Moldova). Una din misiunile spațiale preconizate ale nanosatelitului este captarea și transmisiunea în timp real a imaginilor suprafeței Terrei. Pentru realizarea acestui obiectiv la catedra Construirea și Producerea Aparatajului Electronic (CPAE) a Facultății de Radioelectronică și Telecomunicații (FRT) s-a proiectat și se implementează modulul de captare, codare și modulație digitală a imaginilor cu transmisiunea lor ulterioară (Image Capturing and Transmission, ICT). Modulul ICT conține următoarele entități distincte:

- captorul de imagini în baza CMOS-senzorului;
- coderul codului (nonbinar) corector de erori;
- modulatorul digital cu deplasare în fază.

Conform clasificării internaționale nanosatelitul este un aparat cosmic (AC) cu masa între 1 și 10 kg. Deși, mic de proporții, cerințele tactico-tehnice și responsabilitățile de proiectare rămân aceleași ca pentru un AC mare. În continuare vor fi descrise schemele structural-funcționale ale entităților modulului ICT al nanosatelitului SATUM.

1. Captorul de imagini

Obiectivul entităţii este captarea și stocarea rapidă (fracţiuni de secundă) a imaginilor de rezoluţie înaltă (10~20 m). În fig.1 este prezentată diagrama captorului de imagini (CI), unde IS este CMOS-senzorul, PLD este un circuit cu structură programabilă, MCU este un microcontroler, iar SRAM este memoria operativă în care se salvează imaginea. Deşi structural simplă, în virtutea restricţiilor de gabarit și energetice, entitatea CI a cerut o selectare riguroasă a componentelor constitutive. Astfel, în calitate de circuit IS a fost ales senzorul color CMV4000 ce asigură captarea instantanee (datorită global shutter) și transmisiunea cu rata înaltă (până la 180 frame per secundă, fps) a imaginilor pătrate color (în formatul RGB) cu dimensiunea pixelului de 5,3 microni (μm).

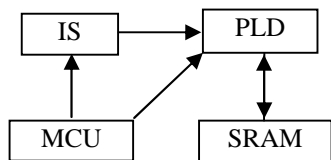


Fig.1. Bloc-diagrama captorului de imagini SATUM

Memoria asincronă paralelă SRAM este destinată pentru stocarea celor 4,2 Megapixeli generați de o imagine. Industria contemporană oferă circuite SRAM cu capacitatea specificată.

Interfața serială a IS-circuitului permite programarea funcționării via MCU, în calitate a căruia a fost ales un microcontroler din familia MSP430 cu memorie feroelectrică (FRAM). Particularitatea distinctă a acestor microcontrolere este insensibilitatea la radiații cosmice și consumul energetic infim (în comparație cu alte microcontrolere de același tip).

Menirea PLD-ului este interfațarea circuitelor CI și codarea (contra erorilor) a imaginilor. Fiind dat faptul că secvențele nonbinare (de 8 biți) sunt simboluri codate, un coder Reed-Solomon corespunzător a fost implementat în structura PLD-ului. Un circuit MAX II al firmei Altera a fost suficient pentru “încorporarea” funcțiilor enunțate.

Trebuie de remarcat faptul că senzorul de imagini CMV4000 conține un traductor încorporat de temperatură. Pentru monitorizarea temperaturilor, și alte traductoare digitale (de temperatură) sunt repartizate în cadrul plachetei captorului de imagini. Unitatea MCU controlează funcționarea entităților modulului CI. Totodată, MCU comandă și cu blocul de modulație digitală.

2. Modulatorul imaginilor digitale

Pentru telecomunicația spațială cea mai acceptabilă este transmisiunea cu modulația în fază. Un circuit DS875 cu sintetizare digitală în frecvență și fază (produs de firma Euvis) a fost selectat pentru implementarea modulației binare în fază (binary phase-shift keying, BPSK). Frecvența înaltă de tactare (până la 2,8 GHz) a circuitului DS875 permite generarea purtătoarei intermediare (IF) cu

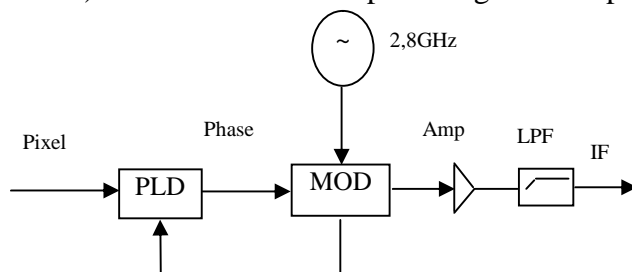


Fig.2. Bloc-diagrama modulatoarelor digitale SATUM

frecvența până la 350 MHz, ceea ce depășește necesarul de transmisiune a imaginilor codate cu rata de ≈ 80 Mb per secundă (Mbps).

În fig. 2 este prezentată diagrama modulatorului, unde MOD este circuitul DS875 urmat de un amplificator Amp și un filtru trece-jos LPF. Circuitul PLD conține entitatea ce efectuează secvențierea octetelor codate Pixel (generate de coder) și conversia seriei binare în fază, care este transmisă circuitului MOD prin aplicarea semnalului de tactare via linia de reacție.

Modulatorul imaginilor digitale este realizat pe o plachetă Rogers ceea ce asigură tranzitarea “intactă” a semnalelor de frecvență înaltă. Semnalul continuu de frecvență intermediară IF este transmis etajului de mixare și amplificare.

3. Convertorul în frecvență înaltă și amplificatorul RF-semnalului

Menirea convertorului (up-converter) este transpunerea semnalului de pe o frecvență joasă IF pe una mai înaltă (RF). Sunt două restricții în alegerea purtătoarei RF: 1) frecvența (purtătoare) trebuie să fie “afiliată” cu o bandă de frecvențe ce nu cere autorizare pentru transmisiune; 2) lățimea benzii trebuie să asigure o eficiență spectrală suficientă pentru transmisiunea celor 80 Mb de informație în $\approx 0,8$ secunde. Formal, în ansamblu, aceste două restricții cauzează necesitatea conversiei semnalului din IF în RF.

Conform grilei internaționale de repartizare a radio-frecvențelor cele mai adecvate pentru transmisiunea în timp real a imaginilor captate sunt frecvențele 2400...2483 MHz și, suplimentar, 5725...5850 MHz. Pentru conversia IF-semnalului în diapazoanele de frecvențe alese este mai rațională folosirea mixerelor cu oscilatoare integrate (LO) RFFC2072 (respectiv RFFC5072) produse de firma RF Micro Devices. Un modul gata de filtru trece-bandă (BPF), de exemplu produs de firma K&L Microwave, soluționează problema filtrării RF-semnalului.

În fig. 3 este prezentată diagrama up-convertorului cu amplificatorul de RF-semnale. Conform calculelor efectuate și în baza simulării (pe calculator) pentru transmisiunea fiabilă (BER impus) a imaginilor de la orbita cu altitudinea de 700 km este necesară asigurarea unei puteri efective a RF-

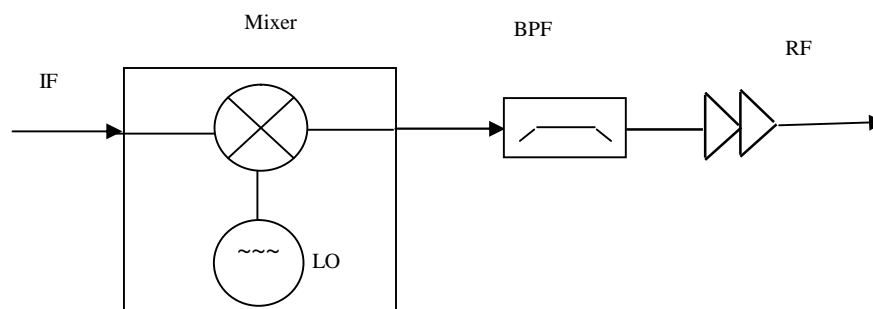


Fig.3. Bloc-diagrama up-convertorului SATUM

amplificatorului nu mai mică de 3 W. Aceste cerințe sunt satisfăcute, de exemplu, de dispozitivul ZWE-3W-83 produs de firma „Minicircuits”.

În final trebuie menționat că RF-semnalul este aplicat direct la intrarea antenei cu diagramă circulară.

4. Concluzii

Una din misiunile spațiale a nanosatelitului universitar SATUM este monitorizarea vizuală a Terrei. În lucrare, la nivel structural-funcțional, sunt descrise entitățile SATUM-modulului de captare, codare și transmisiune în timp real a imaginilor digitale. Conform sarcinii de proiectare au fost implementate hard și soft entitățile modulului. Fiecare entitate este asamblată pe o plachetă cu dimensiunile de 100×100 mm. Modulul poate funcționa cât în regim autonom atât și sub controlul computerului de bord SATUM.

Astfel, prototipul SATUM-modulului elaborat permite în timp real (cu perioada de o secundă) captarea imaginilor digitale de 4 megapixeli, codarea acestora contra erorilor și transmisiunea lor în banda ultra largă (80 MHz) de frecvențe nelicențiate (2400~2500 or 5725~5875 MHz) via modulația în fază. Următorii pași sunt testarea în ansamblu a prototipului elaborat și confecționarea produsului gata de lansare și executare a misiunii spațiale.

5. Referințe

1. Bodyan D.G., Bodyan G.K., Sorokin G.F., Shestakov T.V. Digital images processing and transmission in the university microsatellite // Microwave & Telecommunication Technology, CriMiCo 2009. 19th International Crimean Conference, Sevastopol, October 2009, pp. 334-335.
2. Șestacov T., Sorokin Gh., Costin Iu., Bodean Gh. Proiectarea sistemului de captare a imaginilor al microsatelitului universitar SATUM // The 3rd International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics, ICTEI-2010, Chișinău, May 20-23, vol. I., pp.399-404.