

ӘОЖ 629.78

KAZSTSAT ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ БОРТТЫҚ КОМПЬЮТЕРІН ЭЛЕКТРМЕН ҚОРЕКТЕНДІРУДІ АВТОМАТТЫ ТЕСТІЛЕУ

Шымыр Манап Ермаханұлы

shymyrmanap07@gmail.com

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының

4-курс студенті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Ғылыми жетекшісі – С.Р.Есенғали

KazSTSAT – 2013 жылғы келісімшарт бойынша британдық SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd) компаниясының Қазақстан үшін құрастырған шағын ғарыш аппараты. Бұл ғарыш аппаратының жобасы ЖШС «Ғалам» (Қазақстан Ғарыш Сапары және Airbus Defence & Space кәсіпорындарының бірлескен ұйымы) және SSTL компаниясының инженерлерімен бірге әзірленген. Ол SSTL-X50 Earthmapper платформасына негізделген және SSTL SLIM-6 сенсорымен жабдықталған (рұқсаты 22 метр, түсіру ені шамамен 600 км). Сонымен қатар, Жерді қашықтықтан зондтау ғарыш аппаратында негізгі пайдалы жүктемеден бөлек қазақстандық инженерлердің әзірлеген пайдалы жүктемелер де орнатылған [1].

Қазақстандық инженерлер үшін KazSTSAT ғарыш аппаратын құрастырудағы мақсат – төменгі орбиталық ғарыш аппараттарын жобалау, құрастыру және сынау үшін ғылыми-технологиялық бағытта ғарыш жүйесін құру, Жердің ионосферасында ғылыми зерттеулер жүргізу және өзіндік әзірлемелердің ішкі жүйелерінің ұшу тарихын алу.

KazSTSAT жаңа SSTL-X50 платформасы жаңа топтамасының алғашқы жүзеге асырылған жобасы, ол келесі Fireworks буыны авионика жиынтығын қолданды және төмендегі жиынтықтарды қамтиды:

- Негізгі пайдалы жүктеме ретінде мультиспектральды бейнелердің кең спектрі.
- Борттық компьютерді демонстрациялаудың жаңа технологиясы (OBC-ARM).
- Дифракциялық шектен төменгі суреттерді қалыптастырғышпен зерттеу жүргізу.

Жаңа платформа құрылысы SSTL-ге борттық авионика жабдығының автоматтандырылған өндірісі мен сынау процестерінің артықшылықтарын пайдалануға, ғарыш аппараттарын тез құрастыру мен интеграциялауға, сондай-ақ тапсырыс берушілерге қысқа мерзімде және шығындары төмендетілген ғарыш аппараттарын жобалауға мүмкіндік

береді. Жаңа платформаның ұқсас платформалармен салыстырғандағы күтілетін артықшылықтары:

- Борттық компьютерде жүктеме деректерді сақтаудың көп сыйымдылығы.
- Интенсивті борттық өңдеу үшін, жұлдызды және GPS-бақылаудың кеңейтілген функцияларына қолданылатын борттық компьютер – OBCARM.
- Пайдалы жүктемені жоғары деңгейдегі қолдау.
- Пайдалы жүктеме үшін жоғары орбитадағы орташа қуат [2].

Әртүрлі көлемдегі платформалар жаңа авиониканы модульдерді қайта қолдану арқылы сыйымдылығын, компьютер және қуаттың мүмкіндігін арттырады. Осылардың біріншісі ЖШС «Ғалам» үшін жобаланған KazSTSAT-тың 50 кг салмақтағы "SSTL-X50" платформасы. Радиожиіліктік байланыс: телеметрия және телекомандаларды жіберу үшін S-диапазоны қолданылады. X-диапазонындағы тікелей байланыс пайдалы жүктемені 80 Мбит/с жылдамдығында жіберу үшін қолданылады, 256 ГБ кірістірілген деректер сыйымдылығы. Деректерді қысу коэффициенті: шығынсыз 2,5: 1, шығынмен 4 : 1.

KazSTSATSSO-A "Spaceflight" жобасының (жалпы 64 спутник) бір бөлігі ретінде 2018 жылдың 3-ші қарашасында (18:34:05 GMT) SpaceX компаниясының Falcon-9 Block 5 зымыран тасығышында Калифорниядан ұшырылған болатын [3].

1-кесте

KazSTSAT шағын ғарыш аппаратының сипаттамасы [3]

Ғарыш аппараттың массасы, қуаты	105 кг, ~35Вт
Ғарыш аппараттың қозғалысы	Ауытқу бұрышы 30°-қа дейін, 100 секундта 60°-қа бұрылу
ОBC (борттық компьютер)	OBC-ARM жаңа технологиясы
Борттық компьютер ΔV сыйымдылығы	> 16 м/с
Төмен жылдамдықты жүктеу деректерінің жылдамдығы	80 Мбит/с(X-диапазон)
Пайдалану мерзімі	5 жыл



1-сурет – KazSTSAT шағын ғарыш аппараты [3]

Жер серік өзінің жеке тапсырмасын орындайтын бірнеше ішкі жүйелерден тұрады. Жер серік борттыңдағы борттық компьютердің басты қызметі – түрлі ішкі жүйелер арасындағы байланысты қамтамасыз етеді. Физикалық тұрғыдан ішкі жүйелер түрлі модульдерге орналастырылады және олар мәліметтер шинасымен байланысуы қажет. Шағын ғарыш аппараттарында бос кеңістік шектеулі болғандықтан, кейбір ішкі жүйелер тікелей борттық компьютерге кірістірілген. Мұндай жағдайда физикалық байланысты бағдарламалық байланыс алмастырады, алайда ішкі жүйелер бір-біріне тәуелсіз қызмет жасап тұруы қажет. Осы талаптарды қанағаттандыру үшін бірнеше процесстерді бір уақытта жүзеге асыра алатын қуатты микропроцессор қажет. Кез келген ақауды ішкі жүйе басқа ішкі жүйелердің жұмысына кедергі жасамауы үшін, жұмыс жасап тұрған процесстер бір-бірінен оқшаулануы тиіс.

Соңғы жылдардағы екпін ғарыш кеңістігінде қолдануға жарамды компоненттерден, ғарышта жеткілікті сенімділікті қамтамасыз ету үшін оңай бейімделетін немесе оңай өзгертуге мүмкіндік беретін коммерциялық дайын жабдықтарға көшті. Бұл өзгертулер әдетте қателерді тексеру және оларды түзету үшін күрделіліктің қосымша деңгейін қамтиды, себебі бұл коммерциялық жабдықтар радиациялық қателерге бейім болады [4].

Ғарыш аппараттарында жүйелердің өздеріне қажетті энергиямен қамтамасыз ету үшін Күн энергиясына тәуелді, ал ғарыш аппараты Жердің қараңғы бетіне өткенде бұл жұмысты борттағы батареялар атқарады. Ішкі жүйелердегі процессорлар электрді үнемдейтін жүйесінің дамығандығы себебінен олар төмен қуаттағы энергияны қолданады. Борттық компьютерде ішкі жүйелерге және процесстерге қуаттың қажетті шамасы баруы маңызды. Сол себепті ғарыш аппаратын құрастыру барысында борттық компьютерге «Жабдықтық қызмет жасауы» сынағын жүргізеді. Бұл төмен деңгейлі функционалды сынақ OBCARM-ға тиісті жинауды және кейіннен модульдің дұрыс жұмысын жасауын қамтамасыз ету үшін өндіріс барысында және өндірістен кейін орындалады. Борттық компьютерлерді сынау екі бөлікке бөлінген: жабдықтарды бастапқы электрлі сынау және функционалды сынақ. Бастапқы және аппараттық сынақтар өндірістік процессте қателерді тексеру үшін жасақталған және жабдықтың құрамдас бөлік пен баспа сұлбасы деңгейінде екенін тексереді. Бұл сынақтар жаңа жабдыққа тек бір рет жасалады. Функционалдық сынақтар модульдің негізгі өнімділік талаптарын өлшеу үшін «ПЛИС» микробағдарламасын және тестілік бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдаланып, жоғары деңгейдегі сынақтардың жиынын қамтиды. Бұл сынақтар модульдің өмірлік циклінде тестілеудің әртүрлі кезеңдерінде дұрыс жұмыс істеуін растау үшін орындалады [5].

Кез келген электронды құрылғыны қосқанда немесе өшіргенде, құрылғыда ток күшінің секірістері болады. Ток күшінің секірістерінің уақыты өте жылдам болғандығынан ол қарапайым көзге байқалмайды. Сынау барысында ток күшінің секірістері электрондық құрылғыларға критикалық зақымдар келтіруі мүмкін. Біздің автоматты сынауымыз осындай жағдайды да ескерген. Сынақ осы ток күштерінің секірістері басылғаннан кейін ғана басталады. Егер де сынақ барысында секірістер болған жағдайда, сынаушы оператор ол туралы мәліметті көре алады. Осылайша біз өзіміздің автоматты сынау бағдарламамыздың сенімділігін арттырдық.

OBCCARM_test-2019-03-11.log — Блокнот

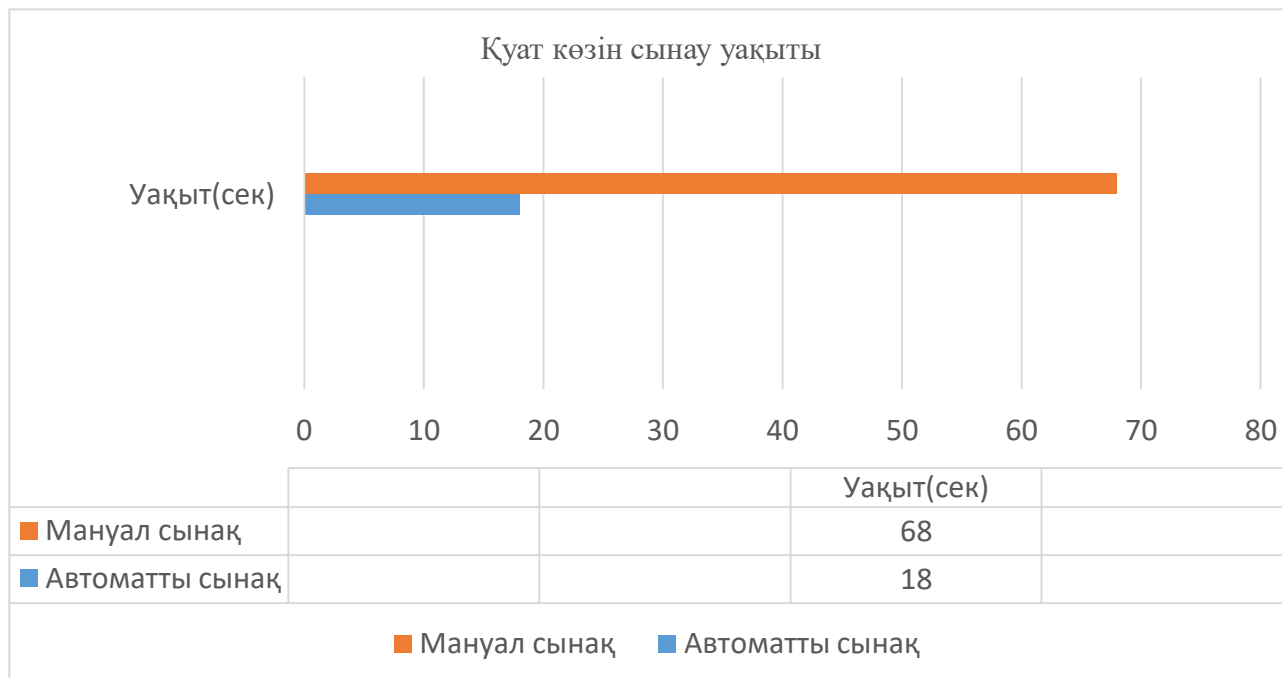
Файл Правка Формат Вид Справка

```

2019-03-11 12:19:14,192 - N6700: Successful connection to N6700B
2019-03-11 12:19:14,193 - root: N6700B_logger thread created
2019-03-11 12:19:14,303 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[-0.006515503, 0.01768253], currents:[-0.0002906322, -7.071532e-05]
2019-03-11 12:19:14,515 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[-0.006637573, 0.01761879], currents:[-0.0003345013, -8.195126e-05]
2019-03-11 12:19:14,727 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[-0.006334305, 0.01758262], currents:[-0.0002596378, -4.302757e-05]
2019-03-11 12:19:14,939 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[-0.006719589, 0.01763774], currents:[-0.0003855228, -9.393785e-05]
2019-03-11 12:19:15,151 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[-0.006759644, 0.01777578], currents:[-0.0002195835, -4.177261e-05]
2019-03-11 12:19:15,575 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[0.1093082, 0.01760696], currents:[0.1660788, -6.705243e-05]
2019-03-11 12:19:15,787 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[36.06773, 0.01767931], currents:[0.1660552, -7.307157e-05]
2019-03-11 12:19:15,999 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[36.06791, 0.01773549], currents:[0.1659987, -6.841216e-05]
2019-03-11 12:19:16,211 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99416, 0.01764074], currents:[0.1595001, -5.517015e-05]
2019-03-11 12:19:16,423 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99442, 0.0177286], currents:[0.1594162, -5.396642e-05]
2019-03-11 12:19:16,635 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99414, 0.01775789], currents:[0.1594708, -4.594121e-05]
2019-03-11 12:19:16,847 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99438, 0.01768898], currents:[0.1594691, -5.958416e-05]
2019-03-11 12:19:17,059 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99395, 0.01776405], currents:[0.1594234, -6.657466e-05]
2019-03-11 12:19:17,271 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99461, 0.01764863], currents:[0.1595237, -5.052378e-05]
2019-03-11 12:19:17,483 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99446, 0.01771237], currents:[0.1595347, -8.142181e-05]
2019-03-11 12:19:17,695 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99434, 0.01770204], currents:[0.1595912, -3.407151e-05]
2019-03-11 12:19:17,907 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99461, 0.01775716], currents:[0.1594708, -4.771492e-05]
2019-03-11 12:19:18,119 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.99414, 0.01760718], currents:[0.1594598, -4.974566e-05]
2019-03-11 12:19:18,331 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[35.9943, 0.0176313], currents:[0.1594617, -0.0001027137]
2019-03-11 12:19:18,543 - root: Power test at 36V: Passed
2019-03-11 12:19:18,755 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.245306, 0.0175934], currents:[-0.006802082, -9.187916e-05]
2019-03-11 12:19:18,967 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.2927818, 0.01765025], currents:[-0.006893158, -7.342082e-05]
2019-03-11 12:19:19,179 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.2108593, 0.01766575], currents:[-0.006920576, -6.218534e-05]
2019-03-11 12:19:19,391 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.2084198, 0.01767875], currents:[-0.0003452301, -7.440615e-05]
2019-03-11 12:19:19,603 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.1565647, 0.01763913], currents:[-0.0002009869, -2.825959e-05]
2019-03-11 12:19:19,815 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.1163235, 0.0175685], currents:[-0.0002138615, -9.687711e-05]
2019-03-11 12:19:40,304 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.08781242, 0.01770631], currents:[-0.0003433228, -3.227219e-05]
2019-03-11 12:19:40,516 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.06949425, 0.01780623], currents:[-0.0002448559, -5.955901e-05]
2019-03-11 12:19:40,727 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.05055753, 0.01781562], currents:[-0.0002675056, -5.937833e-05]
2019-03-11 12:19:40,939 - N6700: states:['0', '0'], voltages:[0.04711533, 0.01770709], currents:[-0.0003294945, -4.453119e-05]
2019-03-11 12:19:41,151 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[0.09671974, 0.01772776], currents:[0.1650646, -2.888171e-05]
2019-03-11 12:19:41,363 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[22.07039, 0.01778978], currents:[0.164948, -6.579887e-05]
2019-03-11 12:19:41,575 - N6700: states:['1', '0'], voltages:[22.00527, 0.01756845], currents:[0.1593039, -8.043554e-05]

```

3-сурет – Автоматты сынақтың нәтижелерді сақтаған түрі



1-диаграмма – Автоматты тестілеудің нәтижесі

Автоматты сынау нәтижесінде сынақ 10 секунд барысында жасалады. Бірнеше сынақ жасау арқылы сынақ нәтижелерінің дәлдігін жоғарыта аламыз. Зерттеу нәтижесінде сынақ уақыты 73%-ға қысқартылды және де сынақ нәтижелері сынақты орындаушыға қолайлы форматта файлдық документке сақталады. Автоматты сынақтың негізі келешекте

жоспарланған отандық KazSAT-2R жер серігі немесе басқа да жерді қашықтықтан зондтау жер серіктерінің борттық компьютерлерінің қуат көзіне сынау үшін жаңа автоматты бағдарлама жасау үшін қолданылатын болады.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. "SSTL signs contract for collaborative mission with Kazakhstan," SSTL, July 1, 2013 [Электрондыресурс]. - Қол жеткізу режимі: <http://www.sstl.co.uk/Press/SSTL-signs-contract-for-collaborative-mission-with>
2. Moldabekov M., Nurguzhin M., Ten V., Murushkin S., Lambert H., da Silva Curiel A., King D., Kadhem H., Taylor G., Sweeting M. "First results and next steps in Kazakhstan Earth Observation missions in cooperation with SSTL," 10th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation//Berlin, Germany, April 20-24, – 2015.
3. KazSTSAT (Kazak Science and Technology Satellite) [Электронды ресурс]. - Қол жеткізу режимі: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/k/kazstsat>
4. Barnard A. Feasibility of using an ARM Processor in a MicroSatellite On-board Computer, University of Stellenbosch, – 2001.
5. Grobler H. Aspects affecting the design of a low earth orbitsatellite on-board computer, University of Stellenbosch, – 2000.