



Universitatea Tehnică a Moldovei

**Cercetarea eficienței softului
calculatoarelor de bord pentru familia de
nanosateliți "TUMnanoSAT"**

Student:

Alexei Martîniuc

Conducător:

conf.dr.ing. Nicolae Secrieru

Chișinău - 2019

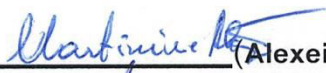
Ministerul Educației al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Programul de masterat „Sisteme și Comunicații Electronice”

Admis la susținere
Decanul facultății: conf. dr. ing. Pavel Nistiruic

” _ ” _____ 2019

**Cercetarea eficienței softului
calculatoarelor de bord pentru familia de
nanosateliți ”TUMnanoSAT”**

Teză de master

Masterand:  (Alexei Martiniuc)

Conducător:  (Nicolae Secieru)

Chișinău – 2019

CUPRINS

LISTA ABREVIERILOR.....	4
LISTA FIGURILOR.....	6
INTRODUCERE.....	8
1. PRELUCRAREA DATELOR ȘI COMENZILOR LA BORDUL NANOSATELIȚILOR.....	9
1.1. Mijloace hardware de colecție, stocare și prelucrare a datelor la bordul nanosatelitului TUMnanoSAT.....	9
1.1.1. Calculatorul de bord (OBC).....	9
1.1.2. Modulul de comunicareRF	11
1.1.3. Captorul de imagini digital	14
1.1.4. Sistemul de alimentare cu energie electrică (EPS).....	18
1.1.5. Sistemul de determinare și control a atitudinii (ADCS)	22
1.2. Sistemul de operare în timp real (RTOS).....	25
1.2.1. Thread-urile și planificarea rulării lor	25
1.2.2. Cozile de date	27
1.2.3. Semafoarele	28
1.2.4. Timer-e software	29
1.2.5. Notificări către thread-uri	30
1.3. Formularea problemelor de cercetare și proiectare	30
2. ANALIZA SURSELOR DE ERORI ȘI A RISCURILOR ASOCIATE LOR	32
2.1. Calculatorul de bord al nanosatelitului TUMnanoSAT.	32
2.2. Structura software-ului satelitului TUMnanoSAT.	33
2.3. Principalele surse de erori și vulnerabilitățile sistemului.....	36
3. ELABORAREA ALGORITMILOR DE DETECȚIE ȘI CORECȚIE A ERORILOR SOFT.	53
3.1. Elaborarea algoritmilor de detecție și corecție a coruperii imaginii binare a programului	53
3.2. Elaborarea algoritmilor de detecție și corecție a coruperii datelor din memoria RAM	58
3.3. Elaborarea algoritmilor de detecție și prevenire a efectelor SEFI	60

3.4. Metodici de testare a toleranței la erori a software-ului calculatorului de bord al nanosatelitului „TUMnanoSAT”	60
CONCLUZII	63
BIBLIOGRAFIE	65

INTRODUCERE

În ultimele două decenii numărul de nanosateți, în special de tipul CubeSat a crescut semnificativ. Această tendință se menține și în prezent, deoarece nanosateții reprezintă o alternativă simplă și ieftină pentru misiuni de importanță medie și joasă, cum ar fi misiunile educaționale. Costurile de proiectare, construire și lansare a nanosateților de tip CubeSat sunt cu mult mai joase decât în cazul sateliților artificiali convenționali. Prin urmare nu este de mirare că majoritatea misiunilor educaționale sunt bazate pe acest tip de nanosateți.

Costurile reduse de proiectare și construire a nanosateților de tip CubeSat se datorează utilizării componentelor COTS (Comercial Off-The-Shelf) în construcția lor, care nu sunt calificate pentru utilizarea în aplicații aerospațiale. Componentele special destinate pentru astfel de aplicații sunt foarte scumpe și sunt greu de achiziționat din cauza restricțiilor legislative și reglementărilor stricte privind exportul/importul lor, fiind clasificate ca mărfuri cu dublă destinație. Durata misiunii acestor nanosateți este de până la câțiva ani iar înălțimea orbitei lor este de 300 – 700 km (orbită joasă), ceea ce simplifică procedura de lansare. Toate aceste avantaje vin cu un preț: fiabilitatea redusă în comparație cu sateliții convenționali datorită utilizării componentelor necalificate pentru aplicații aerospațiale unde nivelele de radiație pot afecta grav integritatea subsistemelor nanosatelitului.

Prezenta lucrare efectuează o analiză amplă a efectelor radiației ionizante asupra principalelor componente ale calculatorului de bord al nanosatelitului TUMnanoSAT. Au fost identificate și analizate vulnerabilitățile sistemului la efectele induse de radiația ionizantă ținând cont de particularitățile arhitecturale ale procesorului. De asemenea, în baza analizei făcute au fost elaborate procedee, tehnici și algoritmi de detecție și corecție (acolo unde este posibil) a erorilor cauzate de efectele radiației cosmice ionizante asupra componentelor electronice cheie a calculatorului de bord. Întrucât microcontroller-ul calculatorului de bord nu are suficiente mecanisme hardware pentru a detecta de sine stătător erorile în program cauzate de coruperea memoriilor de către efectele radiației ionizante, toate tehnicile de detecție a acestora elaborate în această lucrare au fost implementate preponderent în software iar unde e posibil, au fost folosite componente hardware interne a microcontroller-ului pentru accelerarea algoritmilor elaborați și minimizarea impactului lor asupra performanței de calcul fără a pierde din eficiență. Aceste tehnici au fost aplicate în elaborarea software-ului calculatorului de bord a nanosatelitului TUMnanoSAT, proiectat și construit în cadrul Centrului Național Tehnologii Spațiale a Universității Tehnice a Moldovei.

BIBLIOGRAFIE

1. NICOLAIDIS, M. Soft Errors in Modern Electronic Systems. New York, Heidelberg, Dordrecht, London: Springer, 2011, 330p;
2. YIU, J. The Definitive Guide to ARM Cortex -M3 and Cortex M4 Processors, Third Edition. Cambridge, UK: Newnes, 2014, 1055p;
3. ARM® Cortex®-M4 Processor Technical Reference Manual, version r0 p1. UK: ARM Ltd, 2009, 108p;
4. DDI 0403E.d. ARM®v7-M Architecture Reference Manual. UK: ARM Ltd., 2018, 858p;
5. RM0090. Reference manual. STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm®-based 32-bit MCUs , rev. 18. STMicroelectronics, 2019, 1749p;
6. STM32F427xx STM32F429xx Datasheet, rev. 10. STMicroelectronics, 2018, 240p;
7. BARRY, J. Mastering the FreeRTOS™ Real Time Kernel. A Hands-On Tutorial Guide, 161204 Edition. Real Time Engineers Ltd. 2016, 399p;
8. uCAM-II Serial Camera Module Datasheet, rev. 1.4. 4D Systems Pty, 2015, 24p;
9. ENDUROSAT UHF Transceiver Type II User Manual rev. 1.6. Sofia : ENDUROSAT, 2019, 32p,
10. ENDUROSAT Electrical Power System (EPS) Datasheet, rev. 2. Sofia: ENDUROSAT, 2018, 23p;