ӘОЖ 89.25.21 **DOI 10.52167/1609-1817-2022-121-2-402-413**

Е.С. Нұрғизат[1], К.А. Алипбаев[1], Е.Сарсенбаев[2],
Т.Ж Калкабекова[1], Н.Т.Жетенбаев[1]
[1] Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан
[2] ЖШС Ғалам, Алматы, Қазақстан
E-mail: nursultan.zhetenbaev@mail.ru

БАСҚАРУДЫҢ БОРТТЫҚ КЕШЕНІНІҢ АРХИТЕКТУРАСЫН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада борттық басқару кешенінің (ББК) архитектурасын әзірлеу ұсынылған. Атап айтқанда, модульдің өзін әзірлеудегі аппараттық және схемалық шешімдер көрсетілген. Сондай-ақ, техникалық шешімдер, ББК механикалық орналасу тұжырымдамасы, қызметтер мен қосымшалар деңгейі, ұсынылған борттық модульдердің блок-схемалары талқыланады. ВРО-ның негізгі функциялары егжей-тегжейлі сипатталған, бұл өте кішкентай жасанды спутниктерді жобалауға және дамытуға көмектеседі. Бұл мақала борттық басқару кешенін қалай тиімді орнатуға және пайдалануға арналған шаблон ретінде қолданыла алады.

Түйінді сөздер. Нано спутник, ғарыш аппараты, борттық басқару кешені, архитектура, бағдарламанатын логикалық интегралды сұлба (БЛИС).

Кіріспе.

Спутниктік технологиялар бүкіл мемлекеттің әлеуметтік және экономикалық дамуында жаһандық маңызға ие, сондай-ақ әртүрлі елдердің ақпараттық-ғарыштық қамтамасыз ету жүйесін жоғары деңгейге көтеруге мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта ғарыштық технологияда кіші салмақты шағын өлшемдер мен компоненттерден тұратын кемелер дамып келе жатыр. Нано спутник салмағы 10 кг-нан аз шағын спутниктер класына жатады [1].

Шағын спутниктер аясында университеттерде білім беру, ғылыми және технологиялық мақсаттар үшін жасалған нано спутниктерді атап өткен жөн.

Мақалада нано спутниктің борттық кешенді басқарудың архитектурасын құру қарастырылады. ББК құру ұғымы мен тұжырымдамасы басқару мен бақылаудың борттық құралдарын жобалаудың жүйелі түрде жүргізу талаптарының бақылау мен тәжірибеде ҒА әр түрлі кластағы және мақсаттағы ұшуды басқару негізінде орындалады.

ББК ғарыш аппаратының қозғалысын басқаруға және борттық жабдықтың жұмыс істеуін басқаруға арналған ақпараттық және бағдарламалық қамтамасыз етуі бар аспаптар мен құрылғылардың жиынтығын білдіреді. ББК-нің негізгі міндеттері:

- ҒА қозғалысын басқару;
- навигация;
- қызметтік жүйелерді, конструкция элементтерін және мақсатты жабдықтарды командалық логикалық басқару;
- бақылау-диагностикалық ақпаратты жинау, өңдеу және талдау;
- жерүсті басқару кешенімен (ЖБК) және экипажбен өзара байланыс жасау.

Материалдар мен тәсілдер.

Жүйелік талдау-бұл жүйенің айнымалылары немесе элементтері арасындағы құрылымдық байланыстарды орнату бойынша әрекеттер тізбегі болып табылатын танымның ғылыми әдісі. Жалпы ғылыми, эксперименттік, жаратылыстану, статистикалық, математикалық әдістер кешеніне сүйенеді.

Ғарыш аппараттары архитектурасының элементтеріне объектіге-бағытталған талдау жүргізу барысында ғарыш аппаратының негізгі объектілері және олардың арасындағы өзара байланыс айқындалды, ғарыш аппараттарын басқарудың борттық кешені архитектурасының алгоритмдері салынды.

Нәтижелер және талқылау.

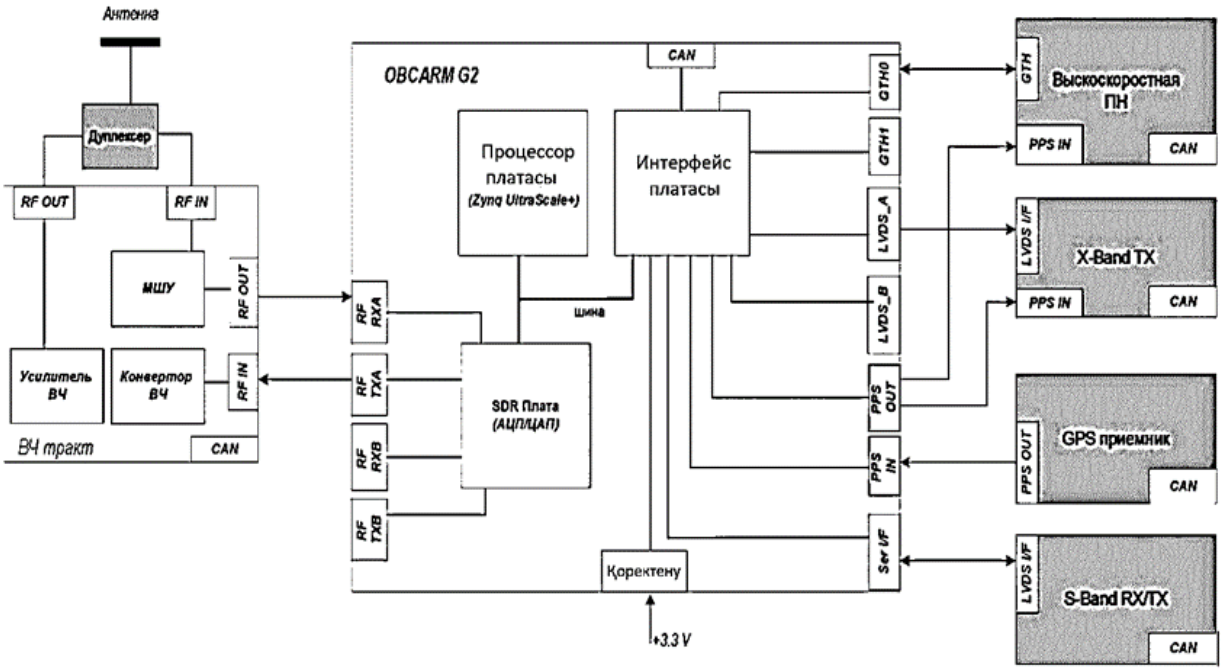
ББК аппараттық бөлігінің архитектурасын әзірлеу әдісі.

Бөлімде тиісті модульдер мен есептеу функциялары үшін ББК негізгі компоненттері туралы айтылады. 1-суретте жиынтықталған архитектура және ББК пайдалану диаграммасы көрсетілген. Борттық кешен баспа платалары түрінде ұсынылған 3 функционалдық модульден тұрады:

Процессорлық модуль - есептеу функциялары шоғырланған, сонымен қатар қызметтік ақпарат пен деректерді сақтау үшін жад модульдері орналасқан ББК негізгі компоненті;

SDR модуль – бұл радиожиілік сигналын кейінгі өңдеу үшін сандық пішінге, сондай-ақ тиісті радиожиілік диапазонында аналогтық сигналға түрлендіруге арналған тақт

Интерфейстік модуль – сыртқы интерфейстерді ББК-не қосуды қамтамасыз етуге арналған интерфейс тақтасы (жоғары жиіліктен басқа).



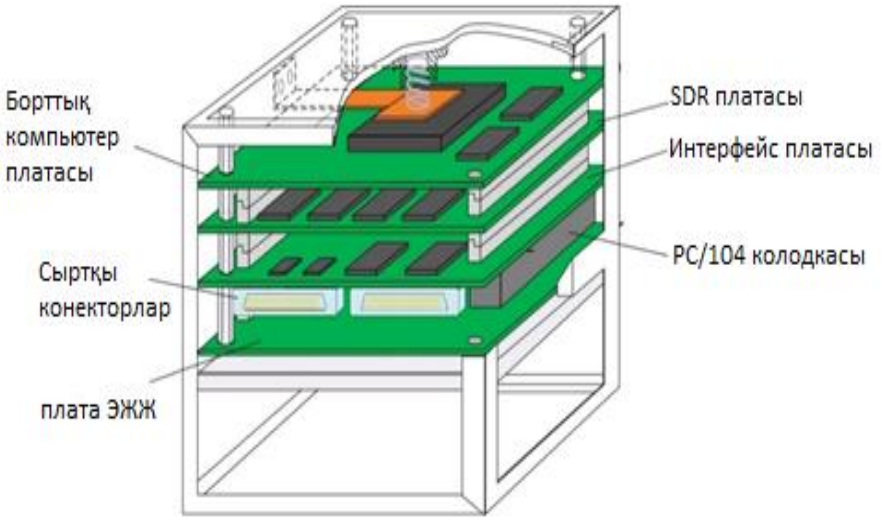
1 сурет – ББК пайдалану диаграммасы

Интерфейстерді анықтау кезінде келесі миссияларда тапсырмалардың кең класын шешу үшін әзірленген BCU қолдану ескерілді: жерді қашықтықтан зондтау, радарлық және ғылыми. 1-кестеде кез келген нано спутник платформалары мен CUBSAT жобалары үшін қолдануға болатын негізгі интерфейстердің тізімі берілген.

1 кесте – ББК интерфейстерін анықтау

Интерфейс	Сигнал түрі	Протокол	Саны	1 интерфейске беру жылдамдығы
LVDS I/O	LVDS33	Serial+Clock	32	622 Мбит/с
GTH трансивер	LVDS33	Serial+Clock	4	6 Гбит/с
CAN I/O	LVCMOS33	CAN SU2	2	500 Кбит/с
UART	LVCMOS33	Меншікті	4	115.2 Кбит/с
I2C	LVCMOS33	I2C	2	400 Кбит/с
SPI	LVCMOS33	SPI	2	25 Мбит/с
PPS I/O	LVDS33	-	4	1 Гц

Механикалық дизайн тұжырымдамасы 2-суретте көрсетілген және «сендвич» орналасуына негізделген CUBESAT тақталар көп деңгейлі құрылымды құрған кезде, Бірақ стандартты коннекторлардан айырмашылығы, STSAT жобасында борттық компьютердің алдыңғы моделінде қолданылған Razor Beam типтегі жоғары сенімді тақталар қолданылады.



2 сурет – ББК механикалық орналасу тұжырымдамасы

Борттық бағдарламалық қамтамасыз ету архитектурасы.

Борттық бағдарламалық қамтамасыз ету (ББҚЕ) архитектурасын әзірлеу процесінде бірнеше спутник өндірушілердің архитектуралық шешімдерін іске асыру нұсқалары зерделенді, сондай-ақ ғарыш аппараттары мен ББҚЕ әзірлеу саласындағы ғылыми дерек көздерден алынған ақпарат талданды.

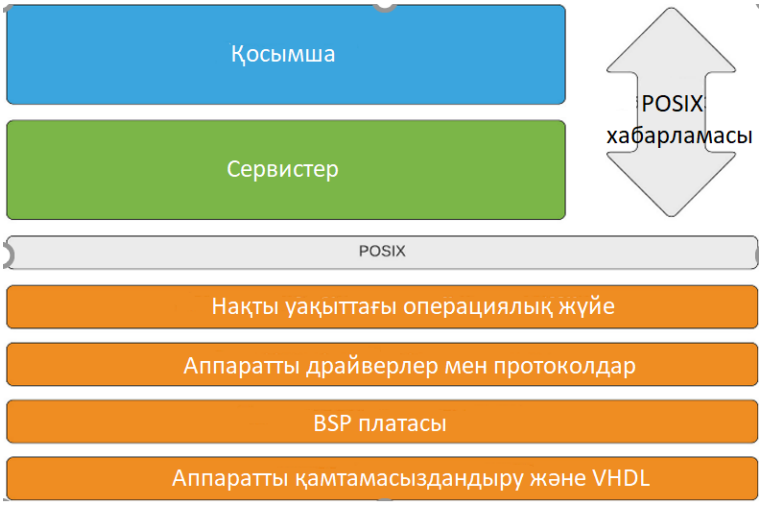
Ғарыштық аппараттардың ББҚЕ дәстүрлі архитектурасы үш негізгі деңгейді қамтиды: төмен немесе базалық БҚ деңгейі, сервистік деңгей және қосымшалар деңгейі

[2]. Базалық БҚ деңгейі нақты уақыттағы операциялық жүйеден (ОБРВ) және интерфейс құрылғыларының драйверлерінен тұрады. Сервистік деңгей - бұл деректерді өңдеу және есте сақтау қызметтерінің қабаты. Қолданбалы деңгейге жүйені басқару, ішкі жүйелерді басқару, сондай-ақ тиімді жүктемені басқару қосымшалары кіреді.

KazEOSat-1 [6] және KazSTSat [7] жерді қашықтықтан зондтау ғарыш аппараттарының борттық бағдарламалық қамтамасыз ету (ББҚЕ) архитектурасы, OBC750 борттық компьютер базасында негізгі құрылымға ие, [3] және [4] қарастырылған ББҚЕ дәстүрлі статикалық архитектурасына сәйкес келеді.

ББҚЕ-ді жобалау мен дамытуда кеңінен қолданылатын өте кішкентай жасанды жер серіктерінің құрылымы BrightAscension компаниясының generationOne үш негізгі қабаттан тұрады. Бұл ретте, әртүрлі ҒА тапсырмаларына, сондай - ақ әртүрлі платформаларға икемділікті және қолдануды сақтау мақсатында қабаттардың ББҚЕ дәстүрлі архитектурасынан айырмашылықтары бар: сервистік деңгей платформаны қолдау пакетінің (PlatformSupportPackage-PSP) деңгейімен үйлесімділікке арналған жүйелік компоненттер мен кітапханалардың қосымша блоктарын қамтиды. [8]

ББҚЕ жобалау бойынша талдау шешімдерінің нәтижелерін, сондай-ақ OBCARM әмбебап борттық компьютерін, KazSTSat ғылыми-технологиялық мақсаттағы ғарыш жүйесінің (ҒТН ҒЖ) технологиялық пайдалы жүктемесі бойынша әзірлеу тәжірибесін қолдана отырып, БКБ әзірлейтін аппараттық қамтамасыз етуді ескере отырып, 3-суретте ББҚЕ архитектурасы әзірленді.



3 сурет – Борттық бағдарламалық қамтамасыз ету (ББҚЕ) архитектурасы

Ұсынылған архитектура үш негізгі деңгейден тұрады: аппараттық және базалық бағдарламалық қамтамасыз ету деңгейі, сервистік (қызмет көрсету) деңгей және қолданбалы деңгей.

Қосымшалар деңгейі ғарыш аппаратының және миссияны басқарудың негізгі режимдерін орындайды, ҒА техникалық жай-күйін бақылау, кіші жүйелерді және FDIR жүйелік деңгейін басқару (істен шығуды анықтау, оқшаулау және қалпына келтіру). Платформаны қолдау және пайдалы жүктеменің жұмыс істеуі үшін борттық басқару процедуралары (OBCP) [5] жер үсті кешенінің операторларымен бұрын бортқа жүктеген сценарий файлдарын орындау арқылы ББҚЕ-мен өзара әрекеттесу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Сервистік деңгейі жалпы мақсаттағы деректерді өңдеу қызметтерін, сондай-ақ пакеттерді орталықтандырылған пайдалану стандарты (PUS) қызметтерін қамтиды [9].

Сонымен қатар, бұл деңгейге БКУ (I/O) тақталарына енгізу/шығару және CAN [10] сияқты байланыс шиналарына және кезектелген арналарға интерфейстер ұсынатын аппараттық контроллерлер кіреді.

Серверлік деңгейдегі бағдарламалық объектілер (CAN-сервер, деректерді жүйелі беру сервері және басқалары) байланыс хаттамаларын іске асырады, can шинасына, жүйелі порттарға және т. б. интерфейстерді ұсынады.

Бағдарламалық қамтамасыз етудің төменгі қабаты өзіне нақты уақыттағы операциялық жүйені (RTOS), борттық компьютердің аппараттық драйверлерін қосады, қос резервтік және енгізу-шығару тақталарын орталық прцессордың тақтасына қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Нақты уақыттағы операциялық жүйенің ядросы және тақтаны қолдау пакеті (BSP) борттық компьютердің бағдарламалық жасақтамасына (жоспарлау, хабарлама жіберу, тапсырмалар дипетсері және т.б.) негізгі қызметтерді ұсынады, сонымен қатар әртүрлі аппараттық модульдерге арналған интерфейстерді қолдайды.

Тақтаны қолдау пакеті (BSP) - ZynqUltraScale процессорлық модулі + аппараттық құрылғылары бар тақтада инициализация және ядромен қолдануы мүмкін, сондай-ақ құрылғы драйверлері қолдана алатын осы тақтаға қатысты процедураларды орындау үшін қолданылатын бағдарламалық жасақтама жиынтығы.

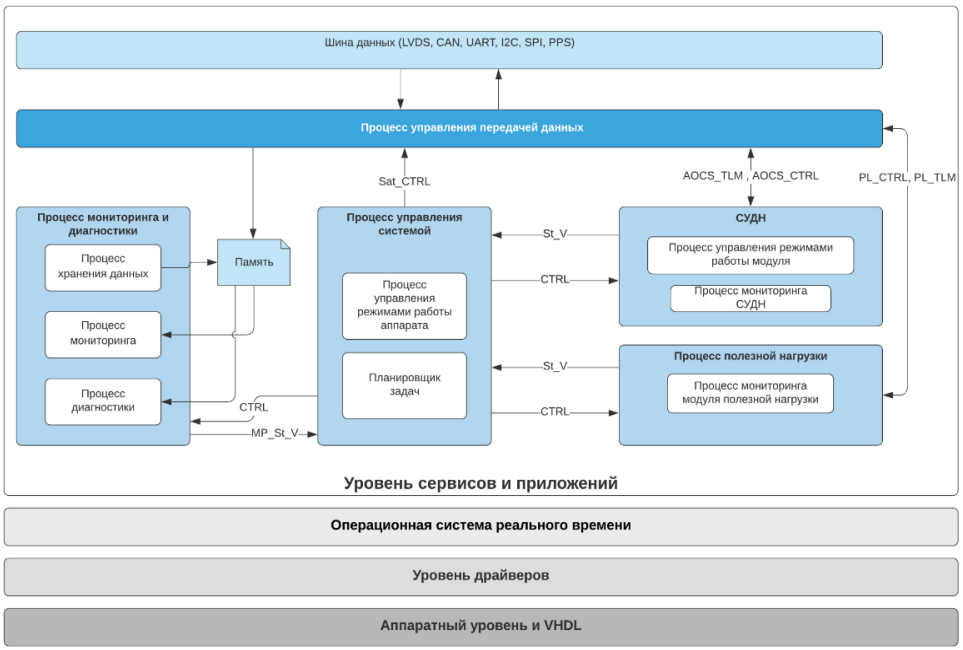
ОСРВ үстінде орналасқан ББҚЕ функционалды блоктары процессорлық өзара әрекеттесу үшін Posix хабарлама кезектерін пайдаланады. Сервистер, қызметтер және қосымшалар деңгейінің архитектурасы жүйені кеңейтуге мүмкіндік береді.

БКУ негізгі борттық бағдарламалық жасақтамасы қолданбалы процессор тақтасында орналасқан ZynqUltraScale+ SoC процессорлық модулінде жұмыс істейді және борттық компьютер/пайдалы жүктеме модулінің негізгі функционалдық міндеттерін орындайды.

ББҚЕ-дің негізгі функциясы Ғарыш-Жер хаттамаларын қолдана отырып, ҒА-ның жұмыс істеуін қолдау үшін басқару, бақылау және деректерді өңдеу, сондай-ақ келесі негізгі функцияларды:

- деректерді басқару және жердегі басқару мен бақылауды қолдауды;
- ҒА режимдерін басқаруды;
- Орбитаны бағыттау және бақылауды;
- платформаны басқаруды;
- пайдалы жүктемені бақылауды орындау болып табылады.

Бұл функцияларды орындау процестері негізінен қызметтер мен қосымшалар деңгейінде жүзеге асырылады. Қолданбалы деңгей мен қызмет деңгейінің кеңейтілген құрылымы бар ББҚЕ архитектурасы 4-суретте көрсетілген, мұндағы CTRL-басқару векторы, St_V-күй векторы, AOCS_TLM-СУДН телеметриясының векторы, AOCS_CTRL-СУДН басқару векторы, PL_CTRL-ПН басқару векторы, PL_TLM - ПН телеметриясының векторы, sat_ctrl-аппараттың ішкі жүйелерін басқару векторы, MP_St_V- аппараттың ішкі жүйелерінің телеметриясы векторы.



4 сурет - ББҚЕ архитектурасы. Қызметтер мен қосымшалар деңгейі

Жүйеде процестер деректерді енгізу/шығару, деректерді өңдеу/пішімдеу, хаттамалар ағымы және алгоритмдік элементтер негізінде функционалды блоктарға сәйкес топтастырылған. ББҚЕ нақты уақыт режимінде операциялық жүйеде болатын алдын-алу тетіктерін қолдана отырып, енгізу/шығару процестері үшін оқиғаларды басқаруға негізделген архитектураны қолданады, ал қосымшалар мен қызметтер жоспарлау слоттарында өздерінің басым топтары аясында жұмыс істейді.

ББҚЕ құрылғылармен байланысты ҒА (жұлдызды қондырғы, GPS қабылдағыш, транспондерлер, таратқыштар, пайдалы жүктеме құралдары және т.б.) деректер шинасы және тізбекті арналар (LVDS,CAN, I2C, PPS, UART, SPI) арқылы жүзеге асырады.

Телеметрия мен теле командаларды жермен алмасу PUS - PackageUtilization Standard [11] стандартына негізделген.

Борттық басқару кешенінің модульдерін әзірлеу кезіндегі схемотехникалық шешімдер.

Нәтижесінде функционалдық блоктар мен компоненттер деңгейінде схемотехникалық шешімдерді қалыптастыру бойынша жұмыстар жүргізілді. Алдыңғы бөлімдерде көрсетілгендей, BCU физикалық түрде ПХД түрінде ұсынылған 3 функционалды модульден тұрады:

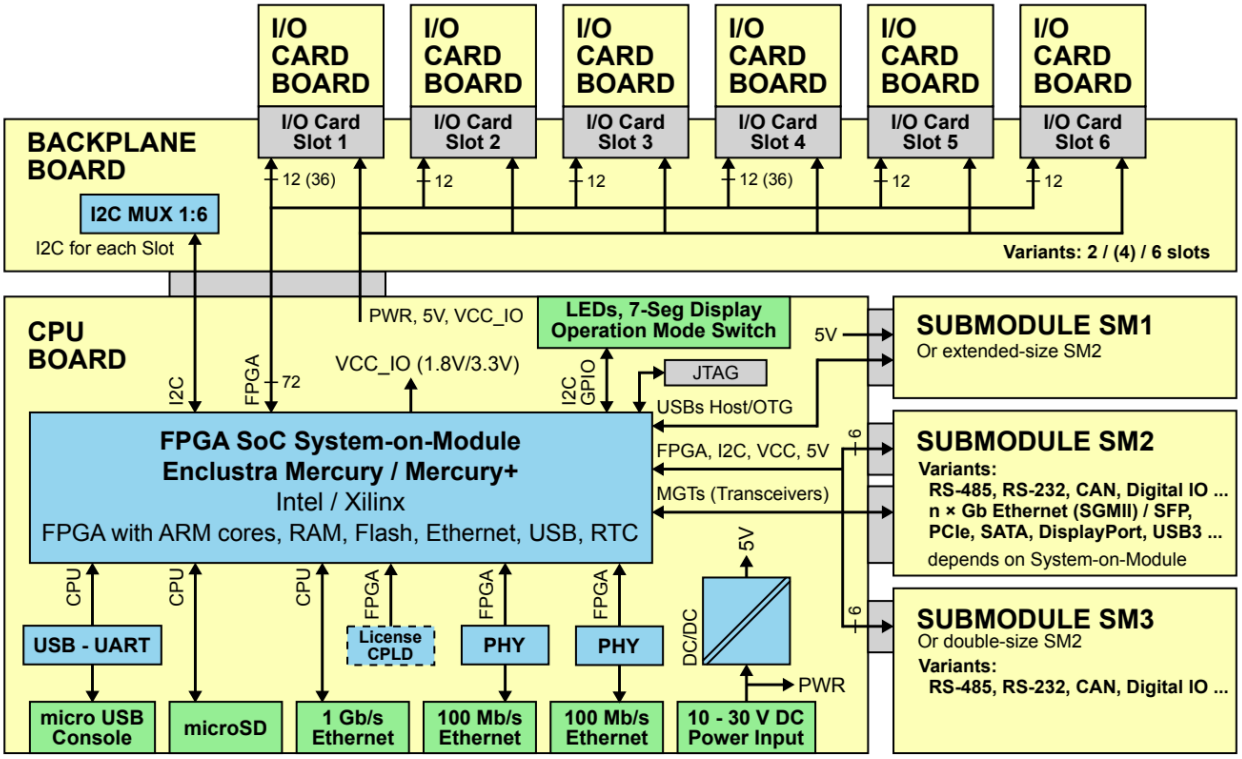
- процессор модулі;
- SDR модулі;
- интерфейс модулі.

Ұсынылған платформа қажетті енгізу-шығару интерфейстерінің түрлері мен саны бойынша ерекшеленетін көптеген қосымшаларда қолдануға арналған. Пайдаланушы белгілі бір бағдарлама үшін тиісті енгізу/шығару модульдерінің жиынтығын таңдауы керек. Немесе кеңейтілген енгізу-шығару қажет болмаған кезде, бірақ өте шектеулі кеңістікте қолданбаға бейімделген модульдердің өте аз жиынтығын қолданыңыз. Жоба қосымшаларын талдау және болашақ қосымшаларға арналған қосымшалардың иелері анықтаған функцияларды сұрау негізінде келесі компоненттерден тұратын аппараттық сәулет пайда болды-5-суреттегі диаграмманы қараңыз.

CPU тақтасы (орталық процессор):

-Кристалл, жедел жады, флэш-жады және негізгі периферияльық құрылғылары бар модульдегі жүйелік тақта;

- Қуат кірісі және DC/DC негізгі қуат түрлендіргіші;
- Ethernet және PHY Ethernet қосқыштары;
- Micro-USB коннекторындағы қызмет консолінің интерфейсі. Негізгі диагностикалық интерфейс (жарық диодтары, дисплей, режимдерді ауыстыру);
- MicroSD картасының ұясы.



5 сурет – Модульдік жабдықтың ұсынылатын құрылымдық схемасы

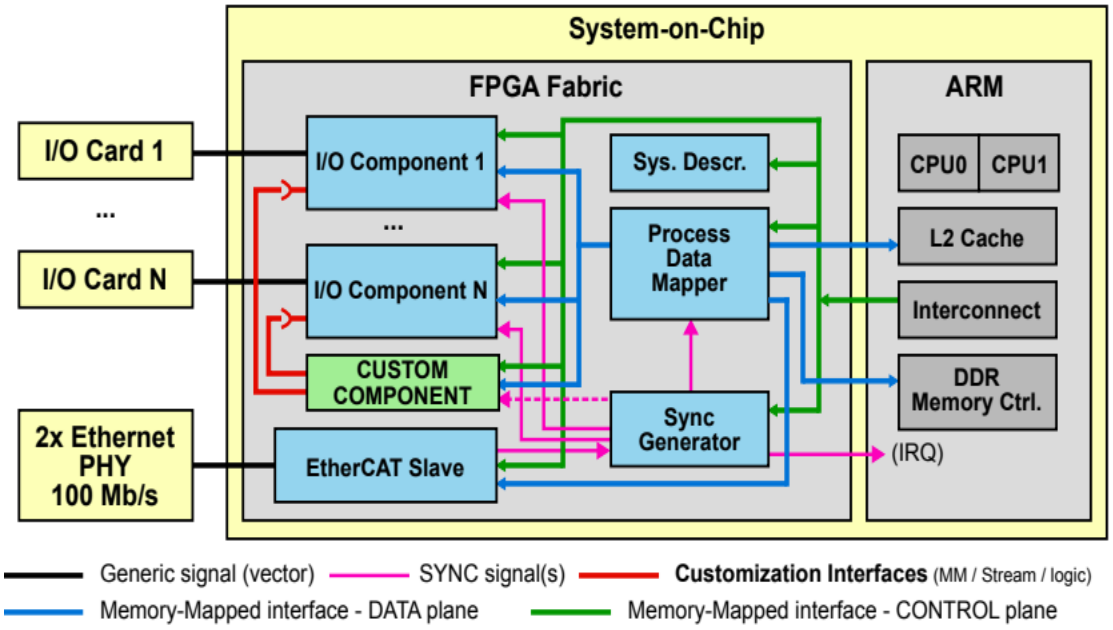
FPGA ішкі жүйесі.

Қажетті өнімділік пен икемділік деңгейі бар көптеген функциялар үшін FPGA-да іске асыру жалғыз таңдау болып табылады:

- Енгізу/шығару карталарына сигналдарды өңдеу, олардың үстінде процесс кескінінің деректерін абстракциялау. Қарапайым сандық кірістерден Аналогты-сандық түрлендіргіштер мен сандық сүзгілерді басқару.
- EtherCAT байланыс протоколы бойынша жоғарғы деңгейге қосылу. EtherCAT бағынышты контроллері FPGA-да ең жақсы өнімділікті қамтамасыз ету үшін жүзеге асырылады.
- Жеке кіріс/шығыс карталарының кескін процестері, EtherCAT процесінің суреттері және ARM процессорының ядроларында орындалатын нақты уақыттағы қолданбалы процестердің суреттері арасындағы мәліметтер алмасуды басқару.
- Жүйенің іріктеу уақытын бақылау. Жоғары өнімді кері байланысты Басқару қосымшаларында кіріс сигналдары мен сүзгілерді, байланыстарды, басқару және шығу алгоритмдерін таңдаудан бастап, кәсіпорын бойынша синхрондалған мерзімді циклде орындалуы керек.
- Қажет болса, қосымшаларға тән компоненттерді FPGA ішкі жүйесіне біріктіруге болады, ол мұндай тапсырма үшін қолайлы құралдарды қамтамасыз етуі керек. Әдеттегі

мысал - бірнеше сенсорлардың деректерін біріктіру және есептелген мәнді нөлдік кідіріспен «виртуалды сенсор» ретінде шығару.

FPGA жүйесі компоненттердің иерархиялық жиынтығы ретінде модельденеді (FPGA терминологиясындағы IP ядросы). Иерархияның жоғарғы деңгейі 6-суретте көрсетілген.



6 сурет – FPGA ішкі жүйесінің жоғарғы деңгейінің құрылымы

Жоғарғы деңгейдегі IP ядролары арасындағы желіаралық өзара әрекеттесудің бірнеше түрлері анықталған:

1. *Басқару жазықтығы* - нақты уақыт режимінде емес (инициализация, параметрлеу, диагностика) қызметтік байланысқа арналған, әр компонентте бір mm-Slave порты бар, барлығы ARM процессорындағы бір mm-Master портына қосылған.
2. *Деректер жазықтығы* - тек басқа кедергілерсіз нақты уақыт режимінде процестің маңызды деректерін беруге арналған. Әр компонентте әдетте бір (көп болуы мүмкін) MM-Slave порты болады.
3. *DATA жазықтығының орталық компоненті*-бұл бірнеше MM-Master порттары қосылған process Data Mapper IP ядросы (немесе өткізу қабілетін арттыру үшін оның бірнеше данасы): EtherCAT контроллеріне бағынатын компоненттік IP ядросының 1/0 данасы, ARM CPU L2 кэш порты. Әрбір енгізу/шығару компоненті сыртқы физикалық сигналдардың мәндерін - процесс деректерін білдіретін кіріс/шығыс регистрлерінің жиынтығын ұсынады.
4. *SYNC жазықтығы.* Жоғарыда сипатталғандай, деректерге байланысты барлық компоненттерді уақытша синхрондауға ерекше назар аудару керек. Біздің жүйеде барлық циклдік уақыт сипаттамаларын Sync GeneratorIP өзегі үйлестіреді, ол барлық бағынышты компоненттер үшін реттелетін уақытша сигналдарды ұсынады. Әдетте EtherCAT таратылған сағаттардан сыртқы сигналды синхрондау генераторы үшін негізгі сағат ретінде пайдалануға болады.

Басқарудың ішкі жүйесі.

Ұсынылған құрылғы аясында FPGA және нақты уақыт аймағынан тыс функционалды талаптардың маңызды жиынтығы бар, негізінен жүйенің өмірлік циклін басқару және өнеркәсіптік ортада қызмет көрсету, атап айтқанда:

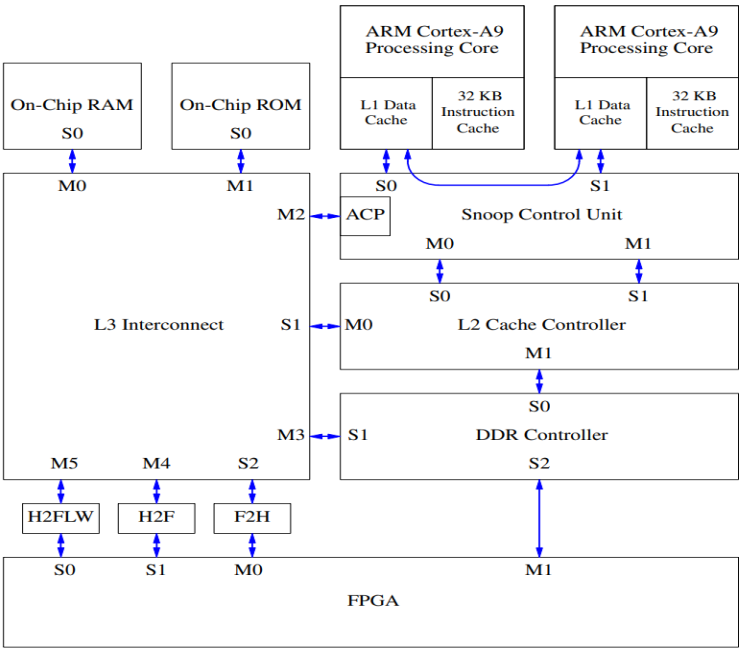
- жүйені іске қосу, конфигурация деректеріне сәйкес FPGA модульдерін баптандыру және конфигурациялау.
- бірнеше протоколдар бойынша микробағдарламаларды жаңарту (FPGA, нақты уақыттағы қосымшалар, жүйенің конфигурация деректері) (FoE-File over EtherCAT, HTTP, кейбір жағдайларда басқалары). Диагностикалық және көмекші деректермен, OPC UA немесе HTTP REST сияқты протоколдармен асинхронды (нақты емес, циклдік емес) алмасу.
- жоғары деңгейлі жүйесіз (немесе әлі конфигурацияланбаған) жылдам диагноз қою үшін пайдалануға болатын негізгі веб-интерфейс сияқты қосымша кеңейтімдер.

Бұл функциялар нақты уақыттағы доменге аз немесе аз байланысты, бірақ олардың көпшілігі файлдық жүйе, IP желілік стек немесе бірнеше тапсырмаларды жоспарлау сияқты операциялық жүйе ұсынатын қызметтерді қажет етеді немесе кем дегенде үлкен пайда әкеледі.

PREEMPT-RT бар Linux операциялық жүйесі басқару ішкі жүйесінің негізі ретінде нақты уақыттағы кеңейтім таңдалды. Ол біздің барлық Ios платформаларымызда жақсы қолдау көрсетеді және ашық бастапқы жобалардың кең экожүйесіне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Біздің сынақтарымызға сәйкес, ядро ішіндегі операциялар тривиальды тапсырмадан гөрі нашар жағдайда шамамен 100 мкс құрайды. Іс жүзінде бұл цикл уақытын шамамен 200 мкс-Тен қысқа етуге мүмкіндік бермейді.

Бұл мақалада негізінен қозғалысты басқару қосымшаларында жоғары сапалы 1/O деңгейлі сигналдарды өңдеуге арналған жаңа модульдік аппараттық платформаны ұсынылды. FPGA бағдарламаланатын логикасы мен бірнеше ARM CPU ядроларын біріктіретін заманауи жартылай өткізгіш System-on-Chip құрылғысымен біздің шешіміміз аппараттық жағынан өте қарапайым, сондықтан орташа сериялар шығаратын машиналарға ену үшін үнемді. Барлық деректерді өңдеуді, соның ішінде басқарылатын EtherCAT контроллерін бір чипке біріктіру арқылы деректерді кідірту минимумға дейін азайды.



7 сурет – Жоғары деңгейлі SoC Intel Cyclone V құрылымы

Қорытынды.

Бұл зерттеу нано спутниктің конструкциясын жасауға қойылатын болмашы талаптарға байланысты кіші ҒА-ы ғарышқа ұшыруды жеңілдетуге мүмкіндік береді.

FPGA бөлігінің архитектурасы EtherCAT fieldbus немесе басқа көзден алынған мастер-сағатпен деректерге байланысты барлық бөліктердің толық уақыт пен жиілікті синхрондауын қамтамасыз етеді. Process Data Mapper компоненті жұмыс уақытында икемді, конфигурацияланатын, енгізу-шығару интерфейстері, EtherCAT және арнайы ARM процессорының өзегінде жұмыс істейтін жергілікті басқару қосымшасы арасындағы процестің кескін құрамын қамтамасыз етеді.

RT кеңейтімі бар Linux операциялық жүйесі басқару мақсатында ARM CPU ядроларының бірінде қолданылады. Бұл бізге файлдық жүйе, TCP / IP стекі және қосымша шығындарсыз ашық бастапқы құралдар экожүйесі сияқты мүмкіндіктерді береді. Кеңейтілген диагностика және веб-сервер немесе OPC UA сияқты деректер интерфейстері Linux негізінде оңай құрылуы мүмкін. Linux жоспарлаған нақты уақыттағы тапсырмалардың негізгі шектеулерін жеңу үшін асимметриялық мультипроцессорлық тәсіл зерттелді және ішінара сыналды, онда бір процессор Linux кестесінен тыс нақты уақыт есептеулеріне толығымен назар аударады.

Қаржыландыру. Бұл зерттеуді «Ғарыш аппараттарын құру және басқару үшін отандық негізгі технологияларды әзірлеу және тестілеу» Қазақстан Республикасы Цифрлық даму, инновациялар және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігі, Аэроғарыш комитеті (BR109018/0221) қаржыландырады. AP130004/0222 бағдарламалық және конфигурацияланатын ПЛИС негізінде реактивті снарядтарды интеллектуалды басқарудың борттық кешенін жасау

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] D. Cahyono and A. Nugroho, «Design and realization camera controller for a Remote Sensing Payload of nanosatellite FPGA (Field Programmable Gate Array) system based», *2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, Istanbul, 2013, pp. 73-77, doi: 10.1109/RAST.2013.6581306.

[2] Малыгин Д. В. «Проектирование бортового комплекса управления для сверхмалых космических аппаратов на базе однокристальной ПЛИС», Космическое электронное приборостроение, Решетневские чтения-2013. С. 187-188.

[3] Spacecraft on-board real time software architecture for fault detection and identification December 2017 DOI:10.1109/ICCES.2017.8275379 Conference: 2017 12th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES) Ehab A. Omran, Wael A. Murtada, Ahmed Serageldin

[4] On-board software architecture in MTG satellite. Ralf Wenker, Cedric Legendre, Massimo Ferragutoz, Massimo Tipaldiy, Andreas Wortmann,Christian Moellmann, and Dirk Rosskamp. Conference Paper June 2017

[5] Tipaldi, M., Ferraguto, M., Ogando, T., Camatto, G., Wittrock, T., Bruenjes, B., and Glielmo, L., «Spacecraft autonomy and reliability in MTG satellite via On-board Control Procedures», IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace, 2015, pp. 155, 159.

[6] DZZ HR System Design Report, 2012

[7] 0241636_KazSTSAT Detailed Design Document (DDD)_v001.40_04Jan16

[8] Руководство пользователя GenerationOne Onboard Software, 2016.

[9] ECSS-E-70-41A: Ground systems and operations - telemetry and telecommand packet utilization," European Cooperation for Space Standardization, 2003.

[10] ISO 11898-3:2006, 2006.

[11] ECSS-E-ST-70-41C – Telemetry and telecommand packet utilization (15 April 2016) https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-70-41c-space-engineering-telemetry-and-telecommand-packet-utilization-15-april-2016/

[12] Speedgoat GmbH. «Speedgoat - real-time simulation and testing», [Online]. https://www.speedgoat.com/

[13] BiSS Association e.V. i.G. «About BiSS», [Online]. http://biss-interface. com/about-biss

[14] Intel Corporation. «INTEL SOC FPGAs», [Online]. https://www.intel. com/content/www/us/en/products/programmable/soc.html

[15] Xilinx Inc. «SoC Portfolio», [Online]. https://www.xilinx.com/products/ silicon-devices/soc.html

[16] Enclustra FPGA Solutions. «System-on-Chip Modules», [Online]. https: www.enclustra.com/en/products/system-on-chip-modules/.

Нұрғизат Еркебұлан, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан, n.ayapbergen@aues.kz

Алипбаев Куаныш, к.т.н., доцент, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан, k.alipbayev@aues.kz

Сарсенбаев Ербол, ЖШС «Ғалам» Нур-Султан, Казахстан

Калкабекова Томирис, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан, t.kalkabekova@aues.kz

Жетенбаев Нурсултан, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан, nursultan.zhetenbaev@mail.ru

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В данной статье представлена разработка архитектуры бортового комплекса управления (ББК). В частности, показаны аппаратные и схематические решения при разработке самого модуля. Также обсуждались технические решения, концепция механического позиционирования ББК, уровень обслуживания и приложений, блок-схемы предлагаемых бортовых модулей. Подробно описаны основные функции БПО, которые помогают проектировать и разрабатывать очень маленькие спутники. Данная статья может быть использована в качестве шаблона для эффективной установки и эксплуатации бортового комплекса управления**.**

Ключевые слова. Нано спутник, космический аппарат, бортовой комплекс управления, архитектура, программируемая логическая интегральная схема (БЛИС).

Nurgizat Yerkebulan, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, y.nurgizat@aues.kz

Alipbayev Kuanysh, Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, k.alipbayev@aues.kz

Sarsenbayev Yerbol, LLP «Galam» Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kalkabekova Tomiris, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, t.kalkabekova@aues.kz

Zhetenbayev Nursultan, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, nursultan.zhetenbaev@mail.ru

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF THE ON-BOARD MANAGEMENT COMPLEX

Abstract. In this article, it is proposed to develop the architecture of the on-board control complex (BCC). Hardware and circuit solutions in the development of the module itself are shown. They also discussed technical solutions, the concept of mechanical layout of the BBK, the level of services and applications, and the flowchart of the proposed onboard modules. The main functions of BPO are described in detail, which helps in the design and development of very small satellites. This article can be used as a template for how to effectively install and use the on-board control complex.

Keywords. Nano satellite, spacecraft, onboard control complex, architecture, programmable logic integrated circuit (Bliss).

****