

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Керимкулов Нургазы Бекболатович

«Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

 Е. Таштай

«30» 05 2024 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау»

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:



Н.Б. Керимкулов

Пікір беруші

Ғ.Дәукеев атындағы

Алматы Энергетика және

Байланыс университеті,

PhD, т.ғ.к., доцент

 М.М. Ермекбаев

«30» 05 2024 ж.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ, т.ғ.к., Электроника,

телекоммуникация және ғарыштық

технологиялар кафедрасының

қауым. профессоры

 Касимов Н.Б.

«30» 05 2024 ж.

Алматы 2024 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6B06201 Телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Е. Таштай

« 30 » желтоқсан 2023 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Керимкулов Нургазы Бекболатович*
Тақырыбы «*Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау*»

Университет ректорының «04» желтоқсан 2023 ж. №548-П бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2024 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Интернет заттарының тұжырымдамасы; 2) 802.11 ah хаттамасы; 3) Интернет заттарының жүйелік моделі; 4) Корреляциялық өңдеу алгоритмі.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Интернет заттары жүйелерінде берілетін деректер көлемін азайту әдістерін талдау; б) Корреляциялық сигналды өңдеу тәсілдерін талдау; в) Импульстік сипаттама параметрлеріне байланысты корреляциялық әдістің сипаттамаларын зерттеу; г) AggreGate жүйесінің бөлігі ретінде соңғы құрылғыдағы корреляциялық өңдеу әдісінің параметрлерін жақсарту жолдарын зерттеу

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 1) M. Aazam, P. P. Hung, and E.-N. Huh, “Smart gateway based communication for cloud of things,” in *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (IEEE ISSNIP '14)*, IEEE, April 2014. 2) S. Su, Y. Sun, X. Gao, J. Qiu, Z. Tian “ A Correlation-Change Based Feature Selection Method for IoT Equipment Anomaly Detection”, *Applied sciences* 2019, 9(3), 437. 3) Шахтарин, Б.И. *Обнаружение сигналов: учеб. пособие для вузов — 3-е изд., испр. — Москва: Горячая линия – Телеком, 2015. — 465 с.* 4) A.V.Oppenheim, R.W.Schafer, J.R. Buck,

“Discrete-Time Signal Processing”, Hardcover, 2nd ed., Prentice Hall, 1998 USA: pp. 746–753.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСТЫ (ЖОБАНЫ) ДАЙЫНДАУ

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2024 - 01.02.2024	Орындалды
Теориялық ақпарат	01.02.2024 - 01.03.2024	Орындалды
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2024 - 30.05.2024	Орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	Касимов А. О. ЭТЖҒТ каф.аға қауым. профессоры, т.ғ.к.	01.03.2024	
Теориялық ақпарат	Касимов А. О. ЭТЖҒТ каф.аға қауым. профессоры, т.ғ.к.	01.03.2024	
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы, т.ғ.м.	28.05.2024	

Ғылыми жетекшісі

Касимов А.О.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

Керимкулов Н.Б.

Күні «22» желтоқсан 2023 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста ұсынылған IoT жүйесінің моделі құрылғылардың сипаттамаларын және жалпы жүйенің байланыс арналарының шектеулі өткізу қабілетін ескере отырып, сенсорлардан бұлтқа деректерді таратудағы кідірістерді сипаттауға мүмкіндік береді. Ұсынылған сигналды өңдеу әдісі соңғы құрылғылардың шектеулі есептеу қуатын ескере отырып әзірленген. Қажетті аппараттық ресурстардың сүзгілер тәртібіне тәуелділігі анықталады. Жүйе сыйымдылығының әдістің жылдамдығы мен дәлдігіне әсері анықталған, бұл жобалау кезінде әдістің аппараттық ресурстарға дәлдігі мен дәлдігі арасындағы теңгерімді табуға және таңдауға мүмкіндік береді. Соңғы құрылғыларда корреляциялық өңдеуді пайдаланудың ең жақсы тиімділігіне қол жеткізу үшін желілік протоколдарға қойылатын талаптар ескеріледі.

Практикалық маңызы алынған нәтижелер IoT жүйелерінде және ең алдымен өнеркәсіптік заттар жүйелерінде берілетін ақпарат көлемін азайту болып табылады. Датчиктермен жасалған жоғары жылдамдықты деректер ағындарын талдау үшін салыстырмалы түрде төмен жылдамдықты байланысты пайдалана отырып, NB-IoT, ZigBee немесе Bluetooth сияқты танымал Интернет заттары негізінде құрылған салыстырмалы түрде төмен қуатты IoT жүйелерінің ресурстарын пайдалануға болады. Арналар, желілік инфрақұрылымды алмастырмай, нәтижелердің маңыздылығын іске асыру актілерімен расталады.

АННОТАЦИЯ

Модель системы IoT, представленная в дипломной работе, позволяет охарактеризовать задержки в передаче данных от датчиков в облако с учетом характеристик устройств и ограниченной пропускной способности каналов связи системы в целом. Предлагаемый способ обработки сигнала разработан с учетом ограниченной вычислительной мощности конечных устройств. Определяется зависимость необходимых аппаратных ресурсов от порядка фильтров. Установлено влияние емкости системы на скорость и точность метода, что позволяет при проектировании находить и выбирать баланс между точностью и точностью аппаратных ресурсов метода. Для достижения наилучшей эффективности использования корреляционной обработки на конечных устройствах учитываются требования к сетевым протоколам.

Практическое значение полученные результаты заключаются в уменьшении объема информации, передаваемой в системах IoT и, прежде всего, в системах промышленных веществ. Используя относительно низкоскоростную связь для анализа высокоскоростных потоков данных, генерируемых датчиками, можно использовать ресурсы относительно маломощных систем Интернета вещей, созданных на основе популярных Интернет вещей, таких как NB-IoT,

ZigBee или Bluetooth. Каналы, без замены сетевой инфраструктуры, значимость результатов подтверждается актами реализации.

ANNOTATION

The IoT system model presented in the thesis allows us to characterize delays in data transmission from sensors to the cloud, taking into account the characteristics of devices and the limited bandwidth of communication channels of the system as a whole. The proposed method of signal processing is designed taking into account the limited computing power of end devices. The dependence of the necessary hardware resources on the order of filters is determined. The influence of the system capacity on the speed and accuracy of the method is established, which makes it possible to find and choose a balance between the accuracy and accuracy of the hardware resources of the method when designing. To achieve the best efficiency of using correlation processing on end devices, the requirements for network protocols are taken into account.

The practical significance of the results obtained is to reduce the amount of information transmitted in IoT systems and, above all, in industrial substances systems. Using relatively low-speed communication to analyze high-speed data streams generated by sensors, it is possible to use the resources of relatively low-power Internet of Things systems based on popular Internet of Things, such as NB-IoT, ZigBee or Bluetooth. Channels, without replacing the network infrastructure, the significance of the results is confirmed by the acts of implementation.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Интернет заттар жүйесіндегі ақпаратты өңдеу әдістерін талдау	9
1.1 Интернет заттар жүйелеріне шолу	9
1.2 IoT жүйелерінің архитектурасы мен мәселелерін талдау	11
1.3 Интернет заттары жүйелердегі жіберілетін деректер көлемін азайту әдістерін талдау	17
1.4 Дипломдық жұмыстың мақсаты мен міндеттері	25
2 Интернет заттардында жіберілген және сақталатын мәліметтер	26
2.1 IoT жүйесінің моделі	26
2.2 Корреляциялық сигналдарды өңдеу тәсілдерін талдау	27
2.3 Соңғы құрылғы үшін корреляциялық өңдеудің әдісі мен алгоритмін құру	32
3 Корреляциялық өңдеу әдісінің параметрлері жақсарту жолдарын зерттеу	43
3.1 Корреляция әдісінің сипаттамаларын зерттеу	43
3.2 Бит тереңдігі мен импульстік жауап ұзындығының әсерін зерттеу	45
3.3 Корреляция әдісінің параметрлерін жақсарту жолдарын зерттеу	51
4 Соңғы құрылғыда деректерді өңдеуді жүзеге асыру	59
4.1 Коррелятордың құрылымы	59
4.2 Коррелятордың параметрлері	61
4.3 Корреляторды іске асыру	64
Қорытынды	71
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	74

КІРІСПЕ

«Интернет заттары» термині алғаш рет 1999 жылы бір-бірімен немесе сыртқы ортамен өзара әрекеттесу үшін кіріктірілген құралдармен және технологиялармен жабдықталған физикалық объектілер («заттар») арасындағы деректерді беру желісі ретінде енгізілген [1]. IoT жүйелерінің тағы бір кең таралған атауы - сымсыз сенсорлық желілер (WSN). 2021 жылы трафик көлемі айына 278 экзабайт болады деп болжануда. «Ақылды үйлер», «Ақылды қалалар», «Ақылды автомобильдер», «Заттардың өнеркәсіптік интернеті» сияқты концепциялар орныққан заттардың интернеті құрылғылары мен жүйелері трафиктің өсуіне елеулі үлес қосуда [2]. Нәтижесінде деректерді беру, өңдеу және сақтаумен байланысты проблемалар туындайды. Бұл мәселелерді шешу үшін әртүрлі ғылыми және практикалық тәсілдер бар.

Есептеу тәсілдері мен архитектурасы бойынша IoT жүйелері екі полярлыққа бөлінеді - бұлтты есептеу және Edge/Fog есептеуі. Бірінші жағдайда барлық ақпарат жинақталады және бір орталыққа – бұлтқа беріледі, онда өңделеді және шешімдер қабылданады. Екінші жағдайда деректерді өңдеудің бір бөлігі аралық құрылғыларда орындалады деп болжанады.

Концентраторлар немесе соңғы құрылғылар, яғни желінің шетіне жақынырақ. Айта кету керек, бұлтты есептеулер саласына арналған зерттеулердің саны әлдеқайда көп, бұл тарихи түрде соңғы 15 жылдағы серверлік жүйелердің қарқынды дамуымен байланысты. Тікелей аралық құрылғыларда және әсіресе соңғы құрылғыларда (сенсорда) сигналдарды өңдеуді зерттеуге қатысты бағыттар аз дәрежеде ұсынылған. Бұл факт заттар Интернетінің соңғы құрылғылары мен жүйелерінің түбегейлі шектеулеріне, сондай-ақ талаптардың сәйкессіздігіне байланысты. Ең алдымен, құрылғылар мүмкіндігінше арзан болуы керек, автономды, ықшам және сонымен бірге аз қуат тұтынуы керек. Бұл талаптар соңғы құрылғылардың жұмысын шектейді.

Бұлтта барлық деректерді жинау және одан әрі өңдеу парадигмасы басым, бұл тасымалдауды, өңдеуді және сақтауды қажет ететін деректер көлемінің ұлғаюына әкеледі. Дегенмен, бұлттық парадигманы жүзеге асыру мүмкін емес немесе ең болмағанда қиын ететін қосымшалардың көп саны бар, әсіресе нақты уақытта жұмыс істегенде және соңғы құрылғылармен жасалған деректердің айтарлықтай көлемімен. Бұл зерттеушілерді деректерді өңдеудің және IoT жүйелерінің архитектурасын құрудың жаңа әдістерін іздеуге мәжбүр етеді.

1 Интернет заттар жүйесіндегі ақпаратты өңдеу әдістерін талдау

1.1 Интернет заттар жүйелеріне шолу

Интернет-заттар (IoT) концепциясы желіге қосылған және тікелей немесе делдалдар арқылы ақпарат алмасатын құрылғылар жиынтығына негізделген. Соңғы құрылғылармен жасалған деректер бұлттық қоймаға жіберіледі, онда олар сақталады, өңделеді және визуалды түрде көрсетіледі. Ақпараттың соңғы пайдаланушысы - адам. Архитектуралық тұрғыдан алғанда, IoT жүйелері сенсорлар, модемдер, хабтар, серверлік деректерді өңдеу жүйелері және визуализация құралдарының жиынтығын қамтиды. Бұрын сымсыз сенсорлық желілер (WSN) атауы белсенді түрде қолданылды, ол сымсыз арна арқылы хабқа (қақпа, базалық станция) қосылған сенсорлық құрылғылардың жиыны туралы айтты. IoT жүйелерінің ерекшелігі қолданбалы секторлар бойынша кең жұмыс аймағы болып табылады. Мысалы : өнеркәсіп, көлік, медицина, автомобильдер, смарт үйлер, ақылды қалалар. Желілік трафиктің көлемі үнемі өсуде, [2] трафиктің өсуі туралы нақты және болжамды деректер ұсынылған. Іс жүзінде 2021 жылы трафик көлемі айына 278 экзабайттан асты. «Ақылды үйлер», «Ақылды қалалар», «Ақылды автомобильдер», «Заттардың өнеркәсіптік интернеті» концепциялары тамырға енген «Интернет заттары» құрылғылары мен жүйелері трафиктің өсуіне елеулі үлес қосуда және қоса бермек.

IoT жүйелерін толығырақ қарастырайық. Жүйелердің негізгі компоненттері:

1. Модуль - бұл сенсорды, байланыс модулін және жетекті қамтитын құрылғы. Сенсор деректерді қабылдау үшін, байланыс модулі сымды немесе сымсыз арналар арқылы басқа құрылғылармен деректер алмасу үшін қолданылады. Жетек - клапанды өшіру сияқты белсенді әрекеттер үшін пайдаланылатын қосымша құрылғы. Модуль соңғы құрылғы болып табылады.

2. Gate (концентратор) – ұялы байланыс жүйелеріндегі базалық станциямен ұқсастық бойынша жұмыс істейтін құрылғы (жұлдыз топологиясына қатысты). Қақпа бір жағынан соңғы құрылғылармен, екінші жағынан платформамен байланысады. Сонымен қатар, платформамен және соңғы құрылғылармен байланыс хаттамалары, әдетте, олар әртүрлі болады.

3. Жады сақтау (платформа) – ақпаратты қабылдау құрылғылары мен деректерді сақтау жүйесі (SDS) бар ақпарат агрегаторы. Іс жүзінде платформа бағдарламалық-аппараттық кешен болып табылады. Платформа талаптары құрылғылардың көптігін ескере отырып, соңғы құрылғылар мен хаттамаларды анықтайды.

4. Аналитикалық жүйе - Платформаның бағдарламалық бөлігі болып табылады және шын мәнінде жеке элемент болып табылады. Сонымен қатар, ол сызықтық және машиналық оқыту функционалдық болуы мүмкін. Аналитикалық жүйе адаммен тікелей әрекеттеседі (басқарушы персонал, техникалық персонал) арнайы жұмыс үстелінде – бақылау тақтасында

көрсетілетін негізгі сипаттамалар мен көрсеткіштерді визуализациялайды. Аналитикалық жүйенің негізгі сипаттамасы әртүрлі бөлімдердегі және әртүрлі кезеңдегі көрсеткіштерді қарастыру кезінде есеп беру жылдамдығы болып табылады.

5. Сервис сыртқы интерфейс, 1-4 құрамдас бөліктердің техникалық сипаттамалары негізінде әлеуетті соңғы пайдаланушыға ұсынылатын функциялар мен қызметтер жиынтығы. Қызмет көрсету сапасы (QoS, SLA) жүйенің техникалық сипаттамаларына тікелей байланысты, соның ішінде архитектуралық мүмкіндіктер.

6. Байланыс арналары – соңғы құрылғылар мен платформа арасындағы. Тасымалдау ортасына байланысты олар сымды немесе сымсыз болуы мүмкін. Жүйенің архитектурасына байланысты соңғы құрылғылар, соңғы құрылғылар мен концентраторлар, концентраторлар мен платформалар арасында арналар болады.

IoT жүйелерінің негізгі компоненттерін ескере отырып, жүргізіліп жатқан зерттеулердің келесі негізгі бағыттарын бөліп көрсетуге болады (1.1-кесте):

Кесте 1.1— Зерттеудің бағыттары

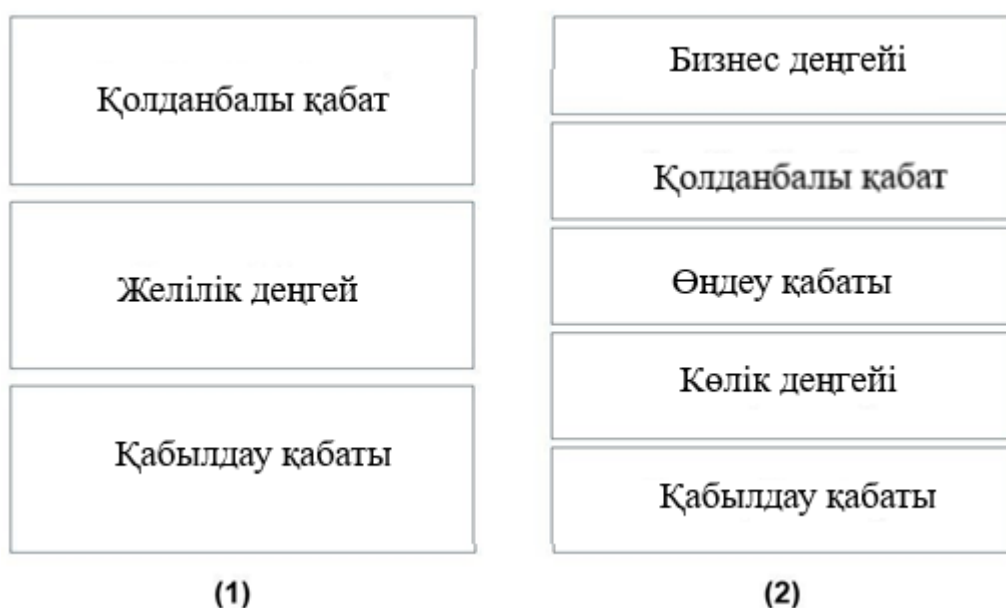
Сенсорлар
Медициналық, экологиялық, биосенсорлар, радио тегтер, киілетін құрылғы сенсорлары - камералар, қозғалыс сенсоры, магнитометр, микрофон, орын
Қолданбалар (қолдану өрістері)
смарт үйлер, ақылды қалалар, автомобильдер, көлік, денсаулық сақтау, өнеркәсіп, био және агротехнологиялар
Коммуникациялық арналар мен технологиялар
Сымсыз, сымды
Протоколдар
маршруттау
қатынасты басқару
энергияны басқару
Алдын ала өңдеу және өңдеу
алдын ала
алынған мәліметтерді нақты өңдеу
Енгізілген бағдарламалық құрал
қауіпсіздікті басқару, деректер қорын басқару жүйелері (ДҚБЖ), қолданбалы функцияларды қолдау (жасанды интеллект, бейнебақылау)

Бірқатар аумақтардың қиылысатын жерлері бар, дегенмен аудандардың әрқайсысы үшін жеке зерттеулер жүргізіледі.

1.2 IoT жүйелерінің архитектурасы мен мәселелерін талдау

IoT жүйелерін сипаттау үшін әртүрлі архитектуралар қолданылады, олар ақыр соңында жүйенің өнімділігін, сондай-ақ бүкіл жүйені масштабтау және тиімді басқару мүмкіндігін анықтайды.

Көбінесе басқаларға қарағанда үш деңгейлі модель [3]-[5] немесе бес деңгейлі модель [3] - [6] қолданылады (1.1-сурет). Үш қабатты архитектура қабылдау деңгейлерін қамтиды, желі және қолданбалар. Оның үстіне бұл архитектуралар OSI базалық үлгісі сияқты бүгінгі күні де өзектілігін жоғалтқан жоқ.



1.1-сурет - Үш деңгейлі архитектура (1) және бес деңгейлі (2)

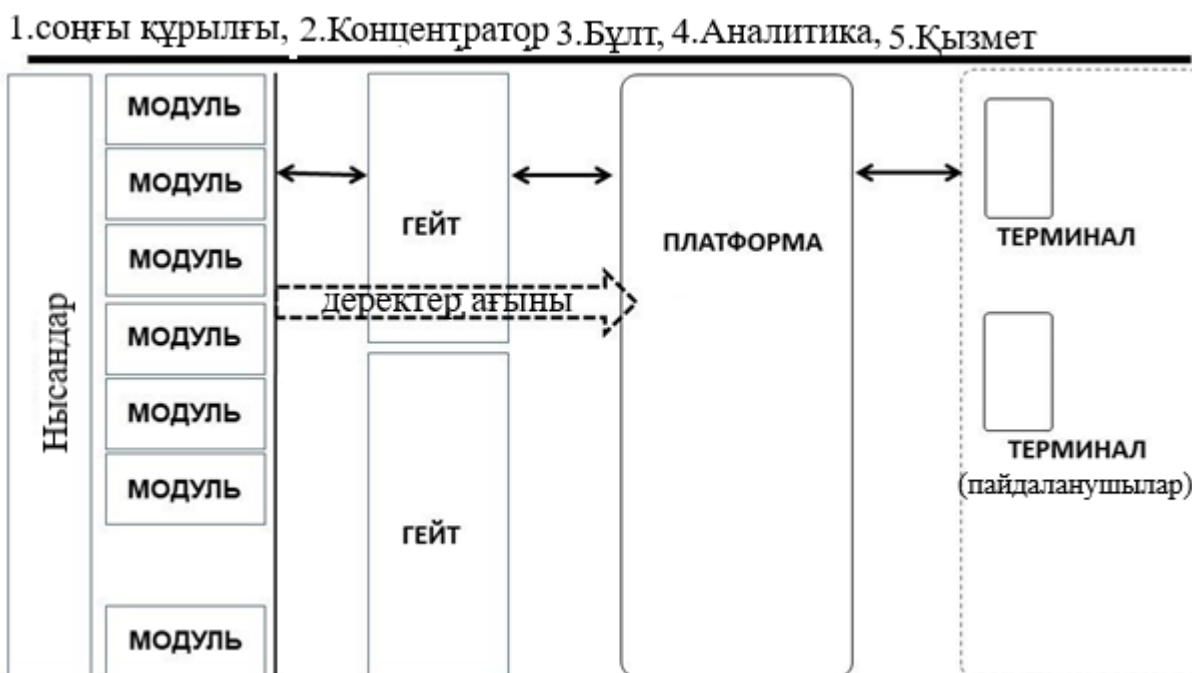
Үш деңгейлі модель архитектураларды сипаттау кезінде қолданылған [15]. Бес деңгейлі модельдің айырмашылығы Бизнес деңгейі (бизнес деңгейі) мен өңдеу деңгейінің (өңдеу қабаты) болуы. Сонымен қатар, бизнес деңгейі барлық IoT жүйесін, соның ішінде негізгі деңгейлерді және пайдаланушы құпиялығын басқарады.

Wang мен Ning [7] басқа архитектураны ұсынады және адамдардың ойлау, сезіну, есте сақтау, шешім қабылдау және физикалық ортаға (сыртқы әсерлерге) жауап беру қабілетіне байланысты жүйенің интеллектпен қамтамасыз етілгенін білдіреді.

Есептеу қуатының локализациясы бойынша архитектуралар Cloud, Edge және Foggy болып жіктеледі [8]. «Тұманды есептеу» (Тұман) архитектурасы қызық [10] - [13]. Бұл терминді алғаш рет Cisco ұсынған және ашқан. Оның ерекшелігі физикалық және көлік деңгейлері арасында бақылау, алдын ала өңдеу, сақтау және қауіпсіздік деңгейлерінің болуы болып табылады. Бақылау деңгейі негізгі физикалық деңгейден алынған параметрлерді басқаруға жауап

береді. Алдын ала өңдеу деңгейінде алдын ала сүзгілеу, талдау және деректерді өңдеу жүзеге асырылады. Сақтаудың келесі деңгейі - алдын ала сақтау. Әрі қарай, қауіпсіздік деңгейінде қажетті қауіпсіздік деңгейін қамтамасыз ету үшін деректерді шифрлау-дешифрлау орындалады. Осылайша, бақылау және алдын ала өңдеу деректер бұлтқа жіберілмес бұрын да жүзеге асырылады. Жалпы, «Тұманды» және «Шекара» архитектураларының негізгі ұқсастықтары бар. Шындығында, Fog Computing Edge Computing тапсырмаларын жергілікті желінің бөлігі болып табылатын процессорларға жібереді, осылайша олар жетектер мен сенсорлардан физикалық түрде алысырақ болуы мүмкін [14].

Құрылғы тұрғысынан қолданбалы талдау үшін 1.2-суретте көрсетілген архитектура қолайлы.



1.2- сурет – Дискретті құрылғыларды есепке ала отырып, Интернет заттар жүйесінің архитектурасы

Архитектура 1.1-сурет блоктарында көрсетілген барлық деңгейлерді ескереді, бірақ негізінен IoT жүйесінің негізін құрайтын негізгі құрылғылармен жұмыс істейді.

Бұл архитектура деректер көзі болып табылатын физикалық құрамдас бөліктерге (соңғы құрылғылар), аралық құрылғылар – хабтарға, платформаға және соңғы пайдаланушыларға арналған деректерді визуализациялау құралдарына негізделген. Құрамдас бөліктер мен деректер ағыны арасындағы байланыс арналары бөлек бөлектелген, бұл негізгі деректер ағыны соңғы құрылғылардан бұлтқа бағытталғанын білдіреді. Жалпы жағдайда әрбір зерттелетін объект үшін [1...k] Модульдер мен Гейтс бар. Жоғарыда сипатталған

архитектураларды және олардың құрамдастарын ескере отырып, негізгі мәселелерді жүйелеуге болады.

1) Бірінші мәселе қосымшалардың үлкен саны үшін генерацияланған деректердің шамадан тыс көлеміне байланысты [15], әсіресе заттардың өнеркәсіптік интернеті және жабдықты сынау саласында. Мысалы, General Electric компаниясының азаматтық кемелерге арналған ең қуатты ұшақ қозғалтқышының сенсорлары – GE90 жұмыс істегеннен кейін 2 сағат ішінде 6 ТБ-дан астам мәліметтерді жасайды [16]. Ұшақ қозғалтқышында 250-ге дейін сенсор болуы мүмкін. Басқа дереккөздерге сәйкес [17], қос қозғалтқышты ұшақ 12 сағаттық ұшуда 844 ТБ-ға дейін деректерді шығара алады. Сондай-ақ мұндай көлемдерді сақтау және жинақтау дұрыс емес сияқты. Дегенмен, өнеркәсіптік деректерді талдау қажеттілігі анық.

Ақпараттың құндылығы I_c (А.А.Харкевич ұсынған термин) қосымша ақпарат алған кезде мақсатқа жету ықтималдығының өзгеруі:

$$I_c = \log p_1 - \log p_0 \quad (1.1)$$

Қайда p_0 - мақсатқа жетудің бастапқы (осы ақпаратты алғанға дейін) ықтималдығы; p_1 -осы ақпаратты алғаннан кейін мақсатқа жету ықтималдығы. Егер алынған ақпарат мақсатқа жету ықтималдығын өзгертпесе, онда $p_1 = p_0$, және $I_c = 0$ [18]. Яғни, пайдалануға болмайтын ақпараттың мәні нөлге тең.

Интернет заттар жүйелерінің құндылығы ақпаратты қабылдау, жинақтау және талдау, заңдылықтарды уақытында (соның ішінде нақты уақытта) анықтау және ұсыныстар жасау мүмкіндігінде жатыр. Дегенмен, бұлтты есептеулерге арналған желінің өткізу қабілеттілігі уақытты сезіну [19]-[21] және нақты уақыттағы өнімділік IoT жүйелерінің қажеттіліктерін қанағаттандыра алмайды.

Сонымен қатар, энергияны тұтынуға арналған жұмыстарда [22]-[26] бұлтты тәсілдің нақты уақыттағы жүктемені басқаруда, өткізу қабілетінде елеулі кемшіліктері бар екені атап өтіледі. Сондықтан, қарастырылатын мақсатты мәселе жіберілетін және сақталатын деректер көлемдерінің артықтығын азайту, сондай-ақ датчиктерден бұлтқа деректерді өңдеу және жеткізудегі кідірістерді азайту мүмкіндіктерін зерттеу болып табылады.

2) Екінші мәселе - Интернет құрылғылары мен жүйелерінде қолданылатын хаттамалардың, ең алдымен сымсыз байланыстардың біркелкі болмауы. 700-ден астам IoT протоколдары белгілі [27], олардың ішінде ең танымалы ZigBee (IEEE 802.15.4), Z-Wave, LoRa, Bluetooth (BLE), Wi-Fi (IEEE 802.11/802.11ah), NB-IoT, ұялы байланыс желілерінде жұмыс істейді. Сонымен қатар, пайдалану жағдайлары мен экономикалық орындылығына байланысты талап етілетін міндеттерді оңтайлы шешу қажеттілігіне байланысты жүздеген меншікті хаттамалар әзірленіп, қолданылуда.

3) Үшінші мәселе - автономдылықтың максималды дәрежесі бар ондаған, жүздеген және миллиондаған арзан құрылғылар [28] желісін басқару мен қолдауды орталықтандыру қажеттілігі. Бұған құрылғылардың күйін бақылау,

бағдарламалық құралды (БҚ) және микробағдарламаны жаңарту, төтенше жағдайларды талдау және қауіпсіздікті басқару кіреді [29, 34]. Бұл мәселе күрделі және оны аккумуляторсыз құрылғылар мен технологияларды (Energy Harvesting), арнайы деректерді беру және өңдеу протоколдарын қолдану арқылы шешуге болады. Бұл көптеген деңгейлерде қабылдағыштар мен таратқыштарды оңтайландыру қажеттілігін тудырады (радио жолдар, басқару элементтері). Интернет заттарының ең танымал радиотехнологиялары үшін [30] - [32] сипаттамалары 1.2 кестеде жүйеленген.

Кесте 1.2 – Интернет заттар хаттамаларының негізгі сипаттамаларын жүйелеу

Параметр/Прот окол	Сымсыз дәлдік / (802.11ah)	Зигби	Z-толқыны	BT	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT
Жиілік диапазоны, ГГц	2,4/5(0,9)	0,8/0,9/2,4	0,8/0,9	2.4	0,43/0,8/0,9	0,8/0,9	0,8/0,9/1,8
Сызықтың ені	20/40 МГц (2 МГц)	2 МГц	300-400 кГц	1-2 МГц дюйм 80 МГц	125 кГц	200 кГц	200 кГц
Тасымалдау жылдамдығы	1/10/54/300 / 600 Мбит/с (347 Мб/с - 100 Кб/с)	20/40/250 Кб/с	9,6–40 - 100 Кб/с	1-3 Мбит /с	300 байт/с–50 Кб/с	100/600 байт/с	250–20 Кб/с
Қуат TX (макс.)	20 дБм (20 дБм)	< 20дБм	0дБм	20дБм	14-27дБм	14-22дБм	20-23дБм
TX режимінде тұтынылатын қуат, Вт	1–3 (<0,5)	< 0,1	< 0,1	0,1–0,4	< 0,25	< 0,3	< 0,7
Ауқым	100 м (1 км)	100 м+	< 100 м	10 м	1–20 км (50)	1–20 км (50)	~3 км (18)
Шифрлау	Иә, WPA2	Иә, AES	Иә, AES S2	Иә, AES	Иә, AES	Иә, AES	Иә, XTEA
Желідегі құрылғылар саны	отыз (1000+)	65000	232	7	100000+	100000+	100000
Желілік топология	Ағаш/жұлдыз (Ағаш/жұлдыз)	жұлдыз/тор/p2p/ағаш	жұлдыз / тор	ағаш	жұлдыз	жұлдыз	жұлдыз

Жүйелерді жобалау кезінде негізгі шектеулерді ескеру қажет. Атап айтқанда, ақпарат теориясы шекаралық шарттар болып табылатын шектеулерді сипаттайды және мақсаттық функцияны құру кезінде ескерілуі керек. Сонымен, қосымша ақ Гаусс шуы бар арна үшін Шеннон формуласы [1] бойынша сыйымдылық:

$$C = F \log \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right), \quad (1.2)$$

мұндағы F – жиілік диапазоны, Гц; P_s – сигнал қуаты, Вт; P_n – шудың күші, В.

Алынған сигналдың қуаты таратқыш қуаты мен жоғалту көрсеткіші арасындағы айырмашылыққа тең [5], ол өзгереді (таралу жағдайларына байланысты әртүрлі модельдер сипатталады - ашық кеңістікте, ғимараттардың ішінде, қалада және т.б.).

$$P_r(d)[dBm] = P_t[dBm] - PL(d)[dB] \quad (1.3)$$

Кесте 1.3– Байланыс арналарының негізгі параметрлері және Интернет объектілері жүйесінің құрылғылары

Параметр	Параметрлерді нөмірлеу	Салмақ коэффициенті
Жиілік диапазоны	X1	A1
Ауқым	X2	A2
Радиациялық қуат	X3	A3
Топ	X4	A4
Жылдамдық	x5	A5
Энергияны тұтыну	X6	A6
Деректерді қабылдау/беру қарқындылығы	X7	A7

Тәжірибеде заттар Интернет жүйесінде қабылданған сигналдың күші RSSI мәнімен (қабылданған сигнал күші көрсеткіші) көрсетіледі - қабылданған сигнал деңгейінің көрсеткіші, ол әлсіреуіне әсер ететін барлық факторларды толығымен ескереді. Таралу кезіндегі сигнал сондықтан (1.3) өрнек үшін пайдаланылатын үлгілерді талдаудың орнына RSSI пайдалану керек. F1 мақсаттық функциясы үшін қайта кодтау кестесін пайдалану арқылы алуға болатын параметрдің нормаланған мәндері маңызды.

Сонда мақсаттық функцияны келесідей көрсетуге болады:

$$F_1 = X_1A_1 + X_2A_2 + X_3A_3 + X_4A_4 + X_5A_5 + X_6A_6 + X_7A_7 \quad (1.4)$$

немесе түсінікті болу үшін салмақ коэффициенттері бар бірдей параметрлерді топтастыру арқылы:

$$\begin{cases} B_1 = X_1A_1 + X_2A_2 + X_3A_3 \\ B_2 = X_4A_4 + X_5A_5 \\ B_3 = X_6A_6 + X_7A_7 \end{cases} \quad (1.5)$$

1.3-кесте негізінде.

Сонымен қатар, оңтайландыру мәселесі көп критерийлі болып табылады және жеке талаптар бір-біріне қайшы келуі мүмкін. Мақсаттық функцияны пайдалануға негізделген бұл әдісті және шын мәнінде Интернет желісінің моделін қолдану нәтижесінде бірқатар енгізу параметрлерін, соның ішінде қолданбалы жағдайды орнату кезінде сенімді түрде мүмкін болады. IoT жүйесін құру үшін параметрлердің оңтайлы диапазонын анықтау [8]. Есеп сызықтық бағдарламалау әдісімен шешіледі. Меншікті хаттама жағдайында вариация үшін бірқатар параметрлерді оқшаулауға, оңтайландыруды орындауға және қажетті мәндердің диапазондарын алуға болады.

Мысалы, Wi-Fi 802.11g/n/ac стандарттар тобына негізделген ақпаратты тасымалдау технологиясы ретінде бейне ағыны сияқты «ауыр мазмұнды» тасымалдауға ыңғайлы, бірақ стандарт ауқым шектеулерін анықтайды. Технология жолақты ескере отырып, автономияны шектейтін салыстырмалы түрде жоғары қуат тұтынуымен сипатталады. Сондықтан Wi-Fi 5-10 км қашықтықтағы далалық қолданбалар үшін жарамсыз, ал LongRange типті хаттамалар көбірек қолданылады, бұл өз кезегінде қысқа қашықтықтарға, жоғары деректерді беру жылдамдығына және жоғары жылдамдықты қолданбаларға жарамайды. Ақпарат алмасудың қарқындылығы. IoT үшін арнайы Wi-Fi түрі бар - 802.11ah, бірақ ол нарықта 802.11n/ac сияқты дистрибуцияны әлі алған жоқ.

4) Төртінші мәселе – желілердің, құрылғылардың және деректердің қауіпсіздігі. Мысалы, қауіпсіздік мамандары IoT құрылғыларына жасалған шабуылдар туралы мақала жариялады [4]. Жұмыс соңғы құрылғыларға шабуылдарға арналған, соның арқасында соңғысы сенімсіз деректерді платформаларға жібереді. Ал платформалар, өз кезегінде, әрқашан деректерді дұрыс түсіндіре алмайды, нәтижесінде жүйенің реттеу құралдарына дұрыс емес әсерлер жасалады. Сарапшылар шабуылдың мысалын көрсетті [6], соның арқасында температура сенсоры -800 C температураны «бекітті», ол абсолютті нөлден төмен.

Осылайша, 10 жыл бұрын зерттеулерде сипатталған, бірақ салада жойылмай, тек өсіп келе жатқан бірқатар мәселелер тізімделді. Зерттеуге болатын IoT жүйелерінің ұсынылған мәселелері радиотехника (іске асыру, сигналдарды өңдеу) және байланыс желілері саласына қатысты. Бұл құжатта ақпараттық қауіпсіздік проблемалары айтылған, бірақ қарастырылмаған.

Өз кезегінде, бар проблемалар мен мүмкіндіктерді ескере отырып, Интернет желісінің архитектурасын, деректерді өңдеу әдістерін дамытуға және нарықта сұранысқа ие сенімді, жылдам, басқарылатын және арзан жүйелерді құруға мүмкіндік береді.

1.3 Интернет заттары жүйелердегі жіберілетін деректер көлемін азайту әдістерін талдау

IoT жүйелерінде берілетін деректер көлемін азайту әдістеріне қатысты зерттеулерді толығырақ қарастырайық. М.Аазам, П.П.Хунг және Е.-Н. Нuh [7] бұлтты есептеулерге назар аударумен байланысты қиындықтарды сипаттайды, ал қорытынды тұман (Fog) және шет (Edge) сияқты таратылған есептеу тәсілдері соңғы қолданбаларға байланысты ықтималырақ тиімдірек болуы мүмкін екенін түсіндіреді.

IoT жүйелері үшін ең жиі қолданылатын тәсілдер SR дискретизация жылдамдығын басқару арқылы ағын жылдамдығын бейімдеу және деректер ағынын қысқарту (соның ішінде қысу мен біріктіру; корреляциялар және т.б.), олар толығырақ қарастырылады. Бұл ағын жылдамдығы процесс барысында алынған қосымша кірістерге сәйкес және мониторинг негізінде бейімделуі мүмкін. Белгілі бір уақыт аралығында елеулі өзгерістер байқалмаса, сынама алу жиілігін алдағы кезеңге азайтуға болады, ал керісінше оқиға анықталса, іріктеу жиілігі артады [8]. Тәсілдерді толығырақ қарастырайық:

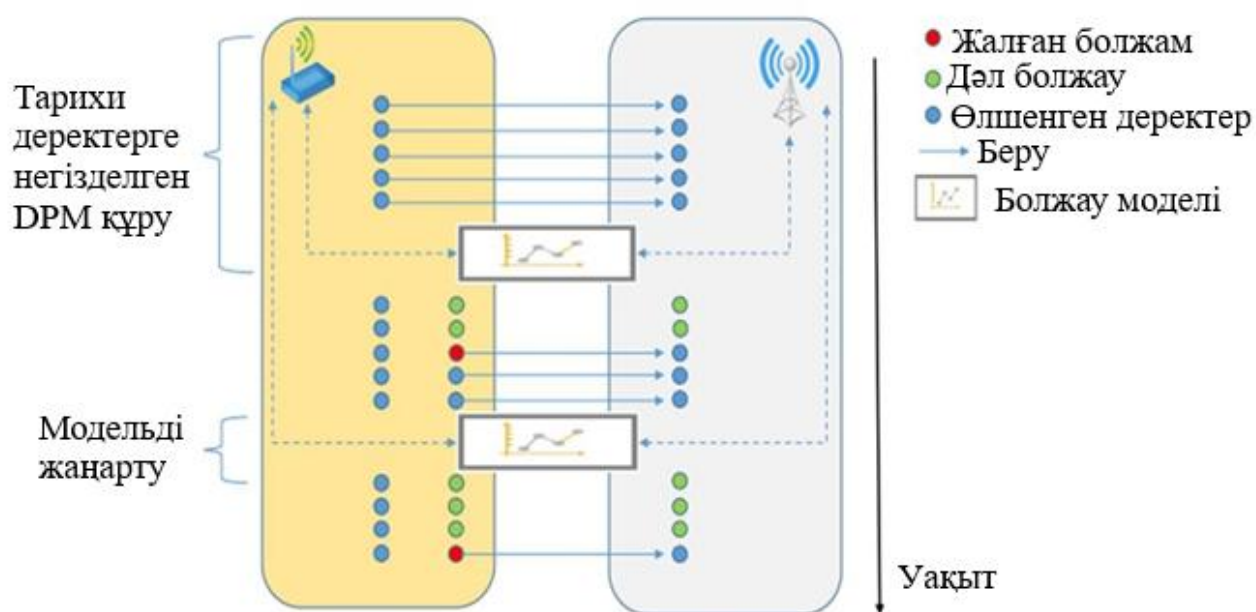
Сығымдау және біріктіру. [12] авторлары Prefix Filtering (PFF) деп аталатын деректерді азайту әдісін ұсынады. Бұл тәсілде деректерді азайтудың бірінші кезеңі әрбір сенсорлық түйінде жергілікті орындалады, ал деректерді азайтудың екінші деңгейі көрші сенсорлардан деректерді жинайтын және талдайтын қақпада орындалады. Соңғы кезеңде Jaccard коэффициенті деректерді біріктіру, содан кейін деректерді бұлтқа жіберу үшін әртүрлі түйіндерден берілетін мәндер арасындағы корреляцияны өлшеу үшін қолданылады. [13] авторлар ағынды жіңішкеру және одан әрі қалпына келтіру арқылы деректер көлемін азайту алгоритмін сипаттайды. Біріншіден, сенсорлардан алынған деректер уақыттық доменнен жиілік доменіне дискретті косинус түрлендіруі (DCT) арқылы түрлендіру арқылы қақпада қайта реттеледі, ағынның жіңішкеру мүмкіндігін одан әрі бағалау үшін. Әрі қарай, жуықтауды бағалауды ескере отырып, ағын жұқартады және деректер бұлтқа жіберіледі, онда бастапқы деректер массиві қалпына келтіріледі. Эксперименттік нәтижелер ұсынылған әдістің жіберілетін деректердің көлемін тиімді азайтуға және сигналды дәл қайта құруды қамтамасыз етуге болатындығын көрсетеді. Деректерді біріктіру әдісі де [14] сипатталған.

Бейімделетін іріктеу әдісі. [15]-те жіберілетін деректердің көлемі іріктеу жылдамдығын бейімдеу арқылы азаяды, сонымен қатар деректер ағынынан шуды жою үшін Кальман сүзгісі қолданылады. Сынама алу жылдамдығы сенсор

түйіндерінен келетін ағымдағы және алдыңғы үлгілер жиынтығы арасындағы ұқсастық негізінде бейімделеді. [16]-[18] нұсқаларында сенсорлық түйіннің SR дискретизация жылдамдығы желілік және қолданбалы деңгейлердің екеуінде де бейімделген. Адаптивті іріктеу әдістері жиналған деректер арасындағы уақытша корреляция жоғары болған жағдайда тиімді болады [12]. Әйтпесе, корреляция төмен және серпіліс жоғары болған жағдайда бұл әдістер тиімсіз, өйткені SR сынама алу жылдамдығы көп уақыттың максималды мәнінде сақталады және есептеу құны жіберілетін деректер көлемді азайту мәнінен асып түседі.

Қосарлы болжау әдісі (DPM). Жіберілетін деректердің көлемін азайту тәсілі тек таңдаудың тұрақты жылдамдығын сақтай отырып, беру санын азайтуға негізделуі мүмкін [21]. Сондай қызықты тәсілдердің бірі – қос болжау әдісі [19], оны толығырақ қарастырамыз.

Қосарлы болжау әдісі (DPM) - бұрын жиналған ақпараттың тарихын талдайтын модельді жүзеге асырады, болашақ оқуларды бағалау үшін қозғалыс векторын анықтайды. DPM-де бірдей болжау үлгісі сенсор түйіндерінде де, қақпада да орындалады. Бірдей деректерді пайдалана отырып, сенсорлық түйіндер мен Gate кез келген болашақ бақылауға бірдей болжам жасайды. Бұл әдіс сенсор түйіндеріне болжамдар шынайы мәндерге сәйкес келгенше деректерін сенсордан қақпаға жіберуден аулақ болуға мүмкіндік береді. 1.3-суретте механизмнің жұмысы көрсетілген.



1.3-сурет – Қосарлы болжау әдісі (DPM) түсінігі

Біріншіден, сенсор кейде $x[0]$ және $x[1]$ алғашқы екі өлшемді жинап, қабылдағышқа жібереді. t_0 және t_1 . Қабылдағыш жаңа өлшемді алған сайын, ол өзінің жадында сол өлшемнің мәнін және оның қабылданған уақытын сақтайды. Жаңа мәндер сәйкесінше NR және оқуды алу уақыты ретінде анықталады $-t_{nr}$.

Әрі қарай, сенсор мен қабылдағыш бір уақытта d деп белгіленген осы екі өлшем арасындағы айырмашылықты есептейді:

$$d[0] = x[1] - x[0] \quad (1.6)$$

Айырмашылық есептеліп болғаннан кейін сенсор мен қабылдағыш болжау кезеңіне көшеді, мұнда екеуі де кез келген екі дәйекті өлшем арасындағы айырмашылық әрқашан $d[0]$ болады деп есептейді. Осыған сәйкес айырмашылық есептеледі $\hat{x}[k]$:

$$\hat{x}[k] = \hat{x}[k - 1] + d[0] \quad (1.7)$$

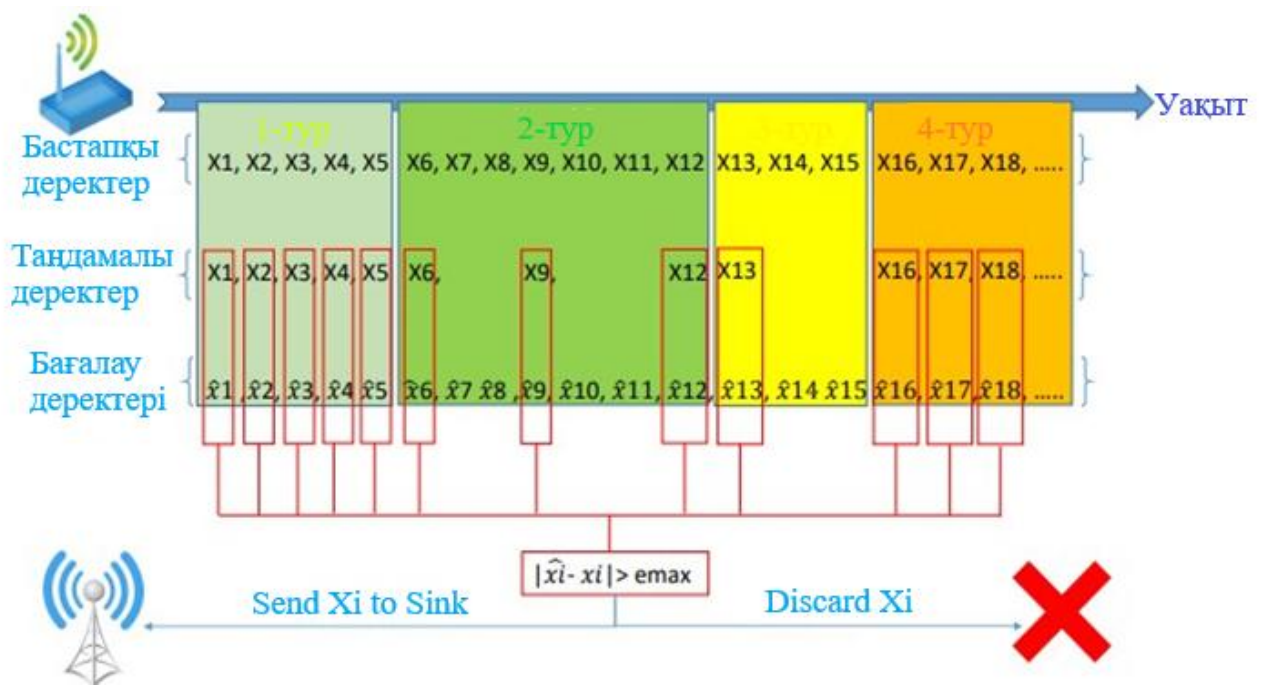
Содан кейін сенсор болжанған мәнді салыстырады $\hat{x}[k]$ нақты өлшенген $x[k]$ мәнімен. Егер олардың арасындағы айырмашылық пайдаланушы белгілеген ϵ тақателік шегінен аспаса, нақты мән қабылдағышқа берілмейді. Сонымен қатар, қабылдағыш ештеңе алмаған кезде, оның болжамы қате шегінде деп есептейді.

$$d[k] = \frac{x[k] - NR}{t_k - t_{nr}} \quad (1.8)$$

Әрі қарай $d[k]$ мәні есептеледі, ол белгілі бір уақыт аралығында болашақ көрсеткіштердің өзгеруінің болжалды сызықтық жылдамдығы болып табылады. Болжам деректерін нақты деректермен үйлестіру үшін $d[k]$ параметрі β коэффициентіне көбейтіледі. $\beta \in [0, 1]$. Сәйкесінше болжамды мән мыналарды пайдаланып есептеледі:

$$\hat{x}[k] = \hat{x}[k - 1] + d[k] * \beta \quad (1.9)$$

Тиімділікті арттыру үшін адаптивті іріктеу жылдамдығы мен қосарлы болжау әдістерінің комбинациясы қолданылады (1.4-сурет). Көрсеткіштердің мәндерінің біркелкілігі стандартты ауытқудың төмен мәнін қамтамасыз етеді. Тиісінше, бір-бірінен оқу мәндеріндегі шамалы айырмашылықпен болжау тиімділігі жоғары болады.



1.4- сурет - Біріктірілген адаптивті іріктеу және қысқартылған қос болжау әдісінің иллюстрациясы

Болашақ мәндерді болжайтын болжау үлгісін бастапқы сенсор түйініне болжанған мәнге сәйкес келмейтін үлгілерді ғана жіберуге мүмкіндік беретін ақпарат пен қабылдағыш (Бұлт) бірге пайдаланады.

Кеңістіктік-уақыттық корреляция әдісі. Тағы бір нұсқа – кластерлік сенсорлық желілерде іріктеу мен тасымалдау жылдамдығын бейімдеуге арналған кеңістік-уақыттық корреляциялық тәсіл [30]. Біз N сенсорлық түйіндердің және әртүрлі орындарда орналастырылған C қақпаларының (СН) S жиынын қарастырамыз $LS = [l_{s_1}, l_{s_2}, \dots, l_{s_N}]$ және $LC = [l_{c_1}, l_{c_2}, \dots, l_{c_N}]$, мұнда сенсор S_i ауданында орналасқан l_{s_i} , Қақпа C_j ауданында орналасқан l_{c_j} , ал қабылдағыш S позициядағы қашықтағы жерде орналасқан l_0 . Осылайша, сенсорлық түйіндер кластерлерге топтастырылған, олардың әрқайсысы тек бір кластерге жатады. Гейтс сенсорлық түйіндерге қарағанда қуатты есептеу құрылғылары болып саналады.

Желі үшін m уақыт интервалында P секундқа созылатын R раундтары анықталады, мұнда әрбір уақыт интервалында сенсор бір өлшемді жасайды. Сондықтан іріктеудің максималды жылдамдығы SR_{max} бұл раундтағы P/m саны. Бірінші айналымда әрқайсысы сенсорлық түйін SR_{max} таңдаудың максималды жылдамдығын пайдаланып деректерді жинайды және көрсеткіштерді қақпаға жібереді.

Қақпа кез келген сенсордан өлшем алған кезде S_i , ол мәндерді жадында сақтайды, содан кейін оларды тікелей бұлтқа жібереді. Бірінші раундтың соңында қақпа өз жадында M матрицасын сақтайды, мұнда n - ағымдағы іріктеу жылдамдығы (SR_{max}) және N - кластердегі сенсорлардың саны [20].

$$M = \begin{bmatrix} x_1^1 & \cdots & x_1^n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N^1 & \cdots & x_N^n \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Содан кейін қақпа сенсорлардың әрбір жұбы арасындағы корреляцияны есептеуге кіріседі. Мүмкін жұптардың саны $N(N-1)/2$. Алынғандар негізінде корреляция нәтижелері бойынша іріктеу жиілігінің жаңа мәні есептеледі және әрбір сенсорлық түйінге жіберіледі. Осы мәндерге сәйкес сенсорлар деректер тізбегін (векторды) өлшейді және қақпаға жібереді. Әрі қарай, векторлардың әрбір жұбы үшін (v_i, v_j) сызықтық тәуелділік Пирсон корреляция коэффициентіне сәйкес есептеледі:

$$\rho(v_i, v_j) = \frac{1}{n-1} * \sum_{k=1}^n \left(\frac{v_{ik} - \mu_{vi}}{\sigma_{vi}} \right) \left(\frac{v_{jk} - \mu_{vj}}{\sigma_{vj}} \right) \quad (1.11)$$

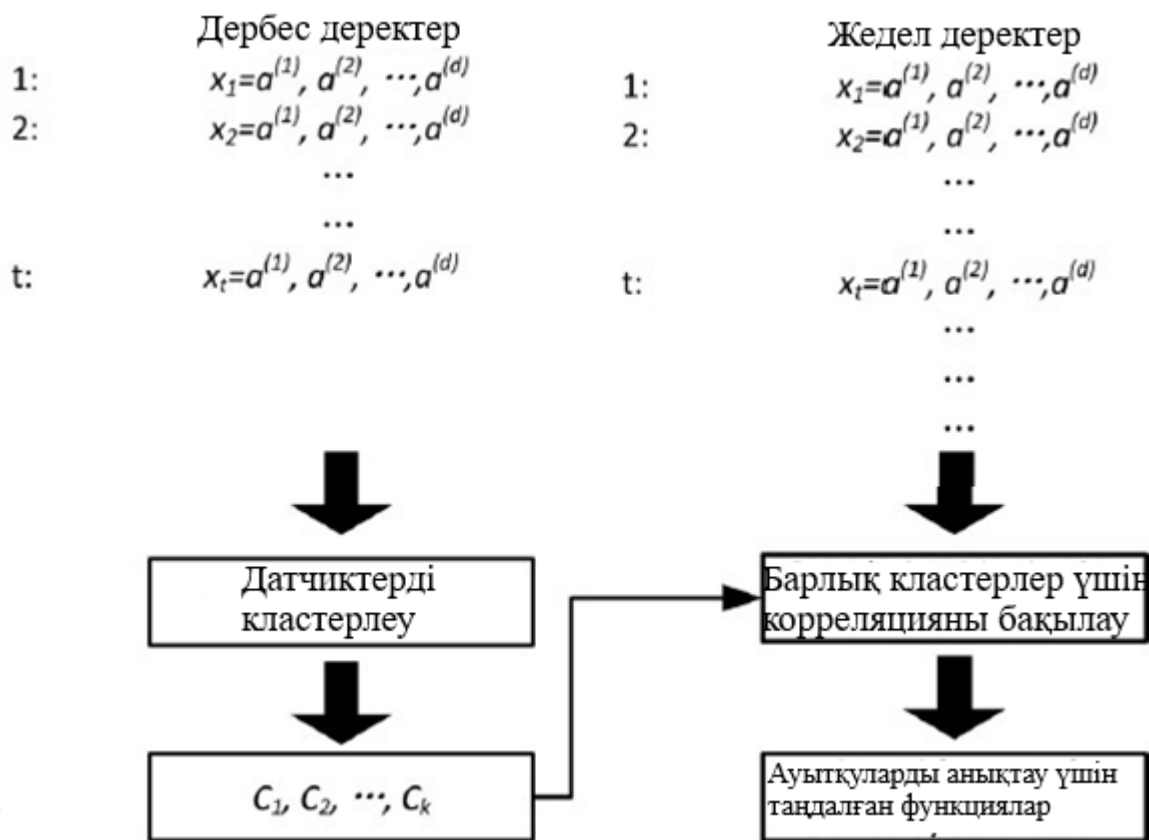
мұндағы μ и σ орташа және стандартты ауытқулар болып табылады.

Бұл тәсіл соңғы құрылғылар (датчиктер) деңгейінде қандай да бір алгоритмді жүзеге асыруды талап етпейді, датчиктер орындайтын жалғыз міндеттер бірімәнді іріктеу және деректерді беру болып табылады. Барлық деректерді өңдеу белгілі бір бекітілген уақыт аралығының соңында Gate деңгейінде (Cluster-Head немесе CH) орындалады. Аралықтың ұзақтығын жүйені пайдаланушы анықтайды. CH әдісі бір кластерге (Гейт) жататын сенсорлар арқылы берілетін деректер арасындағы кеңістіктік корреляцияны табатын алгоритмді жүзеге асырады. SR іріктеу жылдамдығын жоспарлау оңтайлы максималды деңгейде түйіндердің үлкен санымен жоғары корреляцияны көрсететін сенсорлардың іріктеу жылдамдығын сақтайтын қатаң хаттамаға сәйкес келеді [20, 21].

Аномалияларды анықтаудың корреляциялық әдісі. Жұмыс [22] IoT (Internet-of-things) аппараттық құралындағы ауытқуларды анықтаудың корреляциялық әдісін сипаттайды. Анықталған мүмкіндіктер тізбегі $X_1, X_2, \dots, X_t, \dots$, Қайда $X_t (t = 1, 2, \dots)$ d-өлшемді шамалар (деп белгіленген) $a^{(1)}, a^{(1)}, \dots, a^{(d)}$ t уақыт интервалында алынған. Мұндағы d – талдауға қатысатын сенсорлардың саны. Әрбір t уақытында мәндердің ішкі жиыны жасалады U_t , формула бойынша есептеледі:

$$cor_{t-1}(a^{(i)}, a^{(j)}) = cor_t(a^{(i)}, a^{(j)}) > \varepsilon, 1 \leq i, j \leq d \quad (1.12)$$

мұнда $cor_t(a^{(i)}, a^{(j)})$ арасындағы корреляцияны анықтайды $a^{(i)}$ и $a^{(j)}$ t уақытында, $cor_{t-1}(a^{(i)}, a^{(j)})$ - уақыттың алдыңғы нүктесінде және ε - бұл алдын ала белгіленген шекті мән. Бұл алгоритмнің суреті 1.5-суретте көрсетілген.

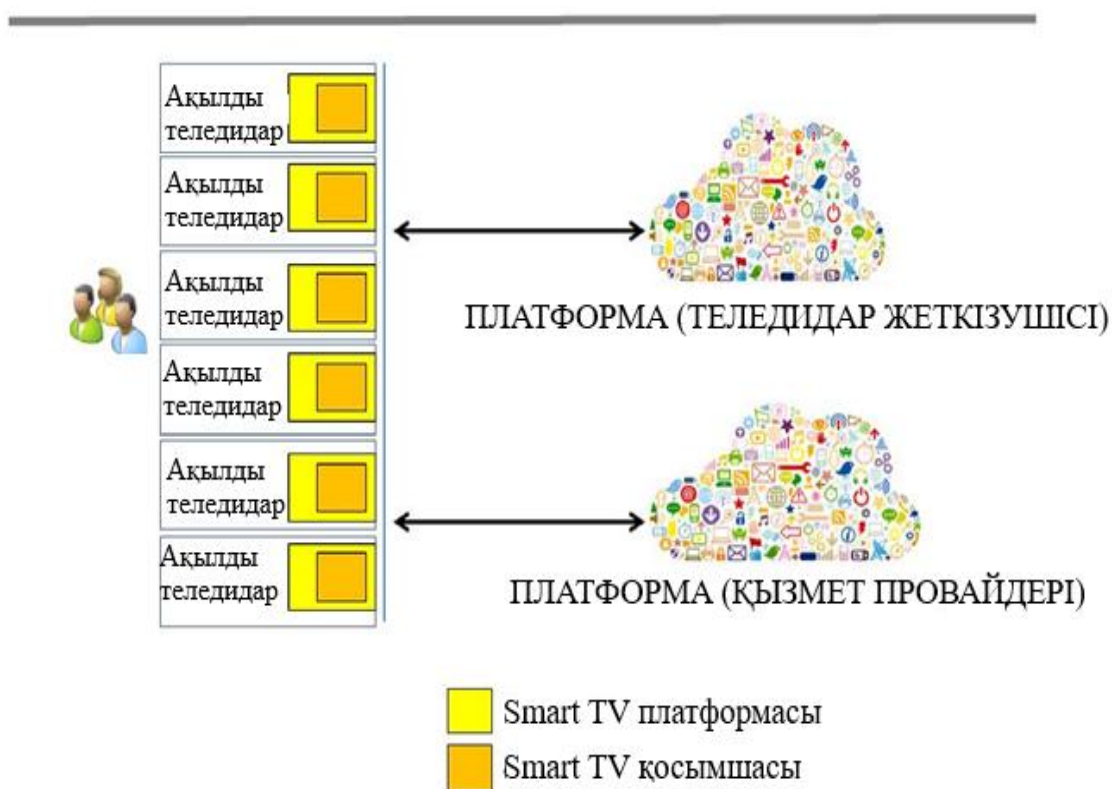


1.5- сурет – Аномалияларды анықтаудың корреляциялық әдісінің иллюстрациясы

Алгоритмнің нәтижесінде ауытқуларды анықтау үшін мүмкіндіктер жиынтығы анықталады. Шын мәнінде, бұл әдісте сенсорлардан алынған деректер алдымен жинақталады және мәндердің қайталануын анықтау үшін топтастырылады, бұл үшін корреляциялық тәсіл қолданылады. Әрі қарай корреляциялық мәндердегі өзгерістер корреляциялық өзгерістері бар сәйкес сенсорларды анықтау және ауытқуларды анықтау үшін репрезентативті мүмкіндіктерді анықтау үшін бақыланады. Сонымен бірге, авторлар көрсеткіштердегі бит санының ұлғаюы және сенсорлардан алынған деректер арасындағы корреляцияны есептеудегі уақыт кідірісі IoT жабдықтарындағы ауытқуларды анықтаудың болжамды моделін құру дәлдігінің төмендеуіне әкелетінін атап өтті.

Уақыттың динамикалық ауытқуы (DTW) әдістері [23] - уақыттық қатар деректерінің екі тізбегі арасындағы ұқсастықты өлшеу үшін қолданылатын әдістер. Дегенмен, бұл әдістер ұқсастық өлшемін барынша ұлғайту үшін белгілі бір шектеулері бар екі берілген деректер уақыт қатары арасындағы оңтайлы сәйкестікті есептейді. Сонымен қатар, DTW әдістері олардың ұқсастық өлшемін барынша арттыру үшін белгілі бір шектеулер арқылы оңтайлы сәйкестікті есептейді [23]. Деректерді талдаудың ұзақ уақыт кезеңінде әдістің дәлдігі шектеулі екені атап өтіледі.

Жоғарыда аталған DTW, CN әдістерінің барлығы, соның ішінде корреляциялық сигналды өңдеуді пайдаланатындар, Gates немесе Clouds деңгейінде деректермен жұмыс істеуді қамтиды; соңғы құрылғылар күрделі алгоритмдерді жүзеге асыру үшін пайдаланылмайды. [14]-та сипатталған сұраныс бойынша бейне (VoD) қызметтерін көрсетуді ұйымдастыруға арналған IoT жүйелерінің қызықты архитектураларының бірі 1.6-суретте көрсетілген. Негізгі құрамдас бөліктер Smart TV – соңғы құрылғылар ретінде және құрылғы өндірушісіне (жеткізушісі) және хабар тарату платформасының иесіне (VoD қызметі) тиесілі бұлт платформаларының екі түрі. Соңғы пайдаланушы құрылғымен - Smart TV-мен тікелей әрекеттеседі.



1.6- сурет – IoT/VOD жүйесінің архитектурасы (өндіруші мен қызмет көрсетушінің құрамдас бөліктерін ескере отырып).

Интернетке қосылған пайдаланушы құрылғысы деректерді тікелей өңдеу үшін, атап айтқанда 1.4-кестеде жүйеленген бірқатар бақылау көрсеткіштерін алдын ала өңдеу үшін пайдаланылады. Яғни, өңдеу бұлтта немесе қақпада емес, соңғы құрылғыда орындалады. Бұл архитектурадағы қақпа талдаудан алынып тасталды, өйткені ол жалпы IoT жүйесі үшін мәнді функционалдылықты қамтамасыз етпейтін аралық құрылғы болып табылады.

Өңделген деректерге және алынған көрсеткіштерге сүйене отырып, қызмет провайдері соңғы пайдаланушы пайдаланатын Интернет арнасына қатысты ақаулар фактісін сенімді түрде анықтай алады. Қолданушыны қанағаттандырмайтын қызмет сапасының QoS көрсеткіші нені білдіреді.

Құрылғы өндірушісі, өз кезегінде, автоматтандырылған режимде түсірілген және өңделген ақпаратқа сүйене отырып, пайда болатын қателерді автоматты түрде жүйелей алады және соңғы құрылғының өмірлік циклін оңтайландырады, тұтынушылық сипаттамаларын жақсартып алады, сондай-ақ болашақ құрылғыларды әзірлеу процесінде [15].

Кесте 1.4 – Соңғы құрылғыдағы параметрлерді бақылау

Параметр	Опциялар
Идентификатор құрылғылар (құрылғы идентификаторы)	саны
Мекенжай (IP мекенжайы)	саны
Буфер күйі	(Толық $\leq K$) / Толтырылған $> K$
пинг	Иә (мән) / Жоқ
Ойнатудың басталу уақыты	Мағынасы
Уақыт бітіру ойнату	«Тоқтату» немесе «Кідірту» таңдалмаған
Ойнату уақыты	Болжалды мән
Кезеңдегі сәтсіздіктер саны	Болжалды мән

Адам мінез-құлқының қасиеттері, қалаулары - IoT құрылғылары жинайтын және IoT жүйелерімен талданатын параметрлер. Нәтижесінде өнімді және объектіні пайдалану профилін анықтауға болады. Деректер құрылғы өндірушілерін де (мысалы, автомобильдер, пәтерлер және т.б.) және қызмет көрсетушілер үшін де үлкен қызығушылық тудырады және қызмет көрсету сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Жергілікті есептеулер үшін IoT соңғы құрылғыларын пайдалану мүмкіндігі қызметтердің сапасына, байланыс арналары бойынша деректерді беру жылдамдығы мен қарқындылығына тікелей әсер етеді [26].

Техникалық тұрғыдан алғанда, есептеулерді тікелей құрылғыда ұйымдастыру және бұлтқа тек нәтижелер мен қорытындыларды беру арқасында деректерді азайту да жүзеге асырылады және ең бастапқы кезеңде. Тағы бір ерекшелігі - функционалдық құндылыққа ие емес аралық құрылғылар - Гейтстердің архитектурасында болмауы. Бұрын ұсынылған 3/5 деңгейлі желілік модельдер тұрғысынан алғанда, желі, қолданбалы, өңдеуші басымдық болып табылады.

(Алдын ала өңдеу) және Бизнес деңгейлері.

Сонымен қатар, градиент әдістері [17]-[19] талданды, оның ішінде ең тік түсу, координаталы Гаусс-Зайдель түсуі, конъюгаттық градиенттер, жеделдетілген конвергенция әдістері және т.б., сондай-ақ градиент әдістерін қолдану. Бұл әдістер кескіндерді өңдеу тапсырмаларында, атап айтқанда кескіндердегі объект контурларын таңдауда кеңінен қолданылады. Әдістердің ерекшеліктеріне итерациялық операциялардың салыстырмалы түрде көп саны және градиентті есептеу үшін деректер массивтерін сақтауды ұйымдастыру қажеттілігі жатады. Атап айтқанда, итеративті параметрлердің Чебышев жинағы бар жергілікті бір өлшемді немесе ауыспалы үшбұрышты түрдегі әдістер. Олар үшін K жеткілікті \sqrt{n} итерациялар, мұндағы n - айнымалының реті. Бұл орташа әдістерге қарағанда айтарлықтай аз; алайда мұндай жинақтылық жылдамдығына матрица спектрінің шекаралары априорлы белгілі болғанда ғана қол жеткізіледі. Әдетте, олар тек шама ретімен белгілі немесе мүлде белгісіз. Бұл жағдайда қайталанулардың нақты саны бірнеше есе артады және нақты конвергенция жылдамдығы орташа әдістерден жақсы болмайды. Соңында, ультра жылдам әдістерге жылдам түрлендіру әдісі жатады Фурье, тақ-жұп қысқарту. Оларда қайталану саны $K \sim$ дейін азаяды $\log_2 n$. Алайда, біріншіден, мұндай әдістер тек «жылыжай» жағдайында ғана қолданылады, яғни. тұрақты коэффициенттері бар тікбұрышты аймақтағы есептер үшін, егер әрбір жағындағы түйіндердің саны екінші дәрежесі болса немесе көптеген шағын факторларға бөлінген болса; екіншіден, нақты пайдаланылғанда $n \sim 100$ мән $\log_2 n$ және \sqrt{n} аз ерекшеленеді. Сондықтан ультражылдам әдістерді нақты күрделі есептерді шешу үшін кеңінен қолдану екіталай [19]. IoT жүйелеріне арналған жоғарыда келтірілген шектеулерді ескере отырып, градиент әдістері бұл мақалада егжей-тегжейлі қарастырылмайды.

1.4 Дипломдық жұмыстың мақсаты мен міндеттері

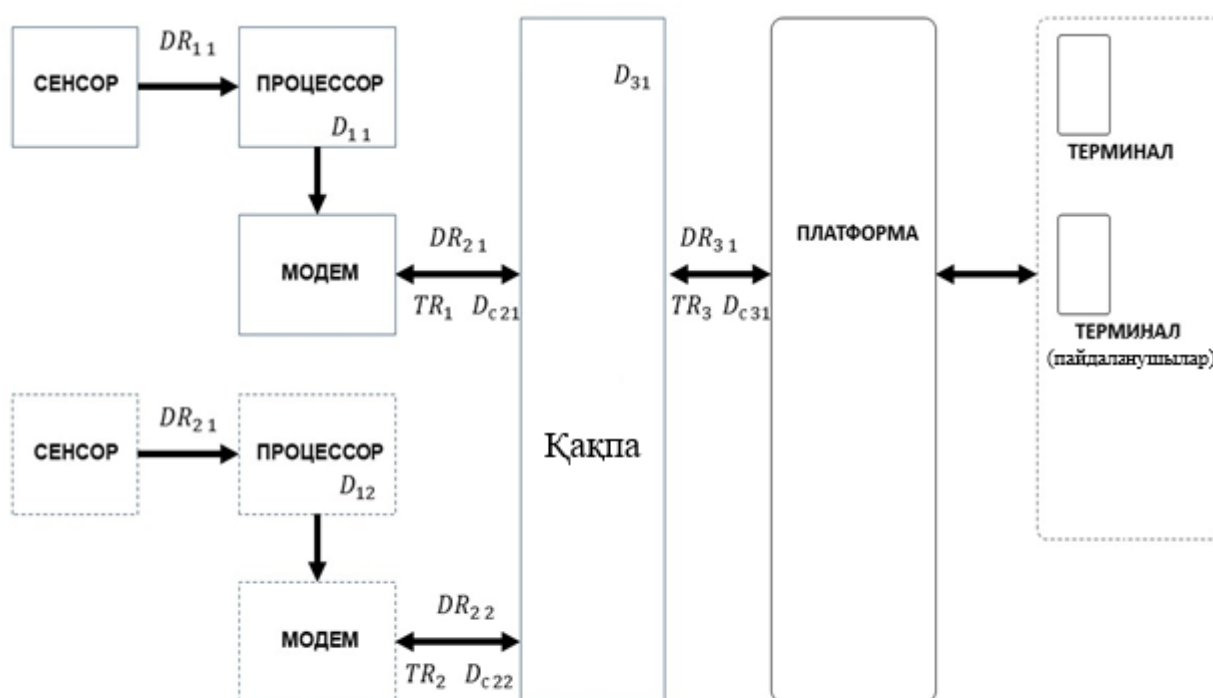
Дипломдық жұмыстың мақсаты – тасымалданатын деректер көлемін азайту үшін соңғы IoT құрылғыларында ақпаратты өңдеудің модельдеу үлгілері мен әдістерін жасау. Диссертациялық зерттеудің мақсатына сәйкес келесі міндеттер шешіледі:

- Интернет заттары жүйелерінде берілетін және сақталатын деректер көлемін азайту үшін соңғы құрылғыларда ақпаратты өңдеу әдісін әзірлеу;
- соңғы құрылғыларда ақпаратты өңдеу әдісінің сипаттамаларын бағалау әдістемесін әзірлеу;
- соңғы құрылғыларда ақпаратты өңдеу әдісінің параметрлерін, оның ішінде жылдамдықты жақсарту жолдарын зерттеу;
- әзірленген әдіс бойынша жіберілетін деректер көлемінің азаюын бағалау;
- ақпаратты өңдеу әдісінің қажетті аппараттық ресурстарға әсерін зерттеу;
- соңғы құрылғыда ұсынылған әдіс негізінде ақпаратты өңдеу жүйесін енгізу.

2 Интернет заттардында жіберілген және сақталатын мәліметтер

2.1 IoT жүйесінің моделі

Интернет заттар жүйесінің моделін мәліметтерді беретін, қабылдайтын және өңдейтін негізгі құрылғылар, сонымен қатар негізгі сипаттамалары тұрғысынан қарастырайық. Барлық деректерді өңдеу аналогтық емес, сандық түрде жүзеге асырылады деп болжанады, яғни деректерді сенсорлардан процессорға тасымалдаған кезде де біз белгілі бір бит тереңдігінің үлгілерімен жұмыс істейміз.



DR – деректер ағынының жылдамдығы,
 TR – байланыс арнасының өткізу қабілеті,
 D – деректерді өңдеуге байланысты кідіріс

2.1- сурет - Өңдеу құрылғыларын ескере отырып, IoT жүйесінің моделі

Сенсор, процессор және модем 1-тарауда бұрын сипатталған үлгіге сәйкес соңғы құрылғыны (модуль) құрайды. Мәліметтерді тасымалдауға қатысты негізгі параметрлерді анықтайық [15].

DR	Деректер ағынының жылдамдығы, бит/с (байт/с)
TR	Байланыс арнасының сыйымдылығы, бит/с (байт/с)
D	Кешіктіру. Бұл параметрді циклдар санымен немесе секундтармен (μ s) көрсетуге болады.

Бірінші модуль үшін:

DR_{11} - сенсордан процессорға мәліметтер ағынының жылдамдығы.
 D_{11} - процессордың деректер ағынын өңдеуімен байланысты кідіріс.
 DR_{21} - модем мен қақпа арасындағы деректер ағынының жылдамдығы,
 TR_{11} - модем мен қақпа арасындағы байланыс арнасының сәйкес өткізу қабілеті.
 Ұқсас параметрлер ($DR_{31}; TR_{31}; D_{31}$) gate-to-Cloud арнасына қолданылады.

Жалпы алғанда:

$$TR_{11} \leq TR_{31};$$

$$TR_{11} \geq M * DR_{21}, \text{ мұндағы } M < 1.$$

Бұл модель сигналдарды өңдеудің және сенсорлардан бұлтқа ақпаратты жеткізудің барлық әдістері үшін кідірістермен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Әрі қарай, IoT жүйесінің бөлігі ретінде жұмыс істейтін IoT соңғы құрылғысында цифрлық өңдеу тәсілін одан әрі талдау үшін корреляциялық сигналды өңдеу тәсілдерін қарастырамыз.

IoT жүйесінің бөлігі ретінде соңғы құрылғыда біріктірілген өңдеу тәсілін одан әрі қарастыру үшін корреляциялық сигналдарды өңдеудің қолданыстағы тәсілдерін талдауға көшейік.

2.2 Корреляциялық сигналдарды өңдеу тәсілдерін талдау

Радиотехникада корреляция шудағы сигналдарды анықтау және анықтау үшін радар мен гидроакустикада белсенді қолданылады. Импульстік қуатты сақтай отырып диапазонның ажыратымдылығын арттыру үшін импульстік модуляциясы бар салыстырмалы түрде ұзақ мерзімді сигналдар кеңінен қолданылады [17]. Радарларда негізінен кең жолақты сигналдар ретінде n-ұзындықты Баркер кодтарына негізделген фазалық кодты кілттеуі (PCM) [1] бар шыыр-модуляцияланған сигналдар қолданылады. Қазіргі уақытта жиілік доменінде сәйкес сүзгілеу үшін Фурьенің жылдам түрлендіру алгоритмі [18] кеңінен қолданылады, оның айқын кемшілігі өңдеу нәтижесін шығаруда құбыр желісінің айтарлықтай кешігуі болып табылады,

Корреляциялық өңдеу үшін шығыстағы сигнал-шу қатынасын (S/N) барынша арттыратын сәйкес сүзгі (SF) пайдаланылады. Оңтайлылық критерийі ретінде фильтр шығысындағы сигналдың шуылға максималды қатынасын таңдау осы сүзгінің импульстік реакциясын анықтайды. Уақытында шығысты қамтамасыз ететін сүзгінің импульстік реакциясы $\tau_0 S/N$ қатынасының максимумы сигналдың айнадағы көрінісі болып табылады, ығысқан τ_0 [19]. SF шығысындағы сигнал мына өрнекпен анықталады:

$$y(t) = \int_0^T S(t)h(t - \tau)d\tau \quad (2.1)$$

мұнда $S(t) = S_1(t) + q(t)$, $q(t)$ – шу құрамдас бөлігі.

Сәйкес сүзгінің импульстік реакциясы келесідей өрнектеледі:

$$h(t) \text{ с } S_i(T - t) \quad (2.2)$$

мұндағы c тұрақты, $S_i(t)$ келесідей анықталған кіріс сигналы:

$$S_i(t) = \begin{cases} S_i, & 0 \leq t \leq T; \\ 0, & T < t < \infty. \end{cases} \quad (2.3)$$

ал T – іріктеу уақыты.

Нөлдік кешігу кезінде бізде сигналдың оның жергілікті көшірмесімен автокорреляциялық функциясы бар:

$$y(t) = \int_0^T S_1^2(t) dt = r_{11}(0) \quad (2.4)$$

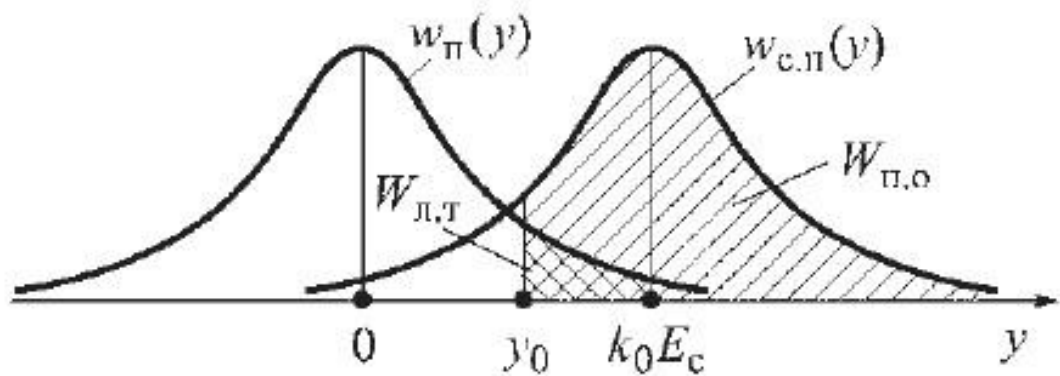
[19] дұрыс анықтаудың шартты ықтималдығы (шекті мәннен асу ықтималдығы) көрсетілген. $Y_0 = k_0 Z_0$ сигнал болған кезде) СҚ үшін келесідей анықтауға болады:

$$W_{n.o.} = \frac{1}{2} [1 - \Phi(v_0)] = \frac{1}{2} [1 - \Phi(u_0 - q s_0)] \quad (2.5)$$

Мұнда $\Phi(v) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^v \exp(-\frac{v^2}{2}) dv$ ол үшін ықтималдық интегралы $F(\infty) = 1$, және $\Phi(v) = -\Phi(-v)$, u_0 салыстырмалы жауап шегі болып табылады, және $q s_0$ сәйкес сүзгінің шығысындағы сигнал-шу қатынасы болып табылады. Сол сияқты, жалған дабыл ықтималдығын есептеу өрнекі:

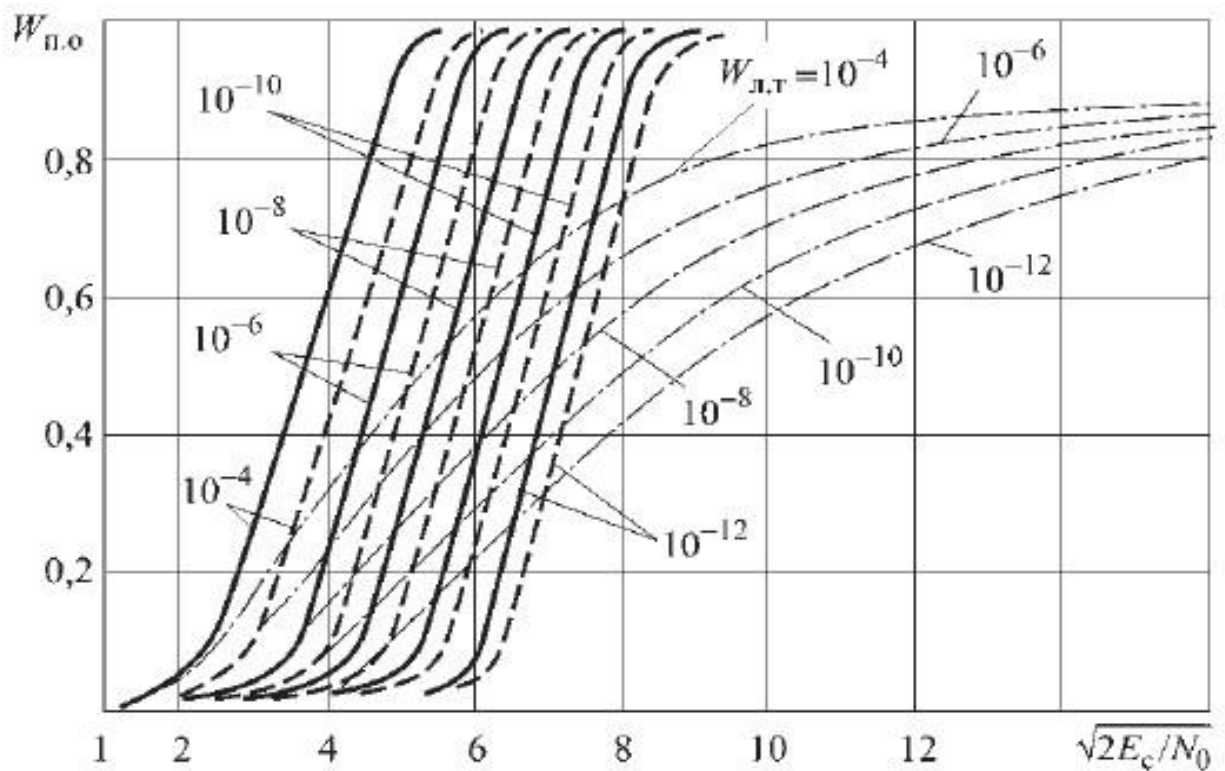
$$W_{л.т.} = \frac{1}{2} [1 - \Phi(u_0)] \quad (2.6)$$

Ықтималдық тығыздығының таралу функциялары 2.2-суретте көрсетілген, мұнда шекті Y_0 деңгей көрсетілген.



2.2-сурет – Ықтималдылықтың таралу тығыздықтары

Толық белгілі сигнал үшін анықтау сипаттамаларының есептелген деректері 2.3-суретте келтірілген, ол оңтайлы детектордың шығысындағы сигналдың шуға қатынасының қажетті мәнін анықтауға мүмкіндік береді, берілген дұрыс ықтималдылық үшін. анықтау $W_{п.о}$. [19].



Сурет 2.3– Сигналдарды анықтау сипаттамалары: тұтас сызық – параметрлері толық белгілі сигнал үшін; үзік сызық – амплитудасы өзгермелі сигнал үшін; нүктелі сызық – амплитудасы және кездейсоқ фазасы өзгертін сигналдар үшін.

Сәйкестендірілген сүзгі қабылданған және күтілетін (анықтамалық) сигнал арасындағы кросс-корреляция функциясын (CCF) есептеу тапсырмасын жүзеге

асырады. Сондықтан сигнал-шуылдың максималды қатынасын алу тұрғысынан сәйкес келетін сүзгі сигналды өңдеудің оңтайлы құрылғысы болып табылады [19] - [22].

Сандық сәйкес сүзгі келесі формуламен математикалық түрде сипатталады:

$$y = (n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) * x(n - k) \quad (2.7)$$

мұнда N – сәйкес сүзгінің импульстік реакциясының ұзындығы Есептеу күрделілігі пропорционал N^2 .

Корреляция теоремасын қолдану және FFT және IFFT есептеу арқылы корреляцияны есептеуді тездетуге болады. Егер үлгілер саны 128-ден асса, іске асыру тікелей корреляциялық есептеуге қарағанда жылдамырақ болады [23]. Содан кейін жүйе есептеуді жүзеге асырады $r_{12}(j)$, ол келесі түрде көрсетіледі:

$$r_{12}(j) = F_D^{-1} [F_1(k)F_2(k)] \quad (2.8)$$

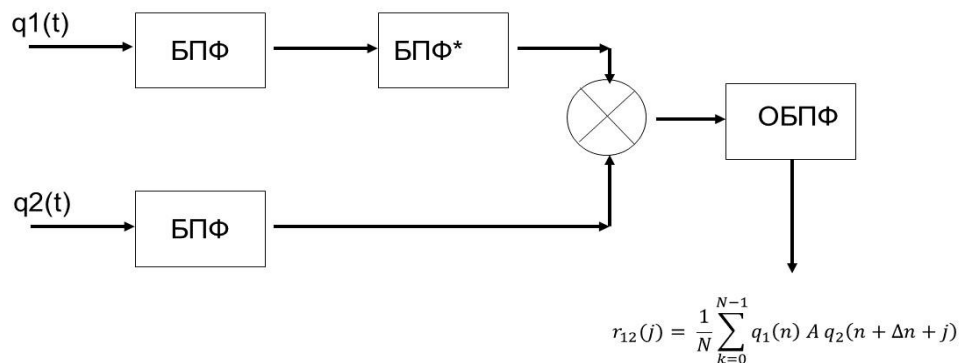
Жүйенің шығысында бізде:

$$r_{12}(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} q_1(n) A q_2(n + \Delta n + j) \quad (2.9)$$

мұнда Δn - уақыт кідірісі, A – әлсірету коэффициенті (әдепкі бойынша $A=1$). Сигналдардан бері $q_1(n)$ және $q_2(n)$ кездейсоқ, содан кейін максималды пайда сигналдар фазада болғанда жетеді, бұл кезде болады $j = -\Delta n$.

$$r_{12}(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} q_1^2(n) \quad (2.10)$$

бұл орташа қуатқа тең. Есептеуді жүзеге асыратын құрылымдық схема 2.4-суретте көрсетілген.



2.4-сурет – ФФТ көмегімен корреляцияны есептеу блок-схемасы

Суреттен көрініп тұрғандай, әрбір сигнал үшін FFT операциясын орындау қажет, содан кейін конволюция және кері Фурье түрлендіру. FFT және IFFT есептеу кезінде бұл схеманың кемшілігі сигналдық базаға пропорционалды өңдеу нәтижесін шығаруда құбыр желісінің айтарлықтай кешігуі болып табылады.

Қағаз [14] қосалқы диафрагма әдісі және кодты іске қосу сомасы әдісі бойынша сәйкес сүзгілеу әдістерін ұсынады. Қосындыларды кодпен жылжыту әдісі фазалық кодты кілттелген (PCM) сигналдарға және сызықтық жиілікті модуляцияланған сигналдар үшін қосалқы диафрагма әдісіне арналған. Қосындыларды кодты жылжыту әдісі бойынша SF үшін операциялар саны $4\sqrt{N}$, және субпертура әдісі үшін \sqrt{N} . Субпертура әдісін жүзеге асыру үшін қос кешіктіру сызығы қажет, әйтпесе N кіші диафрагмалардың саны π -ке еселік бұрышқа өзгертіндей етіп таңдалады [24], бұл кіріс деректер ағынын арнайы дайындауды және топтастыруды, сондай-ақ рекурсивті операцияларды қажет етеді. Нәтижесі - соңғы мәнді шығарудың кешігуі. Бұл жұмыста ұсынылған нәтижелер мамандандырылған микропроцессорларға негізделген алгоритмдерді жүзеге асыру үшін жарамды, бірақ басқа аппараттық архитектуралар үшін емес.

IoT құрылғылары радиолокациялық станциялармен салыстырғанда есептеу қуаты мен энергиясы бойынша салыстырмалы түрде төмен қуат болып табылады. Бұл тиімділік себептері бойынша көптеген есептеу операцияларын қажет ететін күрделі цифрлық сигналдарды өңдеу алгоритмдерін, атап айтқанда 64, 128, 256, 512, 1024 немесе одан да көп таңбалар тізбегі үшін FFT, OFFT енгізуге мүмкіндік бермейді.

Кодты сырғыту әдісі (MCS), субпертура әдісі (MPA), қарапайым бөлумен тікелей әдіс (*MPr) және бөлуді қысқарту арқылы тікелей әдіс (MTg) үшін есептеуге негізделген операциялар санын салыстырмалы талдау ұзындығы бойынша N 2.1- кестеде көрсетілген.

Кесте 2.1 – N ұзындығына байланысты әртүрлі әдістер бойынша есептеу операцияларының болжалды санын салыстыру

N	0	2	4	8	16	32	64	128	256	512
XFC	0	6	8	12	16	23	32	46	64	91
MPA	0	3	3	4	4	5	6	7	8	10
*Mпр	0	4	16	64	256	1024	4096	16384	65536	262144
MPR	0	4	8	16	32	64	128	256	512	1024

Сонымен қатар, операциялар санына негізделген басқалармен салыстырғанда тікелей өңдеу әдісінің көрінетін есептеу күрделілігі алдамшы болып табылады. Тура әдіс үшін, N пропорционалды 2^n , операциялар саны сәйкес келмейді N^2 , және $2N$, ең аз маңызды сандарды кесу арқылы классикалық бөлу операциясын ауыстыруға байланысты. Кодты сырғыту әдісі және ішкі

апертура әдісі үшін операциялар санын бағалау $N \geq 64$ үшін жарамды, әйтпесе алгоритмнің жұмыс істеуін қамтамасыз етуге жұмсалған ресурстар қол жеткізілген әсердің мәнінен айтарлықтай асып түседі [26].

Бір жағынан күрделілік, ал бірқатар сипаттамалардың артықшылығы туралы айтатын жоғарыда келтірілген фактілер, екінші жағынан, IoT құрылғыларының жаңа әдісі мен алгоритмдерін әзірлеу қажеттілігін көрсетеді. Осыған байланысты корреляциялық функцияны толығырақ қарастырайық.

2.3 Соңғы құрылғы үшін корреляциялық өңдеудің әдісі мен алгоритмін құру

Жоғарыда келтірілген қорытындыларды (2.1) ескере отырып, кросс-корреляциялық өрнек $r_{12}(n)$ екі деректер тізбегі $x_1(n)$ және $x_2(n)$ қамтитын N саны келесі түрде жазылуы мүмкін:

$$r_{12} = \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)x_2(n) \quad (2.11)$$

Дегенмен, мұндай қатынас үлгілер санына байланысты нәтиже береді. Сәйкесінше, N үлгілерінің санына қатысты нормалау қажет. Осылайша, нормаланған өрнек келесі пішінді алады:

$$r_{12} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)x_2(n) \quad (2.12)$$

Деректер тізбегі болғандықтан $x_1(n)$ және $x_2(n)$ бір-біріне қатысты орын ауыстырады, кідіртуді енгізу керек. Демек, әрқайсысы N деректерден тұратын және үлгілер санына нормаланған екі сандық реттілік арасындағы кросс-корреляция функциясын [14] былай жазуға болады:

$$r_{12}(j) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n) * x_2(n+j) \quad (2.13)$$

мұндағы корреляция сигнал негізіне пропорционал кідіріспен есептелуі керек. Қашан болған жағдайда $x_1(n)=x_2(n)$, процесс автокорреляция функциясы ретінде жақсы белгілі және келесі түрде жазылуы мүмкін:

$$r_{11}(0) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) = E \quad (2.14)$$

мұндағы E – сигнал энергиясы.

Жоғарыда келтірілген теңдеулерге сәйкес есептелген кросс-корреляция мәндері деректердің абсолютті мәндеріне байланысты. Кросс-корреляция коэффициентінің мәндері әдетте $[-1; +1]$, егер кіріс деректер ауқымында теріс мәндер болса. Мұндағы «-1» сәйкестік жоқ дегенді білдіреді, ал «+1» толық

сәйкестік (100% корреляция). Егер мәндер диапазоны оң болса, онда кросс-корреляция коэффициентінің мәндері $[0; +1]$.

Мәндерді сигналдың энергиясына (амплитудасына) тәуелді мәнмен қалыпқа келтіру қажет. Ол үшін нормаланған өрнегі r_{12} нысанда болады:

$$\rho_{12}(j) = \frac{r_{12}(j)}{\frac{1}{N} \sqrt{[\sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) * \sum_{n=0}^{N-1} x_2^2(n)]}} \quad (2.15)$$

(2.15) өрнектің бөлгішінің есептеу күрделілігі салыстырмалы түрде жоғары және үлкен есептеу ресурстары мен кідіріс уақытын қажет етеді. Әсіресе бөлу және квадрат түбір амалдары үшін.

Квадрат түбір операциясы кезіндегі кідіріс циклдерінің саны бит тереңдігіне байланысты және болып табылады $\log_2(K)-1$. Яғни, 8 разряд үшін кідіріс циклдерінің саны 7 болады. Бұл деректер ағыны болған кезде синхронды квадрат түбірді есептеу үшін квадрат түбір модулінің тактілік жиілігі 4 есе жоғары болуы керек дегенді білдіреді. Қосымша тактілік енгізуді немесе PLL талап ететін жүйелік тактілік жиілік. Бөлу операциясы үшін кідіріс бит тереңдігіне де байланысты және бастап болуы мүмкін $\log_2(K)/2$ дейін $\log_2(K)-1$.

Жоғарыда көрсетілген шекаралық шарттар үшін келесі теңсіздік орындалатынын ескере отырып:

$$\sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) \geq \sum_{n=0}^{N-1} x_2^2(n) \quad (2.16)$$

Бөлгіш нормалау коэффициенті ретінде қажет болғандықтан, оның мәні болатын жағдайға әкелмеуі керек $\rho_{12} > 1$, кері жағдайға жол беріледі. Демек, өрнектің бөлгішінде (2.15) $x_2(n)$ можно заменить на $x_1(n)$.

Нәтижесінде (2.15) өрнектің бөлгіші келесі түрге ие болады:

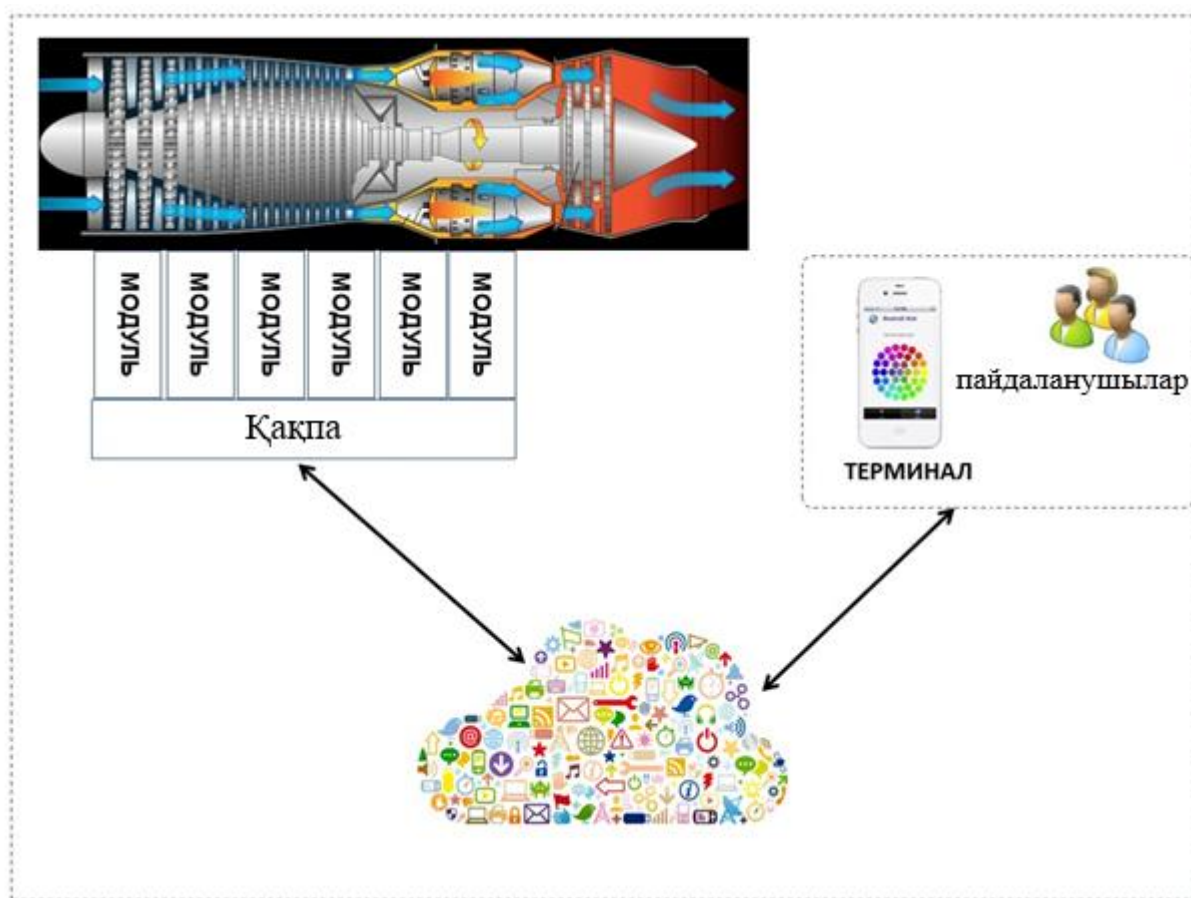
$$\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) = const \quad (2.17)$$

Осылайша, жасалған болжамдардың аркасында квадрат түбірді алу операциясын болдырмауға болады. Бөлгіштің соңғы мәнін эквивалентті санға келтіруге байланысты қосымша болжам 2^n , классикалық бөлу операциясын ең аз мәнді сандарды қысқартумен ауыстыруға мүмкіндік береді. Бұл операция тек бір қосымша циклды қажет етеді немесе оны басқа операциямен бір уақытта орындауға болады.

Интернет заттарына арналған қосымшаларда (Өнеркәсіптік, Ақылды автомобильдер, Ақылды қала, Көлік), жүйе параметрлерін өлшеу процесінде, тестілеу кезінде немесе жұмыс режимдерінде деректерді генерациялайтын өнімдердегі сенсорлар тобының үлкен саны қолданылады. Жоғарыда айтылғандай, барлық деректерді сақтау және одан әрі өңдеу мақсатында тасымалдау және жинақтау қажет емес. Өнеркәсіптік қолданудың мысалы 2.5-

суретте көрсетілген. Әуе қозғалтқышы сынақ режимінде деректерді тиісті деректерді жинау орталығына жіберетін сенсорлар жиынтығымен ұсынылған.

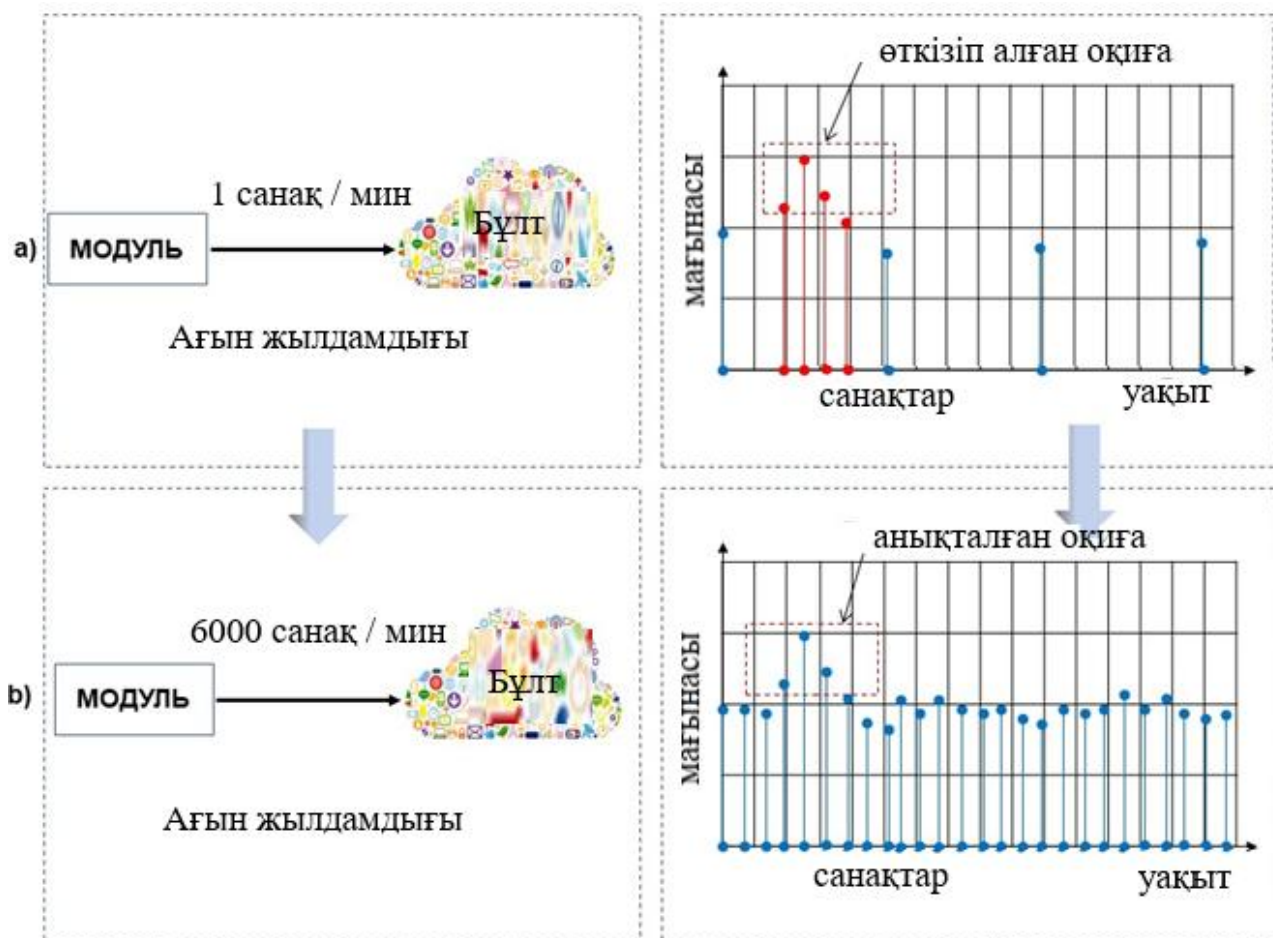
Параметрлердің сәйкестігін нақты талдау үшін сыни және аса критикалық режимдердегі агрегаттар мен түйіндердің мінез-құлқы туралы ақпарат, әсіресе сынау процесінде маңызды болып табылады. Дәл осындай режимдер үшін ең қысқа интервалдармен көрсеткіштерді алу маңызды (жоғары іріктеу жылдамдығы SR). Болжалды аналитикалық жүйелердің белсенді дамып келе жатқан пәні өлшенген деректер негізінде болжамды модельдерді құруға мүмкіндік береді. Тиісінше, өлшеу нәтижелері неғұрлым дәл болса, үлгілердің дәлдігі соғұрлым жоғары болады.



2.5-сурет – Деректер жылдамдығы жоғары типтік сынақ схемасы

Сондықтан ұсынылған әдіс үшін талдау үшін қолданылатын қызығушылықты тудыратын сигналдарды жіберіп алуды жою үшін SR таңдау жылдамдығын арттыру қажет.

Таңдау жылдамдығына байланысты оқиғаны өткізіп жіберу және анықтау мысалы 2.6-суретте а) және б) сипатталған [25]. Цифрлық сигналды өңдеуде, сондай-ақ таңдау жылдамдығын арттыру тенденциясы бар және аналогты-цифрлық түрлендіруде таңдау жылдамдығы осылай болады. F_s және SR жиілігі, яғни цифрланған деректер тізбегіндегі деректер үлгілерімен жұмыс істейді.

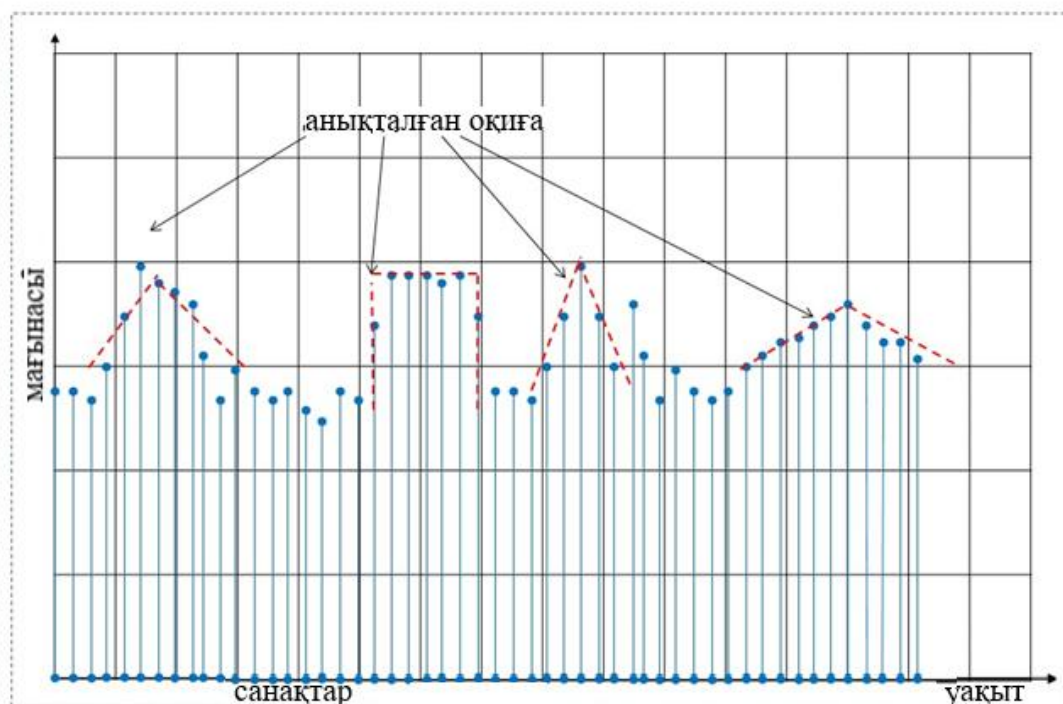


2.6- сурет - а) Төмен ағын жылдамдығында өткізіп алған оқиға және б) Жоғары ағын жылдамдығында анықталған оқиға

Іс жүзінде сенсордан алынған сигнал, мысалы, температура мәні, алдын ала анықталған (күтілетін) мәннен үлкен немесе аз екенін анықтау жеткіліксіз. Тренд туралы ақпарат алу маңызды - жоғары, төмен, өсу немесе құлдырау жылдамдығы. Сондықтан, 1-тарауда бұрын қарастырылғандарды қоса алғанда, қарапайым Шекті әдістер, кез келген аппараттық платформада іске асырудың қарапайымдылығына қарамастан, бар мәселелерді шешуге жарамайды.

Сигналдарды сипаттау үшін бөліктік сызықтық жуықтау әдісін қолданамыз. Сигнал бөлімінің конверті абсцисса осіне белгілі бір еңісі бар сызықтармен ауыстырылады. Жақындау үшін келесі толқын пішіндерін анықтайық (2.7-сурет):

- 1) $S_1[n]$: үшбұрышты 45 градус - сигналдың орташа айналу жылдамдығы;
 - 2) $S_2[n]$: тікбұрышты - сигнал фронтының жоғары көтерілу және түсу жылдамдығы;
 - 3) $S_3[n]$: үшбұрышты 30 градус - баяу айналдыру жылдамдығы.
- [10] сәйкес сигналдың пішіні анықтау сипаттамаларына әсер етпейді.



2.7- сурет – Анықталатын оқиғалардың мысалы

Цифрланған сигналмен жұмыс істейтінімізді ескере отырып, аналитикалық түрдегі аналогтық сигналдың классикалық көрінісінен айырмашылығы, сигналдың цифрлық көрінісі жағдайында, сәйкес үлгілердің санын анықтау жеткілікті. N ұзындығы және олардың мәндері. Тізбектің ұзындығы үшін сигналдың орташа мәнін анықтаңыз X_0

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_0^N x[n] \quad (2.18)$$

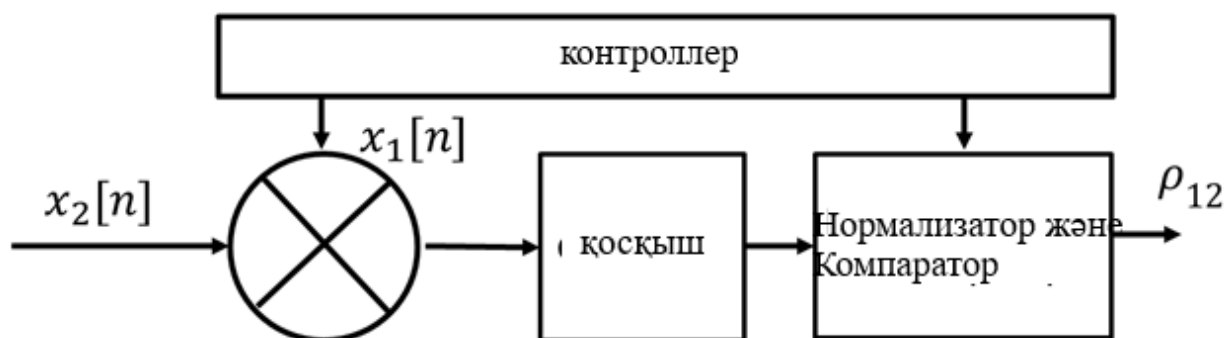
тұрақты ток компонентінің шекті деңгейін анықтау. Содан кейін тұрақты күйде $A_0 = \bar{x}$.

Біз келесі шарттарды анықтаймыз:

Кесте 2.2– Іске асырудың бастапқы шарттары

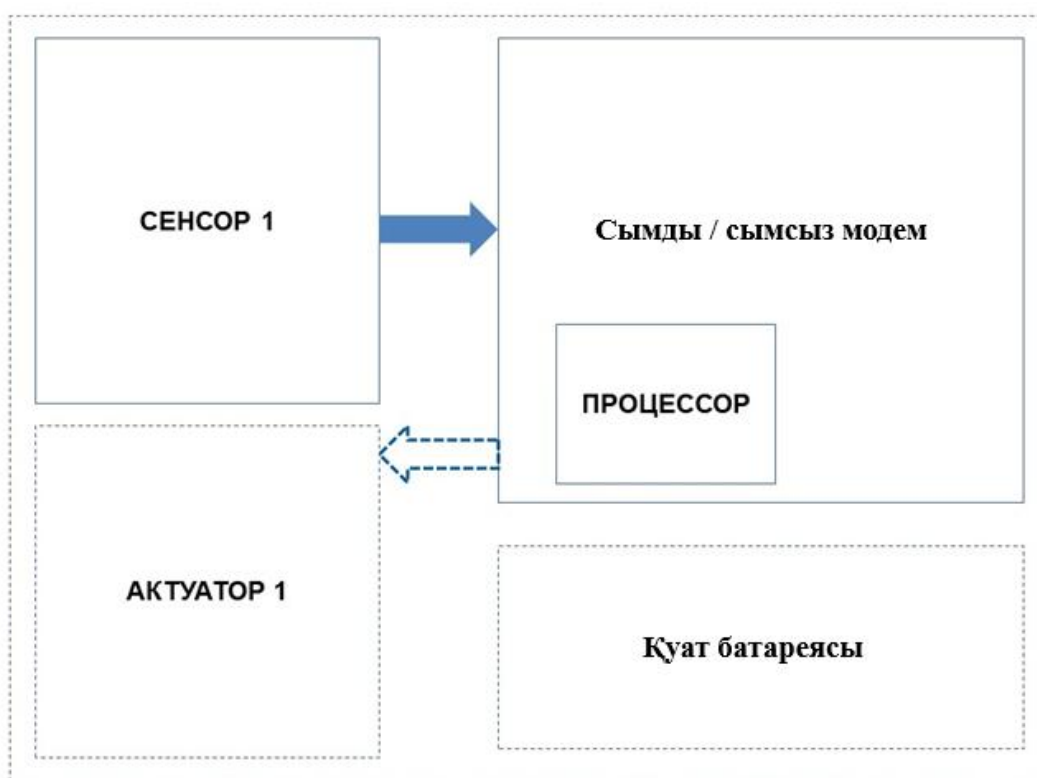
1) Кіріс деректер ағынының үлгілерінің мәндерінің диапазоны $[0; K-1]$, мұндағы $K = 256; 1024; 16384$ ADC параметрлерімен анықталады.
2) Орташа сигнал мәні $A_0 = \bar{x}$, реттілік ұзындығымен X_0 ;
3) $[0 < A_0 \leq K-1]$;
4) $[A_0 < S_1[n] \leq K-1]$;
5) $[A_0 < S_2[n] \leq K-1]$;
6) $[A_0 < S_3[n] \leq K-1]$;
7) ADC параметрлерімен анықталатын SR іріктеу жиілігі.

(2.15) өрнекке сәйкес соңғы құрылғыда жалпы жағдайда іске асырылуы тиіс схема 2.8 суретте көрсетілген, мұндағы $x_1(n)$ анықтамалық сигнал болып табылады және $x_2(n)$ енгізу реті болып табылады.



Сурет 2.8 - Соңғы IoT құрылғысы үшін іске асырылған корреляциялық өңдеудің блок-схемасы

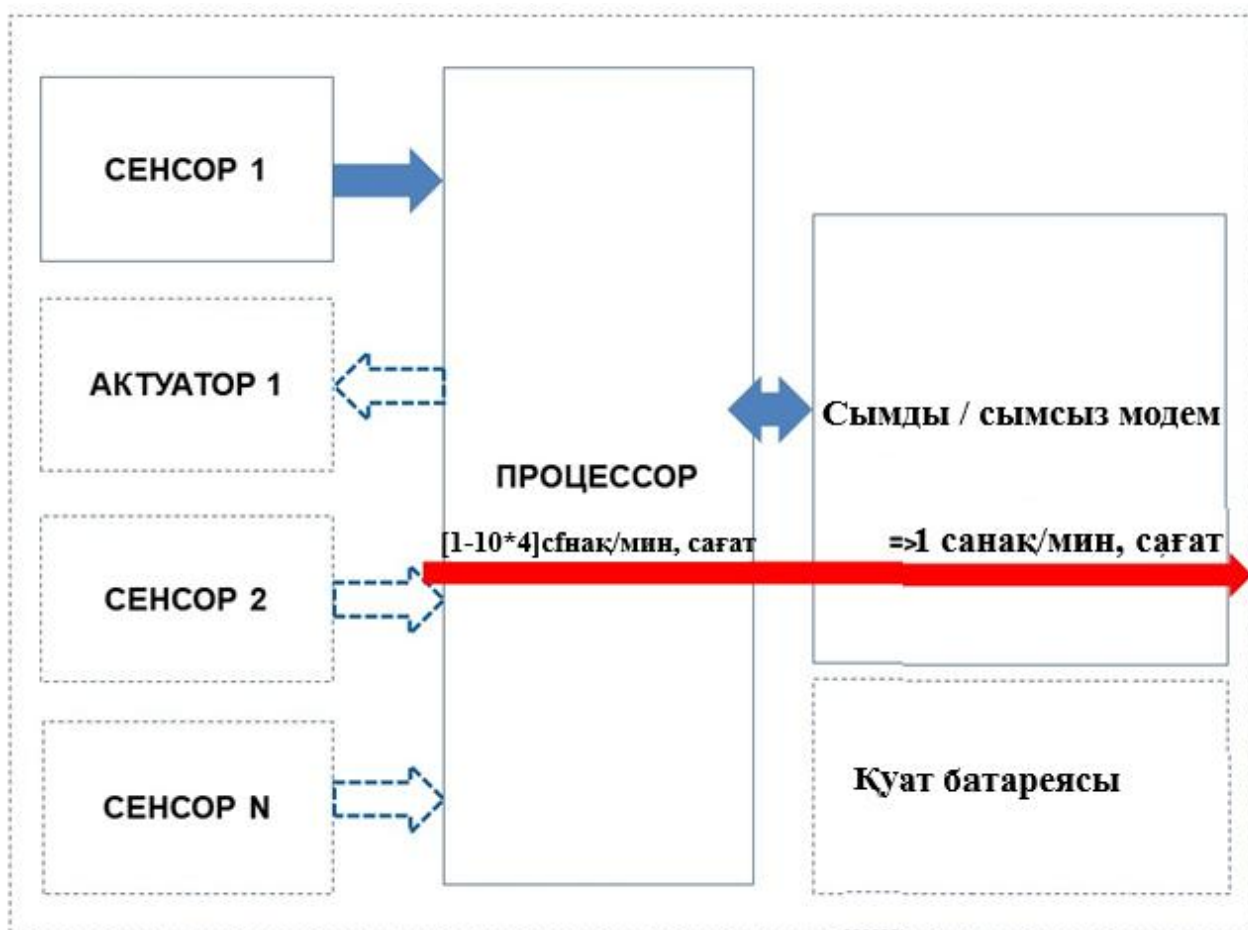
Соңғы IoT автономды құрылғысының типтік архитектурасы 2.9-суретте көрсетілген және сенсорды (датчикті) қамтиды; сымсыз (сымды) модем, ол өз кезегінде процессорды, батареяны және басқару әрекеттерін жүзеге асыратын жетекті қамтиды.



2.9-сурет - Соңғы IoT құрылғысының типтік блок-схемасы

Сондықтан 1-тарауда бұрын талқыланған жұмыстардың авторлары есептеулер қақпа деңгейінде және одан жоғары орындалатын Edge және Cloud тәсілдерін басшылыққа алады.

Келесі соңғы құрылғы архитектурасы ұсынылған (2.10-сурет).



2.10-сурет - Соңғы IoT құрылғысының ұсынылған блок-схемасы

Бұл архитектура алдыңғы архитектурадан (2.9-сурет) корреляциялық өңдеуге арналған бөлек процессордың болуымен ерекшеленеді. Мысал ретінде, суретте процессордың функциясы соңғы құрылғы арқылы берілетін деректер көлемін секундына ондаған мыңнан минутына үлгілердің бірліктеріне дейін азайту болып табылатынын көрсетеді.

Сәйкес сүзу тапсырмаларын прототиптеу және жүзеге асыру үшін қолайлы болуы мүмкін сандық құрылғылардың бірнеше түрі бар - бұл микроконтроллерлер (MCU), цифрлық сигнал процессорлары (DSP) және бағдарламаланатын логикалық интегралды схемалар (FPGA). Микроконтроллер құрылғыларының әлеуетті ыңғайлылығы олардың кірістірілген сенсорлары мен аналогты-цифрлық түрлендіргіштердің (ADC) болуы, бірақ микроконтроллердің өзінің де, оның құрамдас элементтерінің де тактілік жиілігі мен разрядтық тереңдігі шектеулі.

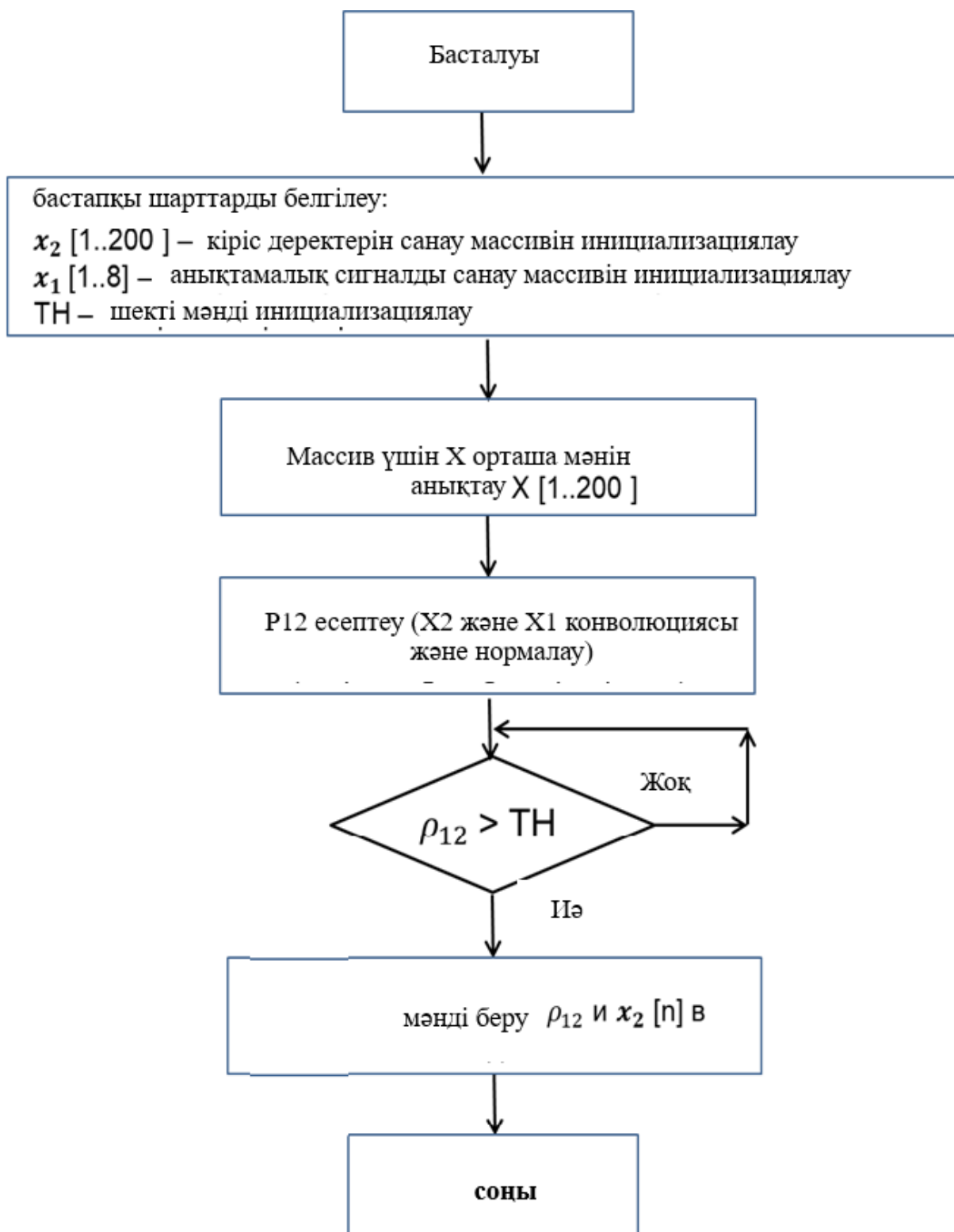
Микроконтроллерлер мен цифрлық сигнал процессорлары операцияларды дәйекті түрде орындайды, сондықтан параллельді ағындардың үлкен санын өңдеу қажет болса, жадтың және регистрлік қатынастың сәйкес параллель саны және құрылғы кіріске кірген сәттен бастап сигналды өңдеу кідірісі қажет болады. өнімі айтарлықтай болады. Сигналдарды өңдеудің цифрлық алгоритмдерін енгізу мүмкін еместігіне дейін. Сондықтан, DSP және MCU ұсынылған әдіс үшін өте шектеулі қолдану мүмкіндігіне ие.

FPGA құрылғылары сәйкес сүзгі жағдайында жылдам параллель өңдеудің ең жақсы нұсқасы болып табылады және бит жылдамдығына (SR үлгі жылдамдығы) инвариантты болып табылады. ASIC (қолданбалы интегралды схемалар) сенсор(лар) мен процессорды қамтитын чиптегі жүйені (SoC) іске асыру жағдайында әсіресе перспективалы болып табылады [23]. Жаппай өндірісте бұл жинақ SoC-тің төмен жалпы құнын қамтамасыз етеді.

Анықтамалық тізбектегі үлгілердің санын анықтаңыз $x_1[n]=8$, сәйкесінше, $N = 8$. 2.2-кестеде бұрын анықталған шарттарды ескере отырып, алгоритмнің блок-схемасы келесідей (2.11-сурет).

Модельдеу ортасы ретінде MATLAB пайдаланылды. Ең алдымен [25...35] диапазонында псевдокездейсоқ сандар тізбегі құрылды, деректер массивінің өлшемі = 1 миллион үлгі. Оқу сыйымдылығы - 8 = бит (int8). Модельдеу деректер ағынының реттілігінің ұзындықтары үшін жүргізілгенін атап өткен жөн $x_2[n]$ 10 миллион таңбаға дейін. Нәтижелерді ұсынудың анықтығы үшін, тізбектің ұзақтығы $x_2[n]$ 200 санауға дейін қысқарды.

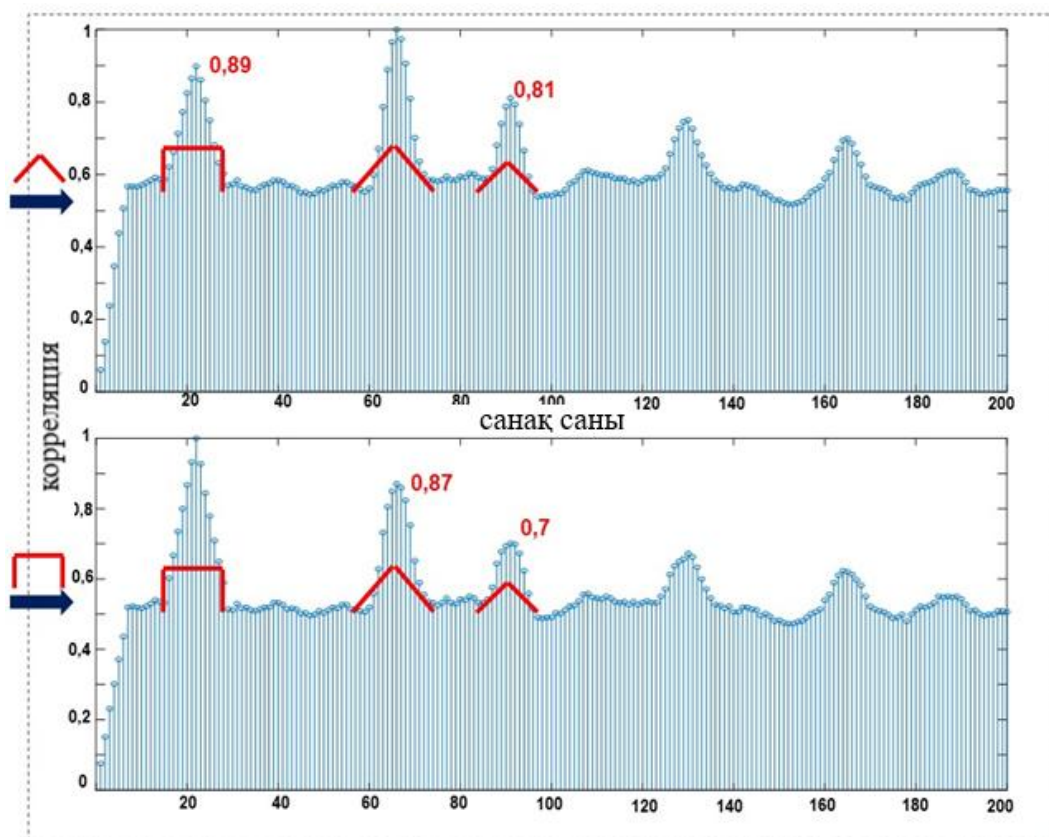
Жасалған реттілікке жарылыстар қосылды – үшбұрышты $S_1[n]$, төртбұрышты $S_2[n]$ және $S_3[n]$, ұзындығы 8-ге тең, сондай-ақ 130, 165 және 185 аймақтағы ұқсас оқиғалардың саны (жарылу) әртүрлі тік және амплитудалық үшбұрышты пішінді санау. Тәжірибелік тұрғыдан алғанда, аномальды жарылыстардағы үлгілердің саны SR сынама алу жиілігіне байланысты. Осылайша, екі қолдау тізбегі анықталды. Ал $x_1[n]$ үшбұрышты және төртбұрышты сигналдар үшін.



2.11-сурет – Корреляцияны өңдеу алгоритмі

Жоғарыда аталған алгоритмге сәйкес модельдеу нәтижелері 2.12-суретте көрсетілген. Түсінікті болу үшін корреляциялық мәндер берілген. ρ_{12} компараторға дейін, яғни TH шекті мәніне негізделген шекті орындауға дейін.

Соңғы мәнді беру ρ_{12} модемге, ТН деңгейінен асқанда, ретінің сәйкес элементімен бірге шығарылуы керек $x_2[n]$.

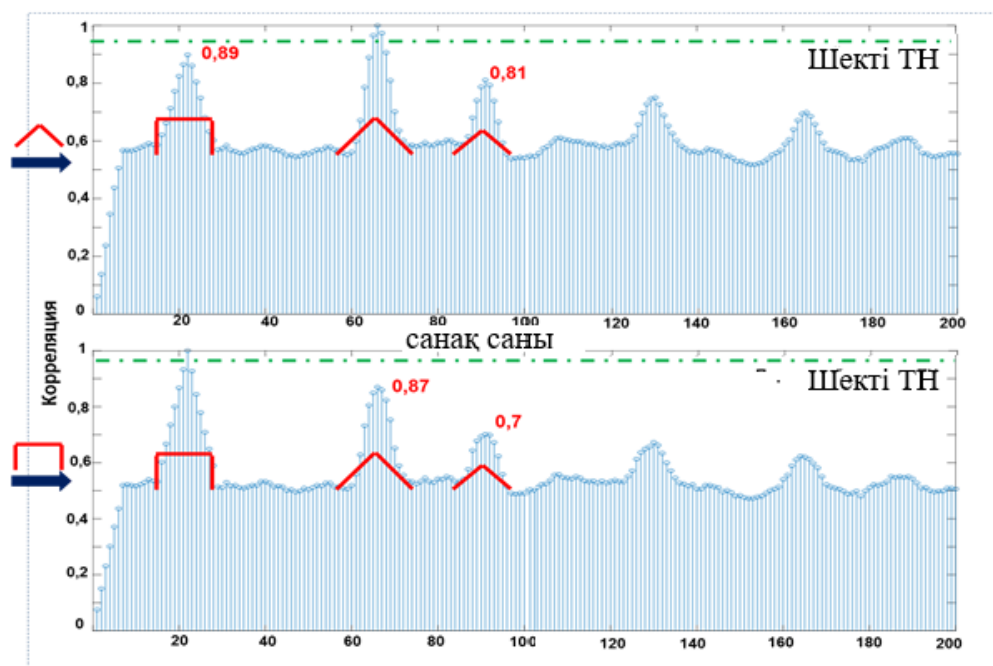


2.12- сурет - Әр түрлі типтегі сигналдар үшін корреляциялық мәндер. а) жоғарыдан – үшбұрышты тірек сигналы үшін б) төменнен – тік бұрышты тірек сигналы үшін.

Анықтамалық ретпен 2.12-суреттен көрініп тұрғандай $x_1[n]$ деректер ағынында тікбұрышты пішін оқиғасы болған кезде үшбұрышты пішіннің ең үлкен корреляция мәні $S_2[n] \rho_{12} = 0,89$, егер түрдегі үшбұрышты оқиға болса $S_1[n]$ максималды корреляциялық мән $\rho_{12} = 1$, ал үшбұрышты пішін үшін $S_3[n] \rho_{12} = 0,81$.

Анықтамалық сигнал болған жағдайда $x_1[n]$ тікбұрышты пішін және деректер ағынының ұқсас тізбегі (2.13-сурет), жағдай өзгереді және қазірдің өзінде төртбұрышты пішін оқиғасы үшін $S_2[n]$ корреляциялық мән $\rho_{12} = 1$ және үшін басқа оқиғалар – тиісінше 0,87 және 0,7.

Сонымен қатар, 2.12-2.13-суреттерде 130, 165 және 185 саны аймағында жарылыстар бар. Бірақ тікбұрышты негіз тізбегі үшін корреляцияның максималды мәндері үшбұрышты негіз тізбегіне қарағанда аз.



2.13-сурет - Сигналдардың әртүрлі түрлері үшін корреляциялық мәндер үшін ТН шекті деңгейі. а) жоғарыдан – үшбұрышты тірек сигналы үшін б) төменнен – тік бұрышты тірек сигналы үшін.

Бұрын айтылғандай, сигнал-шуылдың максималды қатынасын алу тұрғысынан сәйкес келетін сүзгі сигналды өңдеудің оңтайлы құрылғысы болып табылады [29].

Осылайша, сигнал-шуылдың максималды қатынасы критерийіне сәйкес, IoT құрылғыларына бейімделген сәйкес сүзгілеу әдісін пайдалану дискретті құрылғыларда іске асырылған кезде әртүрлі пішіндегі сигналдарды (оқиғаларды) анықтау мәселесін шешуге мүмкіндік береді деп айтуға болады.

Алгоритмнің тиімді жұмыс істеуі үшін ТН шекті мәнін анықтау қажет. Берілген шарттар үшін $TN = 0,9$ деңгейінде тиімді бөлуге қол жеткізіледі.

Бөлгіштің соңғы мәні 2-нің дәрежесіне эквивалентті санға дейін азайтылады, бөлу операциясы ең аз мәнді цифрларды қысқарту арқылы орындалады. Жоғарыда айтылғандай, бұл операция тек бір қосымша циклды қажет етеді немесе оны басқа операциямен бір уақытта орындауға болады.

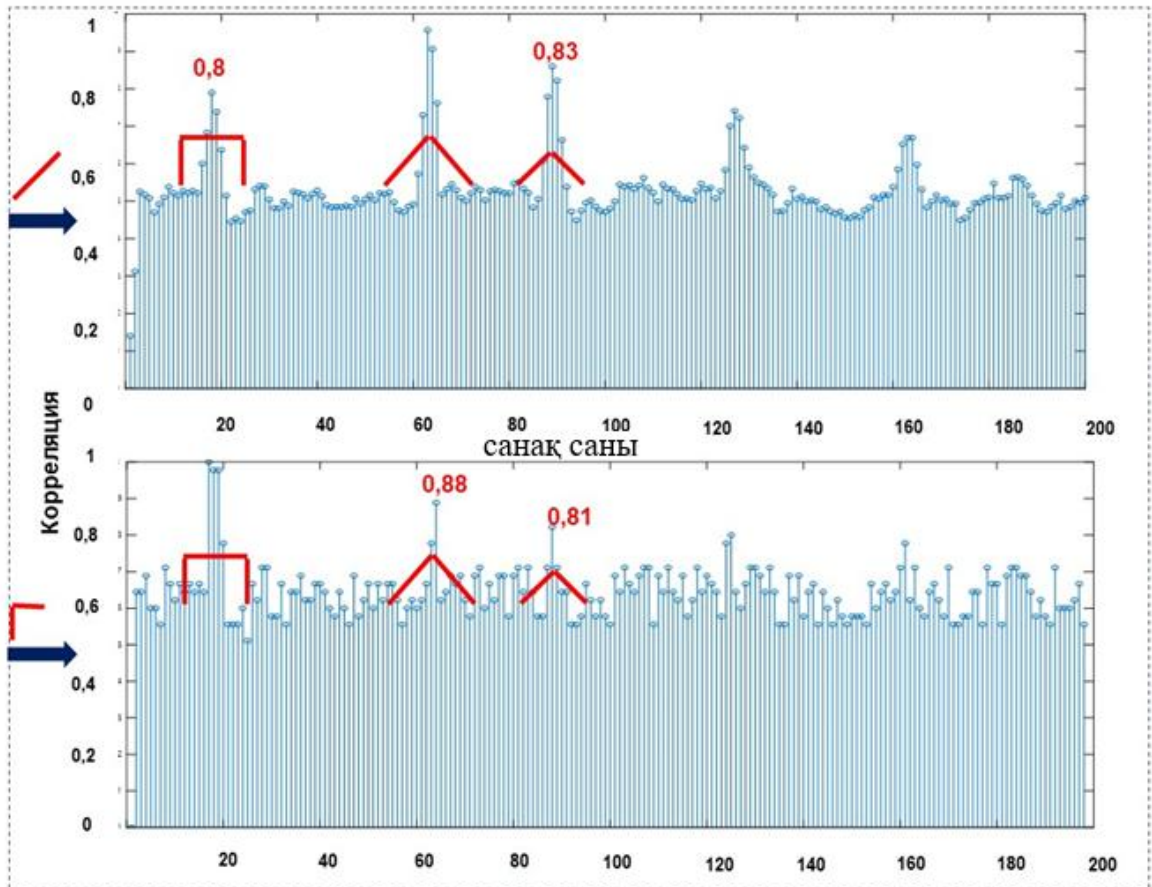
3 Корреляциялық өңдеу әдісінің параметрлері жақсарту жолдарын зерттеу

3.1 Корреляция әдісінің сипаттамаларын зерттеу

Алдыңғы тарауда корреляция әдісі ұсынылып, толқын пішіндері қарастырылды $S_1[n]$ -үшбұрыш 45 градус, $S_2[n]$ -тікбұрышты және $S_3[n]$ -үшбұрышты 30 градус. Соған қарамастан, жүріп жатқан процестерді талдау тұрғысынан белгілі бір деңгейден асып кету фактісі емес, сигнал фронтының фактісі, пішіні мен көтерілу жылдамдығы үлкен қызығушылық тудырады. Тізбектер $S_1[n]$, $S_2[n]$ және $S_3[n]$ көтеріліп жатқан майданның учаскелері мен майданның құлдырау учаскелерін қамтиды. Бұл талданатын тізбектің ұзындығын – анықтамалық сигналды (сүзгі реті) қысқарту мүмкіндігін және сәйкесінше үлгілер санын және есептеу операцияларының санын қысқарту мүмкіндігін білдіреді.

Анықтамалық қатардағы үлгілер саны болсын $x_1[n] = 3$, сәйкесінше сүзгі реті $N = 3$.

Екі параллельді сәйкестендірілген сүзгілерден тұратын жүйелік модельді жүзеге асыруды қарастырыңыз. Бірінші SF сілтеме тізбегі бар $x_1[n]$ үшбұрышты толқын пішіні үшін, ал екінші SF - тікбұрышты. Операция алгоритмі 2.11-суреттегі 2-тарауда берілген алгоритмге толық сәйкес келеді. Модельдеу деректер ағынының реттілігінің ұзындықтары үшін жүргізілді $x_2[n]$ 10 миллион таңбаға дейін. Деректер тізбегі тіктөртбұрыштың «жарылуларын» қамтиды $S_2[n]$ және үшбұрышты $S_1[n]$ $S_3[n]$ пішіндер, ұзындығы 8 санау, сондай-ақ 130-шы, 165-ші және 185-ші санау аймағындағы бірқатар ұқсас оқиғалар (жарылулар), әр түрлі тік және амплитудалық үшбұрышты пішін. Модельдеу нәтижелері 3.1-суретте көрсетілген. Нәтижелерді ұсынудың анықтығы үшін, тізбектің ұзақтығы $x_2[n]$ 200 санауға дейін қысқарды.

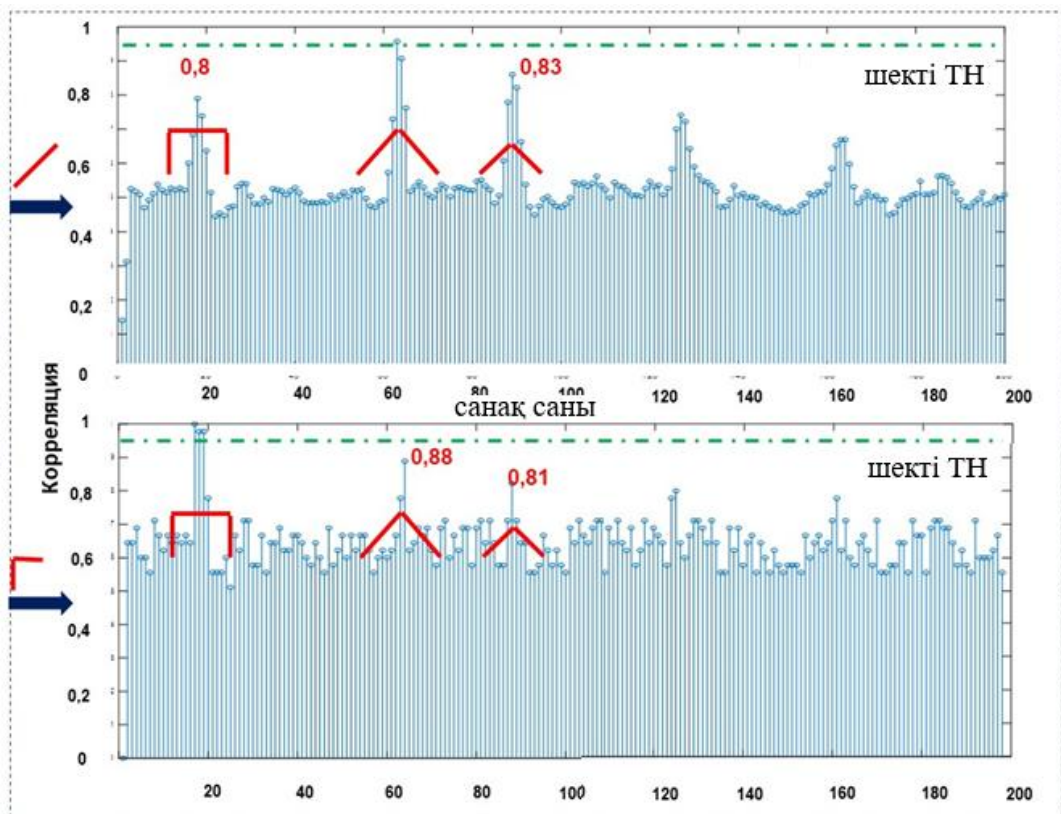


3.1- сурет - Ұзындығы N кесілген сигналдардың әртүрлі түрлері үшін корреляция мәндері. жоғарғы – үшбұрышты анықтамалық сигнал үшін, төменгі – тікбұрышты анықтамалық сигнал үшін

Анықтамалық ретпен 3.1-суреттен көрініп тұрғандай $x_1[n]$ өсу жиегі түрінде, деректер ағынында шаршы толқын сигналы болған кездегі корреляцияның максималды мәні $S_2[n] \rho_{12} = 0,80$, үшбұрышты сигнал түрі болған кезде $S_1[n]$ максималды корреляциялық мән $\rho_{12} = 0,98$, ал түрдің үшбұрышты пішіні үшін $S_3[n] \rho_{12} = 0,83$.

L-тәрізді анықтамалық сигнал $x_1[n]$ және ұқсас жағдайда тікбұрышты пішінді сигнал үшін деректер ағынының реттілігі $S_1[n]$ максималды мән $\rho_{12} = 1$, ал қалған оқиғалар тисінше үшін 0,88 және 0,81

Шекті деңгейді $TH = 0,92 - 0,95$ (3.2-сурет) орнату да жүйеге сигнал түрлерін ажыратуға мүмкіндік береді. Бірақ көбейту амалдарының саны $r_{12}(j)$ негізгі әдіспен салыстырғанда 2 есеге қысқарды.

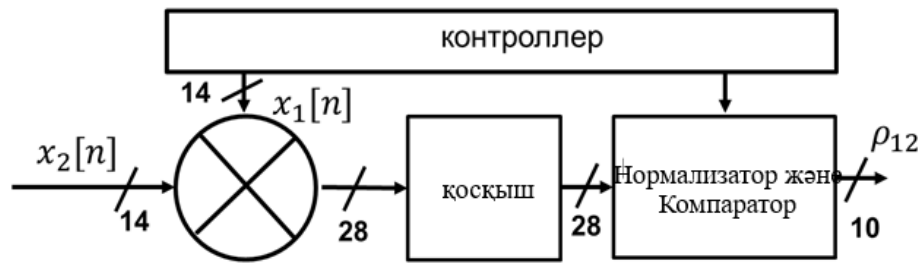


3.2- сурет - Ұзындығы N кесілген сигналдардың әртүрлі типтері үшін корреляция мәндері үшін шекті деңгей ТН. жоғарғы - үшбұрышты анықтамалық сигнал үшін, төменгі - тікбұрышты анықтамалық сигнал үшін

3.2 Бит тереңдігі мен импульстік жауап ұзындығының әсерін зерттеу

Кіріс деректер ағынының бит тереңдігінің және қажетті аппараттық ресурстарға импульстік жауаптың ұзақтығының әсерін талдап көрейік. Cyclone IV E [16] (Intel/Altera) FPGA тобы жүйені прототиптеу үшін негіз ретінде пайдаланылды. Бұл энергияны үнемдейтін қолданбалар үшін оңтайландырылған желідегі ең көп таралған отбасылардың бірі. Модельдер MATLAB көмегімен жүзеге асырылды. FPGA жүйесінде іске асыру үшін Verilog HDL аппараттық сипаттама тілі пайдаланылды.

Тәжірибеде $N = 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28$ және 32 тапсырыстары үшін үшбұрышты сигнал қолданылды. Бит тереңдігі 14 бит, бұл мәндер ауқымын береді $[0...16383]$ құрылғының кірісінде. Осылайша, MATLAB жүйесінде жасалған үлгілерге сәйкес сегіз 14-биттік FPGA сәйкес сүзгілер енгізілді. Биттік тереңдікті ескере отырып, корреляциялық өңдеуді жүзеге асырудың құрылымдық схемасы 3.3-суретте көрсетілген.



3.3- сурет - Соңғы IoT құрылғысы үшін іске асырылған корреляциялық өңдеудің блок-схемасы

Кесте 3.1- N, 14-биттік сыйымдылыққа байланысты ресурстарды пайдалану

Сүзгі тәртібі, N	4	8	12	16	20	24	28	32
LE саны (14 бит)	199	647	795	1304	1588	1802	2158	2846

N = 4, 199 LE сүзгі үшін 63 регистр қажет, ал N = 32 үшін пайдалану 2646 LE, 477 регистрді құрады. Нәтижелері бойынша қажетті FPGA аппараттық ресурстарының сызықты емес өсуі байқалады.

Сүзгі реті N 2 есе артқанда (N = 4-тен N = 8-ге дейін), қажетті ресурстардың мөлшері 3,25 есе артады. Ал N 8 есе артқанда (N = 4-тен N = 32-ге дейін), қажетті ресурстардың көлемі 14,3 есеге артады (кесте 3.2).

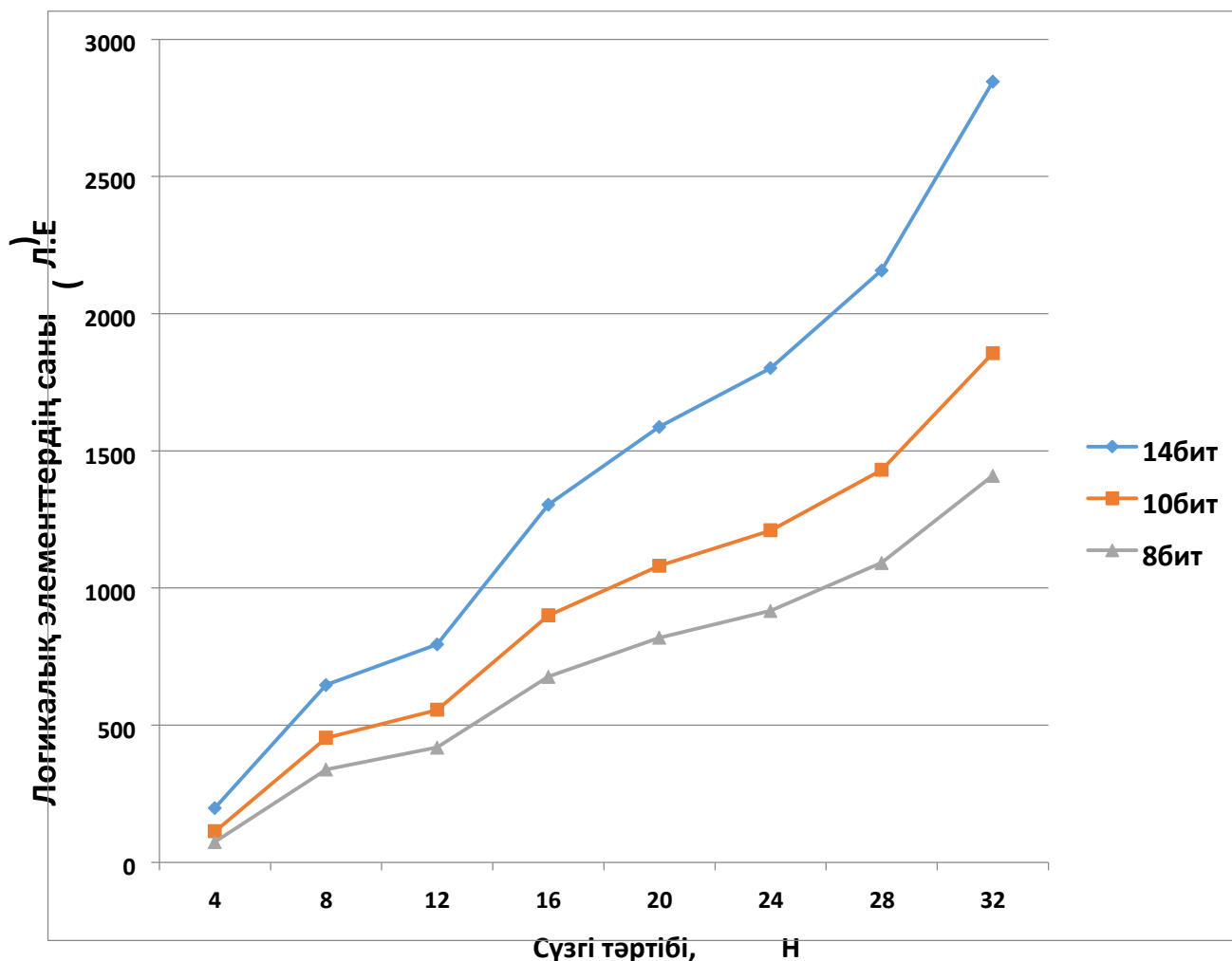
N=4 үшін операциялар саны N=3-ке қарағанда аз, өйткені екінші жағдайда бөлу операциясы ресурстарды көп қажет етеді.

Кесте 3.2 - N-ге байланысты ресурстарды пайдалану, әртүрлі бит тереңдігімен

Сүзгі реті, N	4	8	12	16	20	24	28	32
LE саны (14-бит)	199	647	795	1304	1588	1802	2158	2846
LE саны (10-бит)	113	454	556	900	1081	1210	1430	1856
LE саны (8-бит)	75	339	419	677	819	917	1092	1410

Қажетті FPGA аппараттық ресурстары үшін ұқсас нәтижелер 10-биттік және 8-биттік кіріс реттілігінің бит тереңдіктері үшін де алынды. Атап айтқанда, 10 разряд үшін: N сүзгі реті 2 есе артқанда (N = 4-тен N = 8-ге дейін), қажетті ресурстардың мөлшері 4 есе артады. N 8 есе артқанда (N = 4-тен N = 32-ге дейін) қажетті ресурстардың мөлшері 16,4 есе артады.

8-бит үшін: N сүзгі реті 2 есе артқанда ($N = 4$ -тен $N = 8$ -ге дейін), қажетті ресурстар мөлшері 4,5 есе артады. $N = 8$ есе артқанда ($N = 4$ -тен $N = 32$ -ге дейін) қажетті ресурстардың мөлшері 18,8 есе артады. Қажетті аппараттық ресурстар көлеміне тәуелділік нәтижелері (LE) әр түрлі разрядтық тереңдіктегі сүзгі ретіне байланысты 3.4-суретте көрсетілген.



3.4- сурет – Әртүрлі разряд тереңдіктері үшін сүзгі ретіне байланысты қажетті аппараттық ресурстардың (LE) мөлшері.

14-биттік үшін қажетті ресурстар сипаттамасының тіктігі 8-биттікке карағанда жоғары. $N = 20$ ретіне дейін тәуелділіктің өсуі сызықтық, содан кейін қажетті аппараттық ресурстардың сызықтық емес өсуі байқалады. Cyclone IV E құрылғысы (EP4CE6E22) үшін $N=32$ және 14-бит үшін логикалық элементтерді (LE) пайдалану 35%-дан аз.

Логикалық синтез эксперименттің тазалығы үшін кірістірілген көбейткіштерді қолданбай орындалады, бұл ASIC үшін синтез процедурасына тең.

FPGA ресурстарын пайдалану (Utilization) тек мультипликаторлар мен интеграторлар үшін талданады. Нормалау операциясы (бөлу және квадрат түбір)

үшін қажетті логикалық ресурстардың көлемдері берілмейді, өйткені қалыпқа келтіру операциясы қысқарту операциясына дейін азаяды.

Максималды тактілік жиілік үшін алынған нәтижелерді қарастырыңыз F_{max} әртүрлі ұзындықтағы N және қашу тереңдігі үшін [24]. Деректер 3.3-кестеде жүйеленген.

Алынған тактілік жиіліктердің мәндері маңызды F_{max} , қосымша оңтайландыруларсыз автоматты режимде синтез параметрлерімен, сонымен қатар микросұлба түйреуіштерін тағайындаумен байланысты қосымша шектеулерсіз (пиндік жоспарлаушы) және жеке логикалық блоктарды пайдаланумен алынды. Кіріс пен шығысқа сәйкес келетін FPGA түйреуіштерін қатаң тағайындау жағдайында (кіріс-шығыс түйреуіштері), біз төмендеуді күтуіміз керек F_{max} .

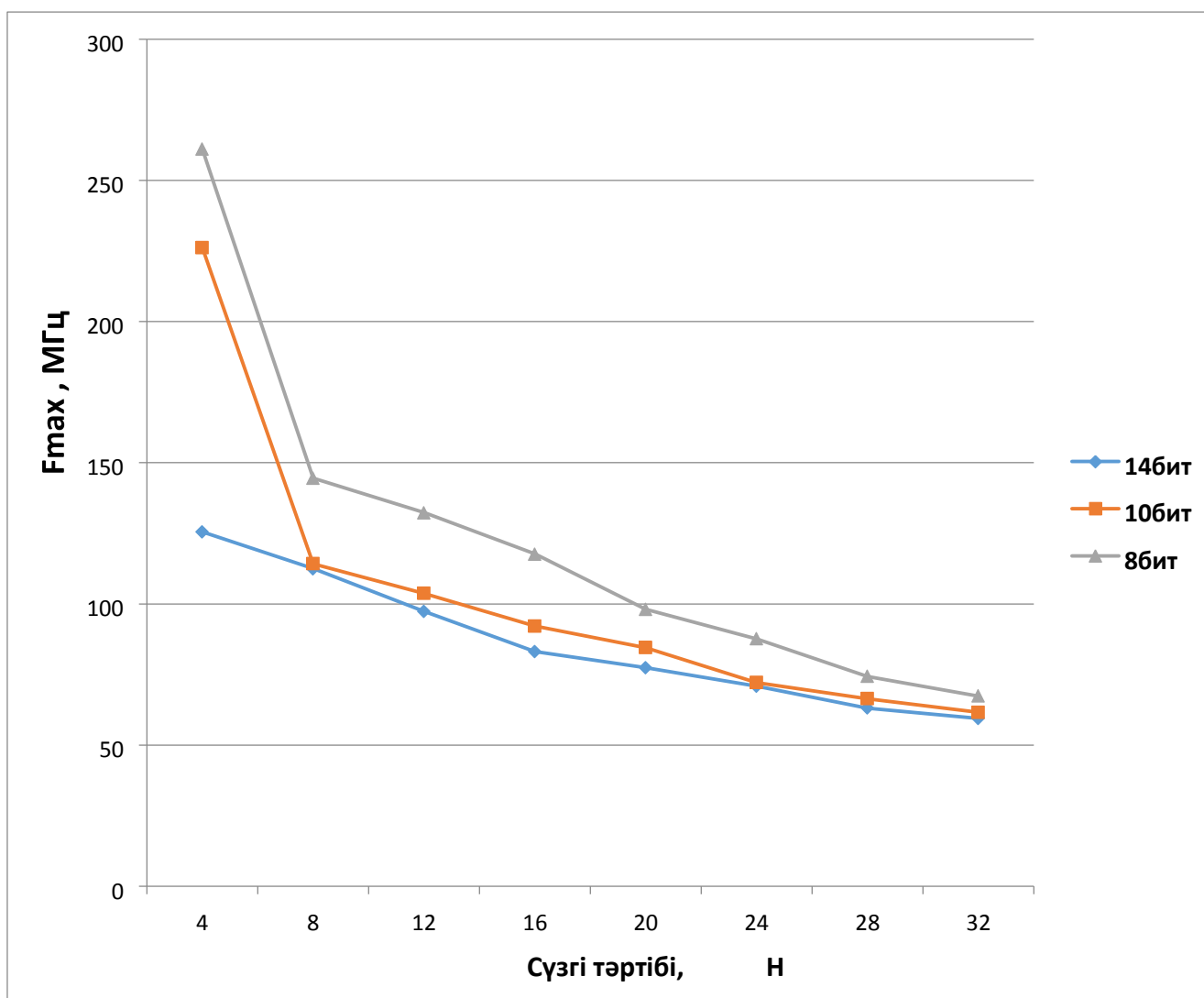
Кесте 3.3 – Максималды тактілік жиілік F_{max} N -ге байланысты, әртүрлі сыйымдылықпен

Сүзгі реті, N	4	8	12	16	20	24	28	32
F_{max} , МГц (14-бит)	125,58	112.5	97,43	83.11	77.4	70,85	63.14	59,46
F_{max} , МГц (10-бит)	226.19	114.25	103,74	92.15	84,51	72.15	66.43	61,61
F_{max} , МГц (8-бит)	261.1	144,57	132.37	117,73	98.14	87,64	74.32	67.36

Алынған нәтижелерге сәйкес негізгі фактілерді бөліп көрсету керек:

- 1) Ең кіші бит тереңдігі үшін ең жоғары тактілік жиілікке қол жеткізіледі.
- 2) 10-разрядты және 8-разрядты разрядтар үшін $N = 4$ -тен $N = 8$ -ге көшу кезінде мән F_{max} тиісінше 1,97 және 1,8 есе төмендейді.
- 3) Салыстырмалы түрде үлкен 14 биттік тереңдік үшін мәндердің біркелкі төмендеуі байқалады F_{max} , ал $N = 4$ ретінен $N = 8$ -ге өткенде мән F_{max} 11%-ға төмендейді және тек $N = 4$ ретінен $N = 32$ -ге өткенде мәні F_{max} 2,1 есеге төмендейді.

Сонымен қатар, алынған нәтижелер 3.5-суретте көрсетілген.



3.5- сурет - Максималды тактілік жиілік F_{max} әр түрлі бит тереңдіктері үшін сүзгі ретіне байланысты.

Негізгі қорытындылар төмендегідей:

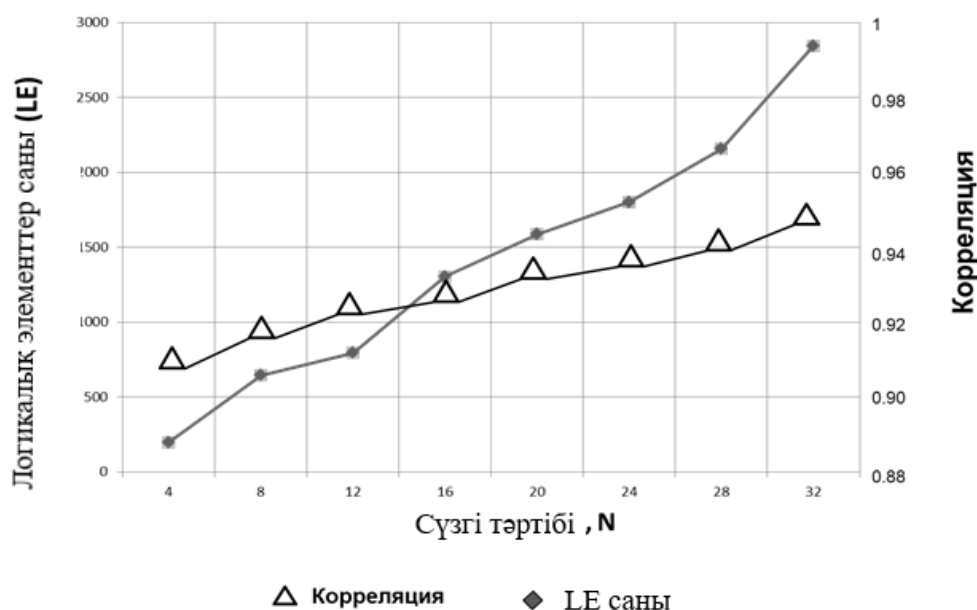
1) Максималды тактілік жиілікке (өнімділікке) жету үшін бит тереңдігін азайту керек. Бұл әрқашан динамикалық диапазонның қысқаруын білдірмейді, бірақ орташа мәннің айналасындағы жұмыс ауқымының тарылуы. Хенгізу деректерінің реттілігі.

2) Максималды тактілік жиілікке (өнімділікке) қол жеткізу үшін N мәнін азайту керек.

Сонымен қатар, N сүзгі ретіне байланысты қол жеткізілген дәлдік пен FPGA қажетті аппараттық ресурстары арасындағы байланысты орнату үшін эксперименттік деректер негізінде зерттеу жүргізілді, нәтижелер [29] берілген.

Эксперименттік шарттар бұрын жасалған жағдайларға ұқсас, атап айтқанда, разряд тереңдігі 14-бит. $N = 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28$ және 32 бұйрықтар, $S_1[n]$.

Нәтижелер [26] бір сызда біріктірілген екі қисық түрінде берілген (3.6-сурет).



3.6- сурет - Сүзгі ретіне байланысты корреляция мәндері және логикалық элементтердің саны (LE).

Графиктерден (3.6-сурет) көрініп тұрғандай, N=4-тен 32 мәнге өзгергенде ρ_{12} тұрақты түрде 0,91-ден 0,95-ке дейін өседі. N = 4 сүзгіге 199 LE, 63 регистр қажет және 0,91 корреляциялық мәнге жетеді. Ал N = 32 үшін пайдалану 2646 LE, 477 регистр болды және 0,95 корреляциялық мәнге қол жеткізілді. N = 24-тен бастап қажетті FPGA ресурстарының сызықты емес өсуі байқалады.

Берілген шарттар үшін сүзгі реті 8 есе жоғарылағанда (N = 4-тен N = 32-ге дейін), кросс-корреляция коэффициенті үшін күшейту ρ_{12} ойдан шығарылған:

$$0,95 - 0,91 / 0,91 * 100 \% = 4,4 \%,$$

сонымен бірге FPGA ресурстарын пайдаланудың артуы мынаны құрады:

$$2646 - 100 / 199 * 100\% = 1229\%$$

Негізгі қорытынды мынада: бұл жағдайда жүйені жобалау кезінде қажетті дәлдік пен аппараттық ресурстарға қажеттілік арасындағы теңгерімді дұрыс анықтаған жөн. Радиолокациялық жүйелердегідей дәлдікті жақсарту үшін N сүзгісінің тәртібін арттыруға ұмтылудың қажеті жоқ.

Егер деректер ағынында сигналдардың 100 түрін талдау қажет болса, онда бірінші жағдайда алдын ала мультипликативті бағалау негізінде LE 19 900, ал екіншісінде LE 264 600 қажет болады.

Мұндай көлемге басқа FPGA отбасылары қажет, атап айтқанда, Cyclone - Cyclone 10 GX Device Family тобының максималды сыйымдылығы 220 мың логикалық элементтерді (LE) құрайды [27].

Бүгінгі күні әзірлеушілер FPGA-ның жеткілікті логикалық сыйымдылығының болмауына байланысты бұрын қолданылған тәсілден бас тартуға тырысуда, бұл жобаны бір отбасының бірнеше FPGA-ға параллельизациялау үшін 264,600 LE 2 FPGA-ға бөлуге болады. Қолайлы топ максималды сыйымдылығы 840 000 логикалық элемент (LE) болатын (Stratix V 5SEE9 FPGA) болады [18].

Дегенмен, $N = 32$ кезінде 100 анықтамалық сигналдар үшін параллель өңдеуге жарамды FPGA құрылғысының құны салыстырмалы түрде қарапайым FPGA құрылғысынан екі есе жоғары және 300-700 долларға жетуі мүмкін.

ASIC негізіндегі жүйені мақсатты енгізу жағдайында бұл бағалау да өте маңызды. ASIC жүйесінде жүзеге асырылған кезде, қақпалардың саны және, тиісінше, қажетті аумақ құны, функционалдығы және салмақ пен өлшем сипаттамалары үшін шешуші мәнге ие. Логикалық ресурстар неғұрлым аз пайдаланылса, ауданы кішірек және қолайлы микросұлбалардың кірістілік пайызы соғұрлым жоғары болады, ал микросұлбалардың құны төмен болады. Сондықтан, жұмсалған аппараттық ресурстарды барынша азайту мәселесі микросұлбаларды әзірлеуге қатысты барлық жобаларда өзекті болып табылады.

3.3 Корреляция әдісінің параметрлерін жақсарту жолдарын зерттеу

Интернет заттар жүйесінің соңғы құрылғысы бұлтқа жіберілетін деректердің ең аз кідірісі мен ең аз мөлшерін қамтамасыз етуі керек болғандықтан, барлық тиісті операциялар оңтайландырылған болуы керек. Нормалау коэффициенті болып табылатын (2.15) өрнектің бөлгішін толығырақ қарастырайық

$$\left[\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) * \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_2^2(n) \right] = \frac{1}{N} \left[\sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) * \sum_{n=0}^{N-1} x_2^2(n) \right] \quad (3.1)$$

DSP үшін C/C++ жоғары деңгейлі тілінде әлеуетті іске асырудан, FPGA немесе ASIC сияқты сандық құрылғы үшін іске асырудан айырмашылығы, бұл коэффициент айтарлықтай есептеу ресурстарын және қосымша кідіріс сызықтарын талап етеді және нарыққа шығу уақытын айтарлықтай арттырады (нарыққа дейін). нарық).

2-тарауда бұрын айтылғандай, атап айтқанда, кіріс тізбегі үшін құбыр сомасын есептеуді бөлек жүзеге асыру қажет.

$x_2^2(n)$ ішінде. реттілік үшін $x_1^2(n)$, бұл сүзгі коэффициенттерінің жиынтығы, реттілік элементтерінің мәндері тұрақты және әр циклде өзгермейтіндіктен жағдай жеңілдетілген.

Әрі қарай, квадрат түбір мен бөлуді есептеу операциясын жүзеге асыру керек. Бұл сандық құрылғыларға арналған ресурстарды көп қажет ететін операциялардың кейбірі.

Болжамдарды ескере отырып (2.16)

$$\sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) \geq \sum_{n=0}^{N-1} x_2^2(n) \quad (3.2)$$

Бөлгіштің өрнегі жеңілдетілген (2.17)

$$\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) = \text{const} \quad (3.3)$$

(2.17) өрнегі үшін нәтижені бір рет есептеп, оны регистрде сақтау жеткілікті. Содан кейін іздеу кестесін (LUT) пайдалану үшін нәтиже 2 дәрежесіне дейін азаяды. Бұл тәсіл елеусіз ішкі жад ресурстарын қажет етеді, бірақ азырақ операцияларды, қажетті аппараттық ресурстарды және циклдар саны бойынша кідіріс уақытын талап етеді.

Берілетін деректер көлемін азайту тиімділігін бағалау. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, жіберілетін деректер көлемін азайту тұрғысынан әдістің тиімділігін бағалау қажет. [15] екі тәсіл үшін салыстыру жүргізіледі, атап айтқанда, сенсорлық құрылғыдан барлық деректер ағыны Бұлтқа қарай берілуі керек тікелей беру әдісі (айналып өту) және қорытындыға негізделген корреляциялық өңдеу әдіс құрылғысы. Белгілі бір уақыт аралығындағы әдістердің әрқайсысының жұмыс істеуі кезінде бұлтқа жіберілетін деректер көлемі талданады. Айналып өту әдісі жағдайында 23 ГБ деректер 10 минуттан кейін тасымалдануы және сақталуы керек.

Шектеулі уақыт аралығындағы жағдайды талдап көрейік. Zigbee және Thread протоколдарының спецификацияларында MAC деңгейіндегі пакет өлшемі 127 байт. BLE үшін ауқым 27-255 байт, BLE Mesh нұсқасы үшін 27 байт. Егер фрагментация қажет болса (ағымдағы жағдай), 127 байт пакеттерде КБ бірлігі болып табылатын деректер көлемін тасымалдау қажет болғанда, пакет өлшемін қысқартуға болады. Zigbee үшін фрагменттелген пакет өлшемі 64 байт. Thread-де фрагментация желі деңгейіне жылжытылады, сондықтан пакет өлшемі айтарлықтай азаймайды және 92 байтты құрайды [10] - [12].

Ұсынылған есептеулерде біз уақыт белгілері түріндегі толықтыруларсыз, сонымен қатар желі арқылы деректерді беру кезінде әдетте 50% құрайтын сервистік ақпаратсыз (ақпараттың артық болуы) тек деректердің өзін ғана ескереміз. Яғни, деректер пакетінің жалпы ұзындығының жартысы ғана мазмұнды құрайды [14].

Сәйкесінше, бүкіл IoT жүйесі үшін шектеу факторы арнаның өткізу қабілеті болады TR_1 (3.1-сурет). Сәтсіздік жағдайында базалық жағдай $DR \leq M * TR_1$ қолданыстағы байланыс арнасы бойынша QoS қызмет көрсетудің қажетті сапасымен деректер ағынының берілуін қамтамасыз ету мүмкін болмағандықтан жүйе жұмыс істемейтін болады.

Егер SR дискретизация жылдамдығы, сынама алу жылдамдығы немесе сенсорлар саны ұлғайтылса, жіберу және сақтау үшін қажетті деректер көлемі автоматты түрде артады. SR іріктеу жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, IoT жүйесі үшін корреляция әдісін қолданудан түсетін пайда соғұрлым жоғары болады. Төмен іріктеу жылдамдығында (күніне, аптасына немесе айына 1 үлгі) бұл тәсіл тиімсіз болатыны анық.

Егжей-тегжейлі салыстыру үшін үш ең көп таралған IoT протоколдарына үш тәсілді қарастырыңыз - ZigBee, BLE және Thread:

- 1) Бұлтқа тікелей жіберу әдісі (айналып өту).
 - 2) Соңғы құрылғыға негізделген корреляциялық өңдеу әдісі (ұсынылған тәсіл).
 - 3) Келесі алгоритм бойынша жұмыс істейтін қарапайым шекті әдіс: кіріс ағынының есеп мәні шекті деңгейден жоғары болған кезде қабылдағышқа жіберу (Бұлт) $x_2(n) \geq BD$, және басқа жағдайларда бұлтқа тасымалданбаңыз.
- 3.4-кестеде келесі бастапқы шарттарды анықтаңыз:

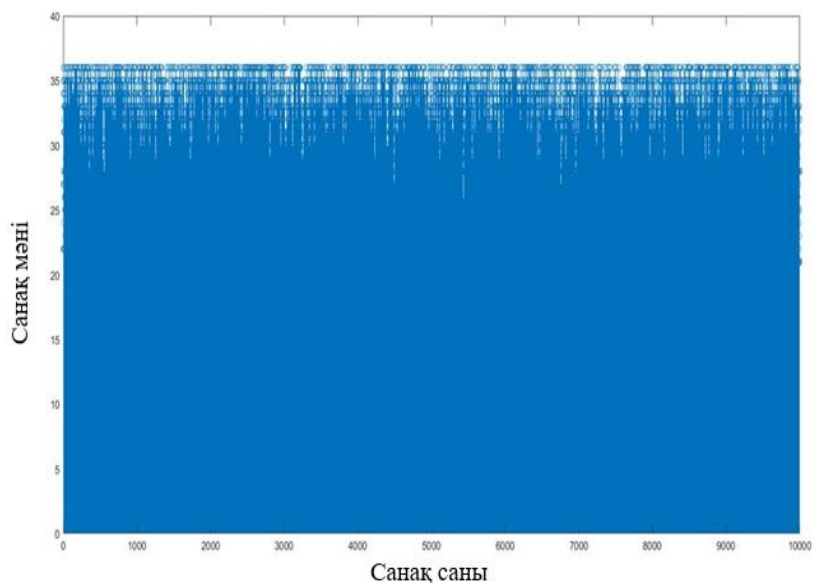
Кесте 3.4 – Бастапқы шарттар

1) Кіріс деректер үлгілерінің мән диапазоны = 14 бит
2) Көлемі деректер қажет үшін берілу = 4 байт үшін сәйкес оқиға орын алған кездегі корреляция және қарапайым шекті әдістер
3) $SR = DR = 5 \text{ MSample/s}$ (модемді енгізу жылдамдығы)
4) 200 үлгідегі оқиғалар саны = 1. Оқиғаның тенденциясын анықтау қажеттілігі (майданның көтерілу жылдамдығы)
5) Соңғы құрылғылардың саны = 1

Ағынның жылдамдығы 5 MSamples/s болсын. Корреляцияны өңдеу алгоритміне (3.11-сурет) және IoT жүйесінің моделіне (2.1-сурет) сәйкес анықталған оқиғалар саны > 1 болса, бұлт жағына үш параметрді жіберу керек - SF нөмірі (оқиға түрі) және мән кросс-корреляция коэффициенті ρ_{12} (2 байт) TH шекті деңгейінен, сондай-ақ сәйкес үлгінің мәнінен асып кетті $x_2(n)$ енгізу реті (2 байт). Тиісінше, сәйкес оқиға анықталған кезде соңғы құрылғыдан қақпаға қарай 4 байтты тасымалдау қажет. Қарапайым шекті әдіс жағдайында, сәйкес оқиға анықталған кезде де 4 байт берілуі керек. Бұл жағдайда оқиғаның сипаттамаларын анықтау қажеттілігі шарты (майданның көтерілу жылдамдығы) Тікелей беру әдісі жағдайында ағынды бұлтқа өзгеріссіз жіберу немесе оны уақыт белгілерімен толықтыру қажет. Бірінші жағдайда дыбыс көлемі әр таңбаға 2 байт, ал екіншісінде 4 байт.

[21...36] ауқымындағы 10 000 үлгіден тұратын сынақ псевдокездейсоқ деректер тізбегін қарастырайық. Бұл реттілік MATLAB жүйесінде жасалған. Бұл реттілік бірқатар оқиғаларды – типті сигналдарды қамтиды $S_1[n]$, $S_2[n]$ -үшбұрышты және төртбұрышты пішін. Кезектіліктің визуализациясы 3.7-

суретте көрсетілген. Шекті әдіс реттілік сигналдарын сипаттауға мүмкіндік бермейді.



Сурет 3.7– Ұзындығы 10К болатын псевдокездейсоқ деректер тізбегінің мысалы

Шекті әдіс үшін $BD = 25$ шектік деңгейін орнатқанда, үлгілеу нәтижелеріне негізделген, жіберу үшін үлгілердің қажетті саны 10000-нан 4480 (100-ден 98) құрайды. Сонымен қатар, оқиғаның сипаттамаларын анықтау шарты (майданның көтерілу жылдамдығы) орындалмайды.

Үш IoT хаттамасына негізделген жоғарыда аталған әдістерге берілген бастапқы шарттарға сүйене отырып, тікелей әдіспен салыстырғанда жіберілетін деректер көлемін азайту тұрғысынан корреляциялық әдістің ұтысы 20 - 40% құрайды және шекті әдіс, фрагментацияны, пакеттегі қызмет көрсету деректерінің көлемін және оның ұзақтығын ескере отырып, шамамен 25%.

IoT хаттамаларына негізделген үш әдіс үшін берілген бастапқы шарттардағы өнімділіктің салыстырмалы талдауы 3.5-кестеде жүйеленген.

Кесте 3.5 - IoT хаттамаларына негізделген үш әдіс үшін берілген бастапқы шарттарда әдіс өнімділігін салыстыру

өнімділік Әдіс/хаттама	Зигби	BLE	Жіп
тікелей беру	Жоқ	Жоқ	Жоқ
қарапайым шек	Жоқ	Жоқ	Жоқ
корреляция	Иә	Иә	Иә

Тікелей әдіс беру және сақтау үшін қажетті деректер тұрғысынан ең қымбат екені анық. Қарапайым шекті әдіс, іске асырудың айқын

қарапайымдылығымен бірге деректерді беру мен сақтаудың айтарлықтай көлемін қажет етеді. Бұл әдіс үшін нақты жағдайларда шекті деңгейді таңдау қиын [25]. Дегенмен, алынған ақпараттың құндылығы шектеулі. Сонымен қатар, қабылдау жағында (бұлтта) қосымша деректерді талдау қажет.

Корреляциялық өңдеу әдісі үшін шекті жағдай не ADC-тен таңбалық процессордың кірісіне K максималды мәнімен үздіксіз жабдықтау болады, мысалы, 8 бит үшін 256. Немесе процессордың кірісіне оқиғалар конверттерінің қабаттасуымен сигналдардың келуі.

Процессордың кірісінде максималды мәні бар белгілерді үздіксіз алған жағдайда корреляциялық әдіс жұмыс істемейді, сонымен қатар тікелей жіберу әдісінен басқа шекті әдіс және басқалары. Жұмыс істемеу жүйе операторлары үшін құнды ақпаратты ерекшелеу мүмкін еместігін білдіреді. Дегенмен, байланыс арнасының өткізу қабілетіне байланысты шектеулер тікелей беру әдісі үшін сақталады.

Корреляциялық әдіс үшін өнімділік шегін анықтауға болады, ол келесі шарттармен анықталады.

Сәйкес сүзгінің шығысындағы таңбаның максималды жылдамдығы:

$$SR_{\rho} = \frac{SR}{N} \quad (3.4)$$

мұндағы N – сүзгі реті [14].

Бұл жағдайда модем кірісіндегі таңбалардың жиілігі келесі өрнекті қанағаттандыруы керек:

$$\frac{SR}{N} \leq TR \quad (3.5)$$

$TR \geq M * DR$ болғандықтан, сондықтан:

$$\frac{SR}{N} \leq M * DR \quad (3.6)$$

Бұл өрнек процессор кірісіндегі таңба жылдамдығы мен модем-гейт байланыс арнасының өткізу қабілеті арасындағы маңызды қатынасты анықтайды, бұл уақыт бірлігіндегі үлгілер (таңбалар) санына қатысты.

Таңбадағы байттардың санын ескерген жағдайда (3.6) өрнек келесідей болады:

$$\frac{SR * Z}{N} \leq M * DR \quad (3.7)$$

мұндағы Z – таңбадағы байттардың саны.

Екі жағдай үшін де нәтиже SR таңдау жылдамдығын арттыру болып табылады, бұл таңдау жылдамдығын арттыруды талап етуі мүмкін F_s . Екінші жағдайда, қабаттасу әсері жоғалады, ал бірінші жағдайда деректер тізбегінде ең жоғары деңгейден төмен мәні бар жаңа үлгілер пайда болуы мүмкін, бұл жаңа

оқиғаларды анықтауды бағалауға мүмкіндік береді. Сондықтан, бұл факт, әдепкі бойынша, 1-тарауда талқыланған SR сынама алу жылдамдығын төмендету арқылы жұмыс істейтін әдістерді пайдалануды мүмкін емес етеді.

Корреляция әдісі жоғарыда сипатталған екі әдіспен салыстырғанда маңызды артықшылықтарға ие.

Біріншіден, жіберілетін және сақталатын деректер көлемінің төмендеуіне қол жеткізіледі, берілген шарттарда тікелеймен салыстырғанда жіберілетін деректердің көлемін азайту тұрғысынан корреляциялық әдістің ұтуы 20 - 40% құрайды.

Екіншіден, ең бастапқы кезеңде жіберілетін деректер көлемін азайтуға мүмкіндік беретін соңғы құрылғының негізінде қажетті талдау жүргізілді.

Үшіншіден, деректердің мұндай көлемін беру үшін, мысалы, NB-IoT немесе 4G LTE негізінде салынған салыстырмалы түрде төмен қуатты IoT жүйелерінің ресурстарын пайдалануға рұқсат етіледі. Шынында да, қайта қарасақ ең танымал IoT протоколдарының сипаттамалары (1.1-кесте, 1-тарау), өткізу қабілеті 20 - 200 Кбит/с болатынын көреміз. Ерекшеліктер - бір жағынан салыстырмалы түрде жоғары жылдамдықты Bluetooth, Wi-Fi (802.11 b/g/n), екінші жағынан салыстырмалы түрде төмен жылдамдықты LoRA және SixFox. Байланыс арнасының өткізу қабілетінен асатын жоғары жылдамдықты (MSPs) деректер ағындарын генерациялайтын сенсорлармен жұмыс істеу кезінде соңғы құрылғыларда өңдеудің корреляциялық әдісі ғана қолданыстағы желілік және инфрақұрылымдық технологияларды пайдалануға мүмкіндік беретіні анық.

«Интернет заттары» жүйесінің бөлігі ретінде соңғы құрылғыда ұсынылған корреляциялық өңдеу әдісінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін маңызды сәт - тасымалданатын пакеттегі үстеме шығындарға байланысты көлемді одан әрі азайту үшін меншікті IoT протоколдарын пайдалану. Шынында да, әдетте $TR_1 \geq M \cdot DR_2$, мұнда, мысалы, 802,11g үшін $M = 0,5$, онда 50% артықшылық мәселе болып табылады.

Жоғарыда қарастырылған хаттамаларға қоса, LoRaWAN үшін типтік пакет ұзындығы 59 - 243 байт, ал SigFox үшін 12 байт [20] - [22].

Жалпы алғанда, орташа пакет ұзындығын анықтау үшін шектелген Парето таралымына негізделген интернет-трафик статистикасы қолданылады [23]. Шектеулі Парето таралымы үшін ықтималдықтың таралу тығыздығы:

$$f_l(x) = \frac{al^a}{1-(\frac{l}{L})} * x^{-a-1}, 1 \leq x \leq L; 0 \leq a \leq 2 \quad (3.8)$$

мұндағы l – минималды, ал L – максималды пакет ұзындығы.

Бұл өрнек пакет ұзындығы мен пайдалы жүктеменің ерікті қатынасы бар IoT жүйесін талдау кезінде пайдалы.

Әдістердің тиімділігін екі негізгі критерий бойынша салыстыру ұтымды - деректер көлемінің азаюы және сенсор мен бұлт арасындағы деректерді берудің

кешігуі. Қатаң кідірістерді бағалау салыстырмалы түрде қиын тапсырма, бірақ IoT жүйесінің үлгісін пайдалану кезінде бірқатар болжамдармен жеңілдетілуі мүмкін.

Модельге сүйене отырып (2.1-сурет) корреляция әдісін 1-тарауда қарастырылған әдістермен, атап айтқанда қос болжау әдісі (DPM) және кеңістік-уақыттық корреляция әдісімен салыстырамыз, ұсынылған корреляция әдісі бірқатар артықшылықтарға ие болады: оқиғаны анықтау іріктеудің жоғары жылдамдығына, өңдеудің төмен кідірісіне байланысты.

Кешігулерді толығырақ қарастырайық. Жалпы алғанда, сенсордан бұлтқа дейінгі кідіріс процессордың ағынды өңдеудегі кідіріс сомасымен, модем мен қақпа арасындағы деректерді беру кідірісімен және қақпа мен бұлт арасындағы деректерді беру кідірісімен анықталады:

$$D_{sum} = D_{11} + D_{c21} + D_{31} \quad (3.9)$$

IoT жүйесінің мақсаттық функциясы кідірісті азайту болып табылады:

$$\min(D_{sum}) = \min(D_{11}) + \min(D_{c21}) + \min(D_{31}) \quad (3.10)$$

Корреляциялық әдіс үшін, FPGA-да іске асырылған кездегі өңдеудің кешігуі кросс-корреляция функциясын есептеу алгоритмінің орындалу ұзақтығымен анықталады және сәйкес келетін сүзгі ретімен анықталған циклдар санына және кемінде екіге сәйкес келеді. қамтамасыз ету операциялары:

$$D_{11} = N + 2 \quad (3.11)$$

Уақыт интервалында қайсысы тең:

$$D_{11} = \frac{(N+2)}{SR} \quad (3.12)$$

Қосымша кідірістерді ескере отырып, біз жаза аламыз:

$$D_{11} = \frac{(N+2)}{SR} + D_{c21} + D_{31} \quad (3.13)$$

DPM үшін абсолютті түрде:

$$D_{dpm} = D_{11} + D_{c21} + (D_{311} + D_{312}) \quad (3.14)$$

Мұнда D_{311} - деректерді өңдеуге байланысты кідіріс және D_{312} - деректер пакетін бағыттау және берумен байланысты кідіріс.

Соңғы құрылғы үшін кері байланыс қажет емес деп есептесек, нәтижесінде алынған кідіріс мәні (3.14) өрнекке сәйкес келеді. Содан кейін:

$D_{11}(dpm) < D_{11}(corr)$, (тиісінше 2 жолақ және 6-10 жолақ)

$$D_{c\ 21}(dpm) = D_{c\ 21}(corr),$$

$$D_{3\ 1}(dpm) \gg D_{3\ 1}(corr).$$

Корреляциялық әдіс үшін қақпа деңгейінде деректерді өңдеу қажет емес, DPM әдісі жағдайында деректерді өңдеу қақпа деңгейінде орындалады.

Бұл әдіс кері байланыс пен соңғы құрылғылар деңгейінде коэффициенттерді қайта есептеуді қамтитынын ескере отырып, бір соңғы құрылғы үшін өрнек келесі формада болады:

$$D_{dpm} = 2D_{11} + 2D_{c\ 21} + 2(D_{311} + D_{312}) \quad (3.15)$$

және сәйкесінше, $D_{dpm} > D_{corr}$.

Дегенмен (3.14) - (3.15) өрнектері сенсордан деректер ағынының жылдамдығы байланыс арнасының өткізу қабілетінен аз болса жарамды болады: $TR_{1>}DR_{11}$. Яғни, сервистік деректер мен IoT протоколының түрін ескере отырып, SR ~ 10-100 Кбит/с. Әйтпесе, DPM сияқты әдістер үшін IoT жүйесінің байланыс арнасының өткізу қабілеттілігі шектеуші факторға айналады және жүйе жұмыс істемейтін болады.

4 Соңғы құрылғыда деректерді өңдеуді жүзеге асыру

Объектілерді бақылауға арналған, жоғары жылдамдықты деректер ағындарымен жұмысты қамтамасыз ететін және ақпаратты өңдеу жылдамдығы үшін маңызды сымды және сымсыз IoT жүйелерін жасау кезінде бірқатар маңызды талаптарды қанағаттандыру қажет. Ең алдымен, келесі талдау үшін құнды сигналдарды анықтау, жүйе ішінде жіберу және сақтау үшін деректер көлемін азайту қажет. Сонымен қатар, деректерді шешім қабылдау орталығына мүмкіндігінше жылдам жіберу қажет, яғни ақпаратты қабылдаушыға жеткізудегі кідірістерді азайту.

Сонымен қатар цифрлық сигналды өңдеуде дискретизация жиілігінің ұлғаюымен байланысты тенденция анықталды, өйткені бұл кванттау шуының әсерін азайтуға және бірқатар паразиттік әсерлерден арылуға мүмкіндік береді [28].

IoT жүйесі конвейер болғандықтан, сенсорлардан алынған деректерді дұрыс өңдеуге байланысты қателер бұлттағы талдау сатысында көбейеді, бұл сайып келгенде дұрыс емес қорытындылар мен қате басқару шешімдерін қабылдауға әкеледі. Бастапқы кезеңдерде қателерді болдырмау маңызды, өйткені келесі кезеңдерде өңдеудің барлық нәтижелері жалған болуы мүмкін.

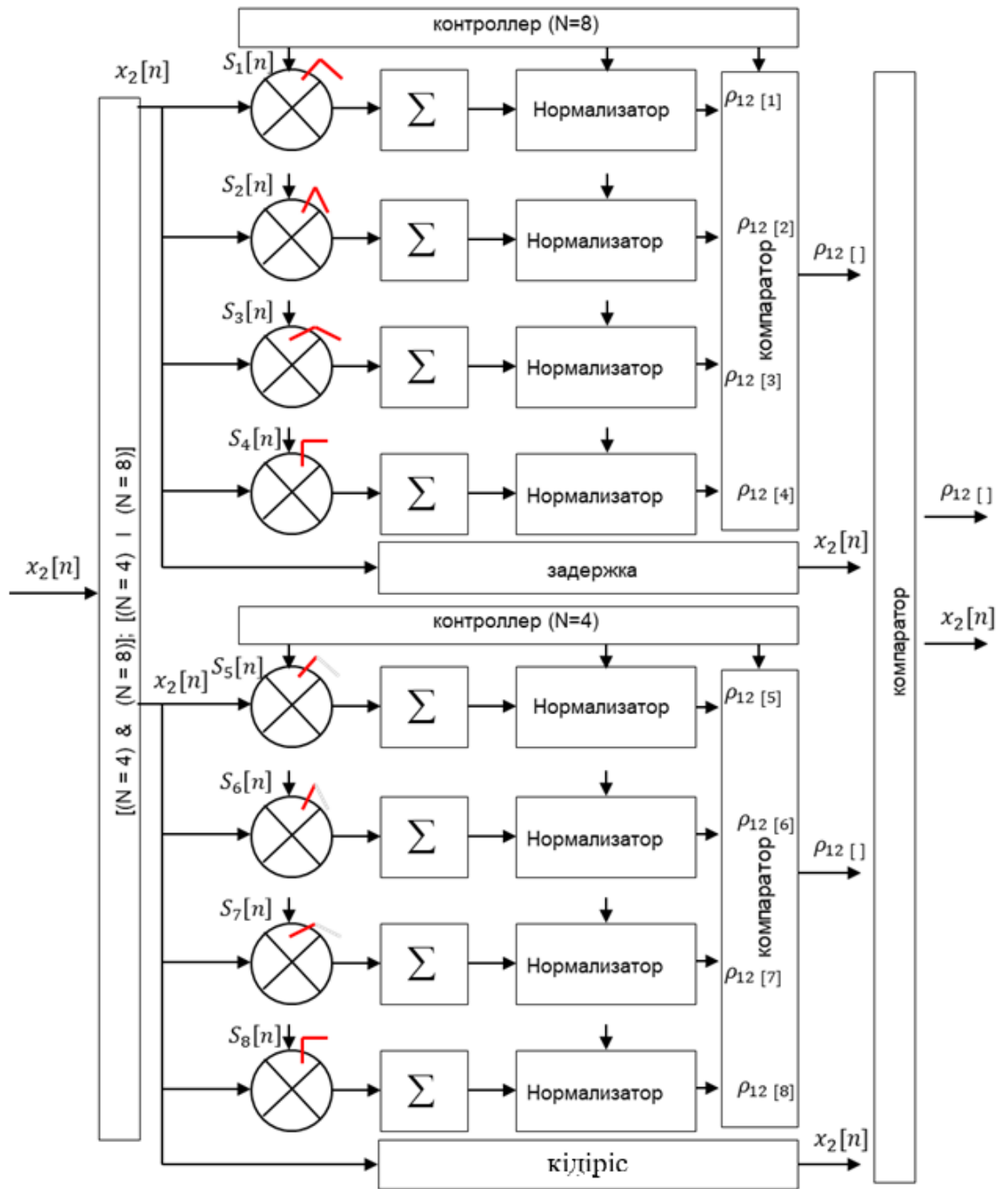
4.1 Коррелятордың құрылымы

Соңғы құрылғы негізінде корреляциялық өңдеудің құрылымдық схемасы 4.1-суретте көрсетілген.

Құрылым алдыңғы бөлімдерде жүргізілген материалдарды зерттеу және талдау негізінде жасалған.

Құрылым сәйкес келетін сүзгілердің блоктарына негізделген (көбейткіштер, қосқыштар және нормализаторлар). Контроллер жоғарғы бөлікте орналасқан. Сәйкес контроллер әртүрлі пішіндегі – үшбұрышты және тікбұрышты тірек сигналдарының коэффициенттерінің шығысын басқарады. Сәйкесінше, айырмашылық сигнал фронттарының көтерілу және төмендеу жылдамдығында жатыр. Жоғарғы жағында, суретте көрсетілгендей, анықтамалық үлгілер толық толқын пішініне сәйкес келеді. Қосымша, контроллер ТН шектік деңгейінің мәнін береді.

$N+1$ (9) ұзындықты кідірту сызығы реттілік үлгілері үшін сәйкес таралу кешігуін (сағат циклдерінде) енгізу үшін қажет. $x_2[n]$ нәтижелерді шығарудың кешігуіне қатысты $\rho_{12}[1,2,3,4]$ келісті сүзгілер. Бұрын айтылғандай, сәйкес келетін сүзгі салыстырмалы түрде қарапайым іске асыру арқылы шығыстағы сигнал-шуылдың максималды қатынасын қамтамасыз етеді. Осылайша, шығыс кросс-корреляция коэффициентінің максималды мәнін қамтиды $\rho_{12}[\cdot] > \text{ТН}$, ол енгізу ретінің сәйкес санымен толтырылуы керек $x_2[n]$.



Сурет 4.1– Соңғы IoT құрылғысында корреляциялық өндеудің блок-схемасы

Схеманың төменгі жағына сәйкес келетін сүзгілердің ұқсас тобы бар, бірақ $N = 4$ кезінде кесілген толқын пішіні (көтерілген жиек) үшін. Сәйкес таралу кідірісін енгізу үшін $N + 1$ (5) ұзындығы бар кешіктіру сызығы да қажет, (сағат циклдерінде) реттілік үлгілері үшін $x_2[n]$ нәтижелерді шығарудың кешігуіне қатысты $\rho_{12} [1,2,3,4]$ сәйкес сүзгілер.

$N + 1$ ұзындығы ұсынылған іске асыру кезінде нәтижені шығарудың кешігуі тек 1 циклды және N реттілік ұзындығының теңдігімен толық нәтижені

құрайтындығына байланысты. $x_2[n]$ және $x_1[n]$, $N + 1$ циклден кейін шығыста пайда болады.

Жүйенің кірісінде өңдеу блогын таңдауға арналған құрылғы бар. Жұмыс істеудің үш нұсқасы бар. Біріншісі, онда блоктар жұмыс істейді ($N = 8$). Екіншісі, тек $N = 4$ блоктар жұмыс істегенде. Және аралас, онда $N = 8$ және $N = 4$ блоктар бір уақытта жұмыс істейді. Соңғы жағдайда қосымша компаратор, сонымен қатар қосымша кідіріс сызығы тартылады. $N = 4$. Сәйкесінше, максималды мән таңдалады ρ_{12} [].

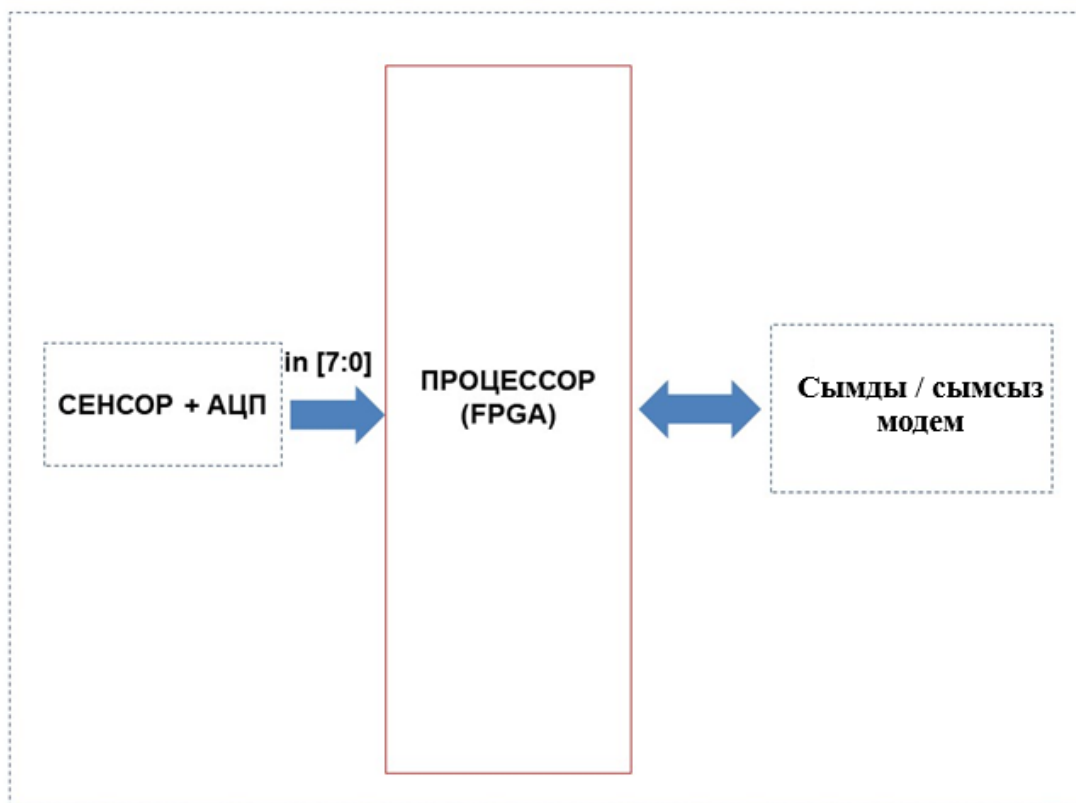
Аралас жағдай жасанды интеллект көмегімен тапсырмаларды тарту кезінде өте қызықты және перспективалы болып табылады, бірақ бұл диссертациялық зерттеудің мақсаттарының тізіміне кірмейді.

Оператор нақты уақытта үш пайдалану режимінің бірін таңдай алады.

Осылайша, 4 немесе 8 сәйкес сүзгі параллель жұмыс істейді. Бұл тәсіл сандық құрылғыларды FPGA жүйесінде прототиптеу үшін ең тиімді.

4.2 Коррелятордың параметрлері

Бір ұшты IoT құрылғысына негізделген жүйенің құрылымдық схемасы 4.2-суретте көрсетілген.

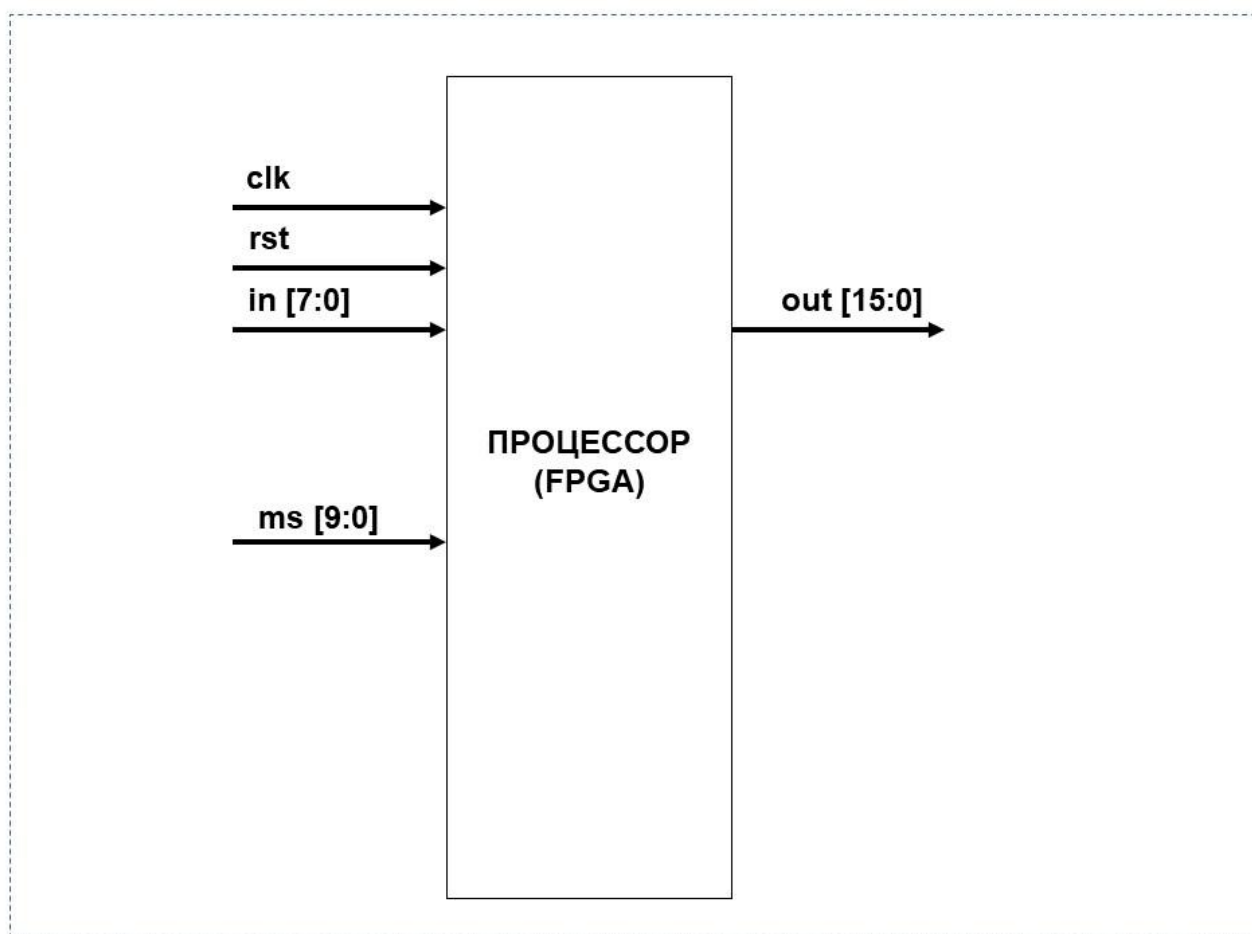


Сурет 4.2- IoT құрылғысының құрылымдық диаграммасы

Жүйе үш негізгі компонентті қамтиды. Сенсор, 8-биттік аналогты-сандық түрлендіру (ADC) модулі және модем. ADC FPGA негізіндегі процессор үшін ағынды деректер көзі болып табылады. Процессордың мәліметтерді өңдеу нәтижесі модемнің кірісіне жіберіледі. Осыдан кейін деректер орталықтандырылған бұлттық қоймаға тікелей немесе қақпалар арқылы (желі архитектурасына байланысты) тасымалданады.

ADC және FPGA сағаттық сигналы синхрондалады.

Кіріс бит тереңдігі, бұл жағдайда 8-бит, қолданбаға және қажетті өлшеу дәлдігіне байланысты. Алдыңғы тараудағы нәтижелер көрсеткендей, бит тереңдігі жалпы сандық жүйенің күрделілігін анықтайды. Мақсатты іске асыруда біз кіріс бит енін 7 бит және шығыс 16 бит (4.3-сурет) анықтадық.

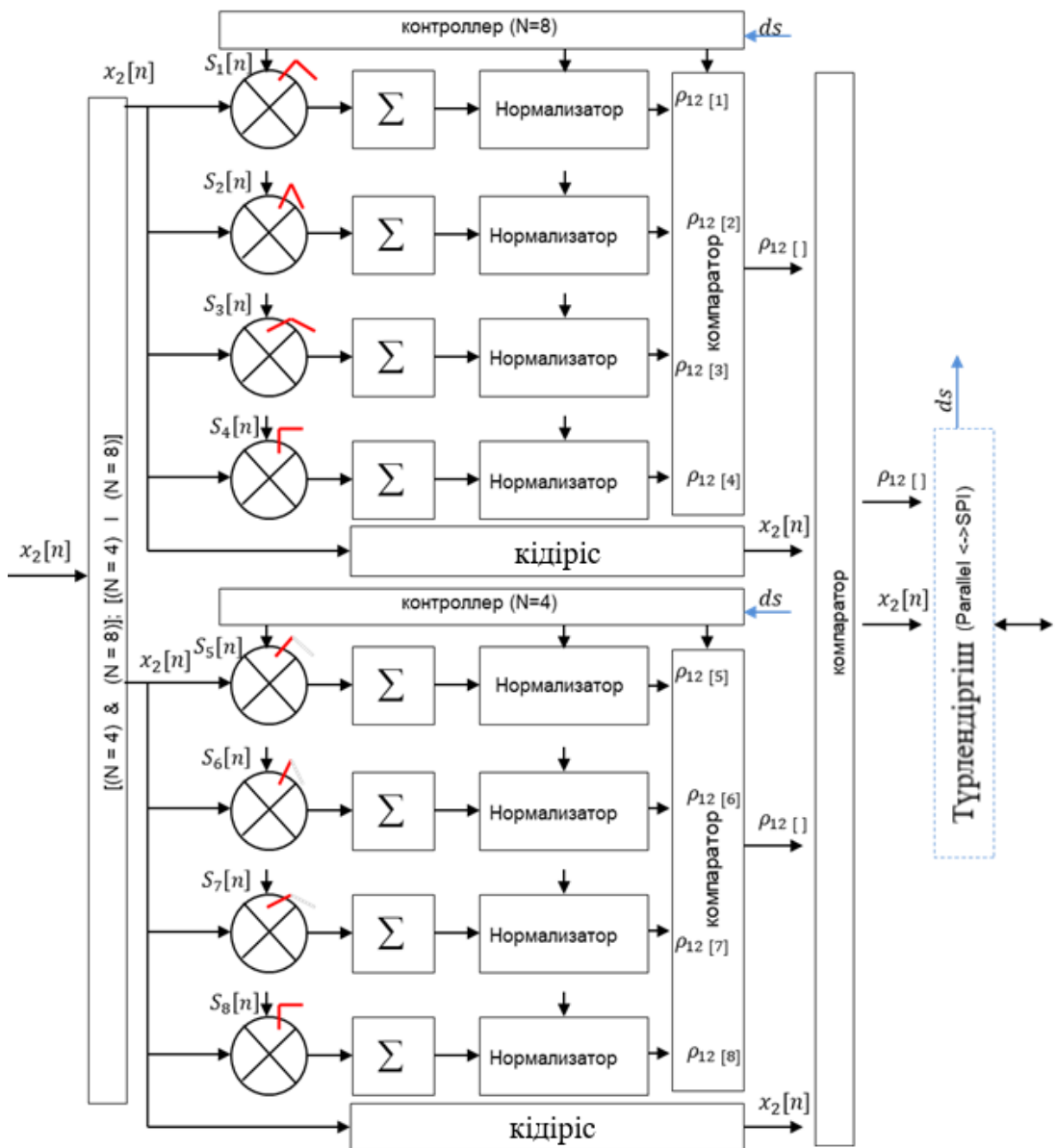


Сурет 4.3- Соңғы IoT құрылғысындағы корреляциялық өңдеу жүйесінің негізгі кірістері мен шығыстарының блок-схемасы

Көрсетілгендей, шығыс (шығу [15:0]) 16 бит (2 байт) сыйымдылығы бар, бұл шығыста 2x2 байт деректер тізбегін алуға мүмкіндік береді, бұл кезеңдегі нәтижелерді визуализациялау функционалдық модельдеу үшін ыңғайлы. Іс жүзінде модемге SPI, IIC немесе параллельді 8-биттік порт арқылы жіберу интерфейсін ұйымдастыру қажет. Көптеген сымсыз IoT құрылғыларында

кірістірілген SPI интерфейсі болғандықтан, SPI әдетте басымдыққа ие. Бірақ бұл шешім FPGA-да сәйкес трансиверді енгізуді талап етеді. Сондықтан блок-схема келесідей болады (4.4-сурет).

Параллельден серияға интерфейс (SPI) түрлендіргіші нүктелі сызықпен бөлектелген. Бұл түрлендіргіште екі буфер болуы керек, олардың біреуі модемге жіберу кезінде деректерді аралық сақтауға арналған, ал екіншісі бұлттан соңғы құрылғыға жіберілетін сәйкес сүзгі коэффициенттерінің мәндерін алуға арналған.

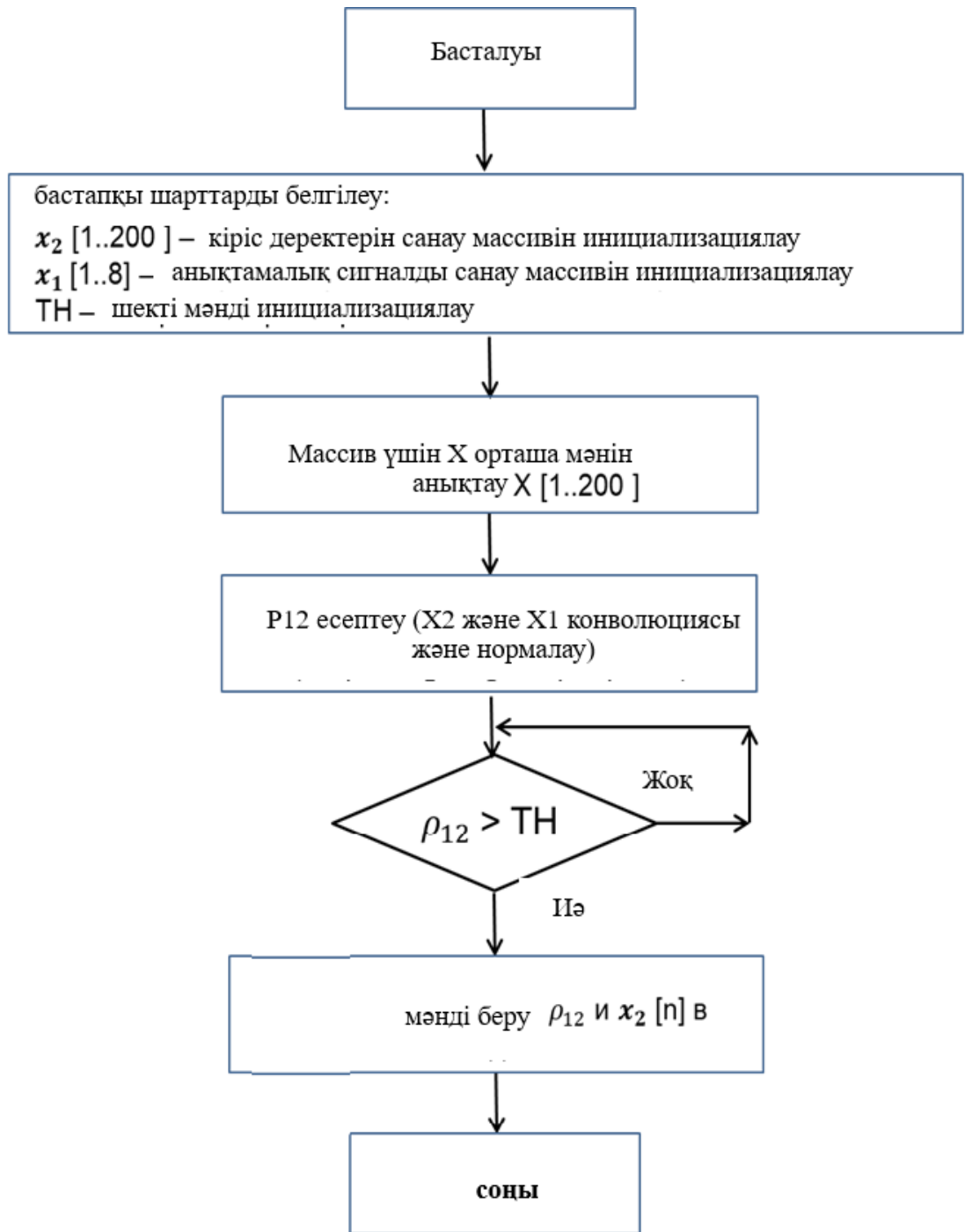


Сурет 4.4 - Деректер алмасу интерфейсін ескере отырып, соңғы IoT құрылғысында корреляциялық өңдеудің блок-схемасы (қосымша)

Түзету сатысында жөндеу тақтасына кіретін жеті сегмент көрсеткішін пайдалану ыңғайлырақ.

4.3 Корреляторды іске асыру

Жоғарыда келтірілген блок-схемаға сәйкес корреляциялық өңдеуді жүзеге асыру үшін сәйкес алгоритм әзірленді. Модельдеу ортасы ретінде MATLAB қолданылды. Тікелей алгоритм 4.5-суретте көрсетілген.



Сурет 4.5 - Корреляцияны өңдеу алгоритмі

Осылайша, жүйе $N = 8$ және $N = 4$ тапсырыстары бар сегіз сәйкес сүзгіні қамтиды. Модельдеу үшін негіз ретінде, сынақ ретінде векторы $x_2[n]$, [25...35] диапазонында бұрын жасалған псевдокездейсоқ сандар тізбегі алынды, деректер массивінің өлшемі = 1 миллион үлгі. Санау сыйымдылығы 8 бит (int8). Алдыңғы жағдайлардағыдай, нәтижелерді ұсынудың анықтығы үшін реттілік ұзақтығы $x_2[n]$ 200 санаумен шектелген.

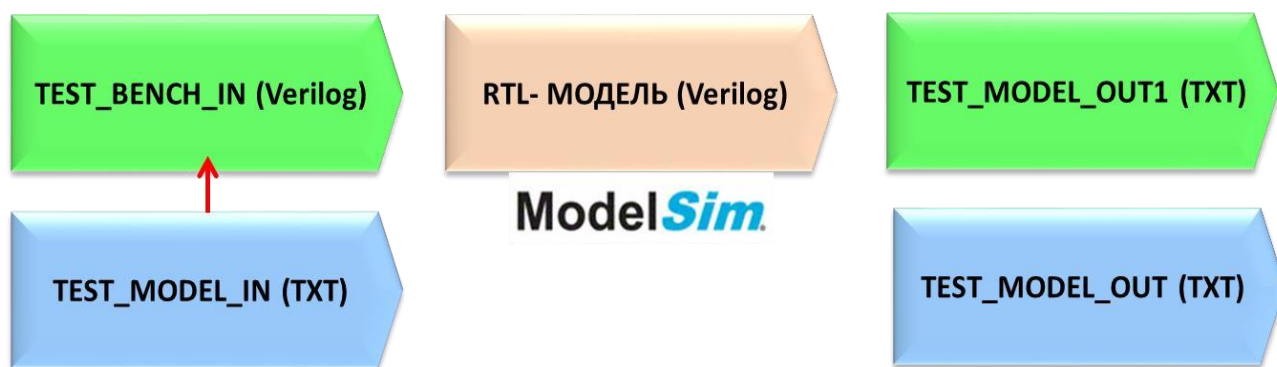
Ең алдымен, орташа мән инициализацияланады \bar{x} реттілік, төрт анықтамалық сигнал $x_1 [1..8]$ $N = 8$ және төрт анықтамалық сигнал үшін $x_1 [1..4]$

$N = 4$ үшін. Сонымен қатар, ТН шекті мәндері сәйкес келетін сүзгі кватреттері үшін инициализацияланады.

Әрі қарай үш жұмыс режимінің бірі таңдалады: $N = 8$ болатын SF блогы, $N = 4$ бар SF блогы немесе $N=8$ және $N = 4$ болатын SF блоктарының бір мезгілде жұмысы. Енгізу ретінің үлгілері $x_2[n]$ сүзгілерді қосымша дайындықсыз енгізіңіз. Әрі қарай сәйкес кросс-корреляция коэффициенттері есептеледі ρ_{12} . ТН шектік деңгейінің мәні негізінде максималды мән таңдалады ρ_{12} . Егер аралас режим $[(N = 4) \& (N = 8)]$ пайдаланылса, онда кросс-корреляция коэффициенттерінің максималды мәні қосымша таңдалады. ρ_{12} ұзындығы $N = 8$ және $N = 4$ болатын SF блоктарынан. Бұл режим сынақ режимінде жүйенің жұмысын бағалау үшін тиімді және кіріс деректер ағынына байланысты дәлдік пен шекті деңгейдің тепе-теңдігін сақтауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ кіріс тізбегінде ара тістері оқиғалары болған жағдайда, $N = 4$ режимі сәйкес оқиғаларды анықтау үшін тиімдірек болады.

Соңғы мәнді беру ρ_{12} модемге, ТН деңгейінен асқанда, ретінің сәйкес элементімен бірге шығарылуы керек $x_2[n]$. Қосымша мән ρ_{12} 2 байт бөлінеді, және, тізбектің символдық ұзындығына қарамастан $x_2[n]$ 8 биттік болса, қосымша 8 бит резервтік қажеттіліктерге бөлінген. Шынында да, жүйені жоғары биттік тереңдікке, мысалы, бұрын зерттелген 10 биттік және 14 биттікке ауыстыру кезінде интерфейс логикасын өзгерту қажет болмайды.

MATLAB жүйесінде математикалық модельдеуді пайдалана отырып, цифрлық жүйені тестілеудің жалпы схемасы мен әдістемесі, Verilog HDL аппараттық құралды сипаттау тілін, ModelSim пакетін қолданып функционалды модельдеу және прототиптеу 4.6-суретте көрсетілген.



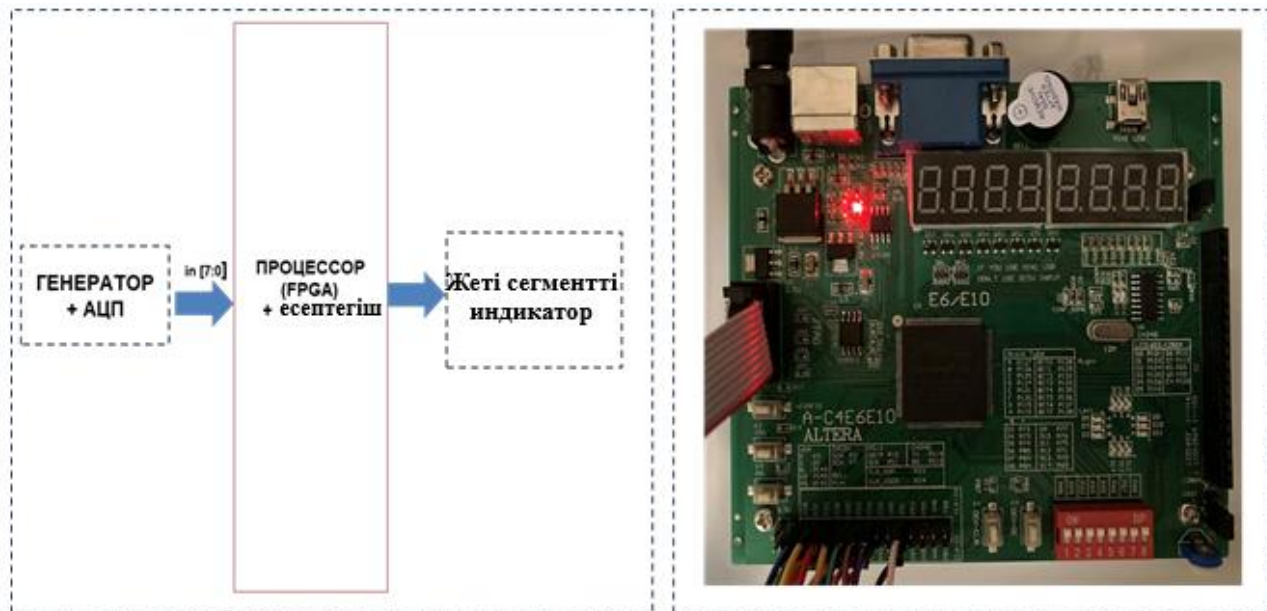
4.6- сурет – RTL моделін әзірлеу және сынаудың құрылымдық схемасы

MATLAB бумасын пайдаланып, TEST_MODEL_IN сынақ енгізу тізбегі (вектор) және TEST_MODEL_OUT сынақ шығыс тізбегі жасалды. Сандық модель Verilog аппараттық құралды сипаттау тілінде (RTL үлгісі) жазылған. Бұл модель сынақ реттілігінің таңбасын таңба бойынша талдайтын және RTL үлгісіне басқару әрекеттерін қолданатын testbench (Stimulus) арқылы толықтырылған. RTL үлгісінің нәтижелері негізінде TEST_MODEL_OUT1 шығыс векторы жасалады, ол TEST_MODEL_OUT сәйкес келуі керек.

RTL моделінің функционалдығы MATLAB жүйесінде жүзеге асырылатын модельдің функционалдығымен толық сәйкес келеді. Сондықтан FPGA-дағы жүйенің өнімділігі базалық модельге сәйкес келеді.

Түзету ыңғайлылығы үшін анықталған оқиғалар саны 4.7-суретте көрсетілгендей әзірлеу тақтасының жеті сегментті индикаторында көрсетіледі.

Өлшемдердің құрылымдық схемасы сол жақта көрсетілген.



4.7- сурет – АЦҚ қосылған жүйенің құрылымдық сұлбасы (сол жақта) және Әзірлеу тақтасы (оң жақта).

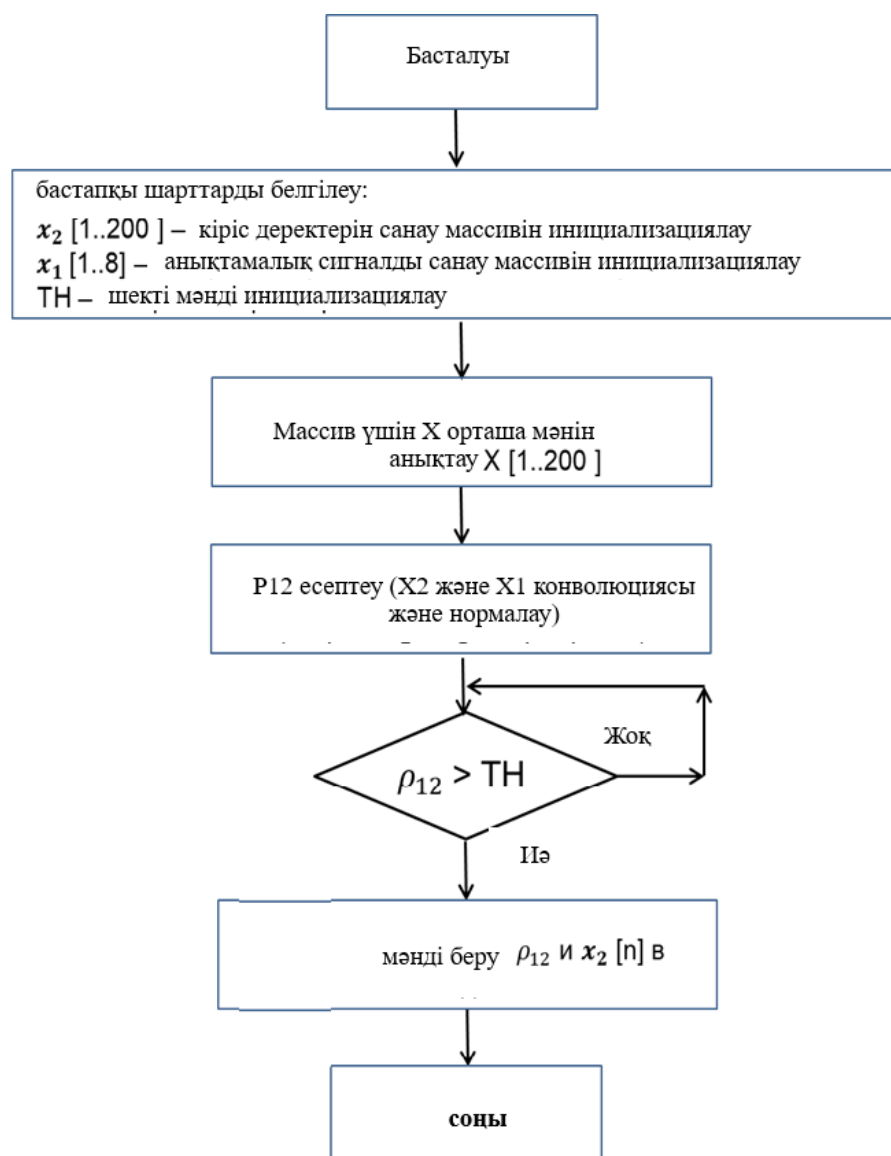
Түзету тақтасы (FPGA) негізінде жүзеге асырылатын жүйенің өнімділігін талдап, оны MATLAB жүйесінде жасалған модельмен салыстырайық. Біз анықтауға арналған сынақ оқиғалары енгізілген 10 к үлгіден тұратын сынақ тізбектерін қолдандық. Нәтижелер 4.1-кестеде берілген.

Кесте 4.1 - Кірістегі және модель үшін анықталған және FPGA-да іске асырылған кездегі оқиғалар санын салыстыру

MATLAB		FPGA	
Енгізуге жіберілген оқиғалар, дана.	Анықталған оқиғалар, дана.	Енгізуге жіберілген оқиғалар, дана.	Анықталған оқиғалар, дана.
3	3	3	3
20	20	20	20
40	40	40	40
60	60	60	60
80	80	80	80
100	100	100	100
120	120	120	120
140	140	140	140
160	160	160	160

Модель үшін де, FPGA-да іске асыру үшін де кіріс реттіліктеріндегі оқиғалар саны анықталған оқиғалардың санына сәйкес келеді, бұл модельдің жұмыс қабілеттілігін және FPGA-да іске асыруды растайды. $N = 4$ үшін ТН шектік деңгейінің максималды мәні $N = 8$ кезіндегі шекті деңгейге қарағанда төмен. Шулы сигналдарды пайдаланған кезде эксперименттердегі ТН шектік мәндері 0,68-ге дейін төмендеді.

Модельдің өнімділігін бастапқы талдауда ТН жеке шекті деңгейлерінің мәндерін, ал нақты өлшемдерде кросс-корреляциялық функцияның максималды мәндерін анықтау үшін қолданған жөн. ρ_{12} және соңында шекті мәнмен салыстырыңыз. Осылайша, соңғы құрылғыда өзгертілген корреляцияны өңдеу алгоритмін аламыз (4.8-сурет).



Сурет 4.8 – Өзгертілген корреляцияны өңдеу алгоритмі

Бұл жағдайда блоктар ($N = 4$) және ($N = 8$) үшін режимге байланысты CCF максималды мәні ашылады.

IoT жүйесінің үлгісіне сәйкес өңдеу кідірістерін қарастырыңыз. Алгоритмге және блок-схемаға сәйкес құрылғының жұмысына байланысты кідіріс келесідей болады:

$$D_{11} = N + 3 \text{ [жолақтар]} \quad (4.1)$$

ол $N = 4$ үшін 7 циклге және $N = 8$ үшін 11 циклге сәйкес келеді. Уақыт интервалында кідіріс мынаған тең:

$$D_{11} = \frac{(N+3)}{SR} \quad (4.2)$$

$SR = 10 \text{ MC/c}$ кіріс реттілігі жиілігінде $x_2[n]$ кідіріс ұзақтығы $N = 4$ үшін 7 (μs) және $N = 8$ үшін 11 (μs) кіріске деректердің кіруінен интерфейс түрлендіргішіне CCF мәндерінің келуіне дейін [25].

Сигналдарды өңдеуге қолданылатын кез келген әдіс пен тәсілмен интерфейс түрлендіргіші қажетті құрамдас болып табылады, ал түрлендіру уақыты, *ceteris paribus*, пакет ұзындығы бойынша тұрақты.

Дегенмен, осы зерттеу үшін интерфейс түрлендіргішінің жұмысындағы кідіріс мақсатты қызығушылық тудырмайды.

(2.15) өрнекті қатаң есептеудің орнына жуықтау мен қысқартуларды қолданғанда, корреляция әдісі үшін деректерді өңдеу кідірісін арттыруды қарастырайық. Сонымен, тікелей жүзеге асырылатын 8 биттік сыйымдылық үшін кідіріс келесідей болады:

$$D_{11} = N + 3 + 9 + 7 = N + 19 \text{ [жолақтар]},$$

және қысқартылған кезде:

$$D_{11} = N + 3 \text{ [барлар]}.$$

Бұл нәтиже деректерді өңдеудің корреляциялық бөлігі жалпы өңдеу уақытының 17 - 30% құрайтынын білдіреді. Егер қысқарту жүзеге асырылса, ($N = 8$) үшін өңдеу кідірісі 2,45 есе, ал ($N = 4$) үшін - 3,28 есе азаяды.

Бит тереңдігінің ұлғаюымен өрнекті қатаң есептеу үшін (2.15), өңдеу циклдерінің саны артады. Сонымен қатар жүйе өнімділігін қамтамасыз ету үшін қосымша әдістер қажет болады, бұл жүйенің ең жоғары өнімділігін автоматты түрде төмендетеді.

Қол жеткізілген жылдамдықты және қажетті аппараттық ресурстарды қарастырыңыз. Бағалау үшін Cyclone IV және Cyclone 10 LP FPGA отбасылары пайдаланылады, олардың негізінде үшінші тарап өндірушілері әзірлеу жинақтарын әзірледі.

Концептуалды түрде көптеген элементтерден (блоктардан) тұратын бағдарламалық-аппараттық өнімдерді әзірлеудің екі тәсілі бар.

Біріншісі – қолда бар дайын модульдер барынша пайдаланылғанда. Екіншісі, әзірлеушілер жүйе құрамдастарын толығымен автономды дамытуға бағытталған. Мәселен, мысалы, FPGA негізінде іске асырылған процессордың жұмыс істеуі үшін прототиптеу және тестілеу мақсатында дайын жөндеу тақталарын пайдалануға немесе өз бетінше жөндеу тақталарын жасауға болады.

Бірінші тәсілдің артықшылықтары бағдарламалық қамтамасыз етумен жұмыс істеуге назар аударуға және құрылғының тезірек дамуын және нарыққа шығуын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін компоненттердің кепілдік берілген аппараттық өнімділігін қамтиды. Дегенмен, жөндеу тақтасының техникалық параметрлері, атап айтқанда, жылдамдығы мен логикалық сыйымдылығы жеткіліксіз болуы мүмкін.

Екінші тәсіл тапсырмаға қойылатын техникалық талаптарды толығымен басқаруға мүмкіндік береді, бірақ жалпы даму жылдамдығы артады. Тәжірибеде екі тәсіл де қолданылады, прототиптеу сатысында – бірінші, ал техникалық сипаттамалар бойынша шектеулер анықталған жағдайда – екінші тәсіл. FPGA-де прототиптеу жағдайында, дайын жөндеу тақталарымен тәсілді қолданудың ерекше жағдайы жүйенің өнімділігіне әсер ететін, көбінесе, жүйенің жұмысына әсер ететін тағайындалған енгізу-шығару порттарының болуы болып табылады.

Кесте 4.2 – Өнімділік және қажетті аппараттық ресурстар

Негізгі FPGA / Параметр	F_{max} .МГц	LE, дана.
IV циклон(автоматты режимде синтез)	140.9	684
IV циклон (белгіленген түйреуіштер)	131,65	696
Циклон 10LP (автоматты режимде синтез)	121.4	687
Циклон 10LP (белгіленген түйреуіштер)	114.43	698

3-тарауда сәйкес келетін сүзгілердің сипаттамаларын зерттеу кезінде логикалық элементтерді пайдалану бір элемент үшін $N=4$ кезінде 75 және ($N=8$) кезінде 339 болғанын атап өткен жөн. Яғни, қарапайым көбейту дұрыс бағалауды алуға мүмкіндік бермейді, бұл FPGA аппараттық ресурстарын пайдалану ерекшеліктеріне байланысты. Түзету тақтасының жеке дамуымен және жобаның қасиеттерін ескере отырып, енгізу/шығару порттарының тағайындалуын өзгертуге және жоғары мәндерге қол жеткізуге болады. Дегенмен, қол жеткізілген мәндер ~ 10 MSps кіріс ағынының жиіліктерінде жеткілікті.

Прототиптеу және дамыту үшін ықтимал қызықты болып табылатын логикалық сыйымдылығы 2000 - 50 000 балама логикалық элементтер (LE) және орам өлшемі 3×3 мм (2000 LE үшін) бар MAX® 10 FPGA тобы, ол миниатюризацияға мүмкіндік береді және іске асыру үшін жеткілікті. Құрылғылар отбасының ең жасы негізінде синтездеу кезінде - 10M02DCU324, максималды тактілік жиілі $F_{max} 133$ МГц жетеді, бұл сонымен қатар микросұлбаның ықшам өлшемдерін ескере отырып, қолданбалы іске асырудың үлкен әлеуетін бағалауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста алынған негізгі нәтижелер әртүрлі мақсаттағы терминалдық және аралық IoT құрылғылары үшін цифрлық сигналдарды өңдеу алгоритмдерін зерделеуде және енгізуде пайдалы болады. Диссертациялық жұмыста келесі міндеттер шешілді:

- IoT жүйелерінде тасымалданатын және сақталатын деректер көлемін азайту үшін заттар интернетінің соңғы құрылғыларында ақпаратты өңдеу әдісі әзірленді;

- соңғы құрылғыларда ақпаратты өңдеу әдісінің сипаттамаларын бағалау әдістемесін әзірледі;

- соңғы құрылғыларда ақпаратты өңдеу әдісінің параметрлерін жетілдіру жолдары, оның ішінде өнімділік (максималды тактілік жиілік, деректерді өңдеудің кешігуі) зерттелді. Тәсілдің бөлігі ретінде соңғы құрылғының архитектурасы, оның ішінде процессор модулі ұсынылды.

- ақпаратты өңдеу әдісінің параметрлерінің, оның ішінде сүзгі реті, кіріс ағынының разрядтық тереңдігі қажетті аппараттық ресурстарға әсері зерттелді; сүзгі реті N 2 есе ұлғайған кезде ($N = 4$ -тен $N = 8$ -ге дейін), қажетті ресурстардың мөлшері 3,25 есе артады. Ал $N = 8$ есе артқанда – 14,3 есе. Максималды тактілік жиілік F_{max} (жүйе өнімділігі) жүйенің бит тереңдігін (8-бит) азайту және N сүзгі ретін (4-8) азайту арқылы қол жеткізіледі. Сонымен қатар, бұл факт динамикалық диапазонды (кіріс деректер ауқымын) азайту үшін емес, орташа мәннің айналасындағы жұмыс ауқымын мақсатты түрде тарылту үшін пайдаланылуы мүмкін. \bar{x} енгізу деректерінің реттілігі.

- IoT жүйесін жобалау кезінде қажетті дәлдік пен аппараттық ресурстарға деген қажеттілікті дұрыс теңестірген жөн, дәлдікті жақсарту үшін N сүзгісінің тәртібін арттыруға ұмтылудың қажеті жоқ.

- басқа әдістермен, атап айтқанда, тікелей әдіс (айналып өту) және қарапайым шекті әдіспен, берілген бастапқы шарттармен салыстырғанда әзірленген әдіс бойынша жіберілетін деректер көлемінің төмендеуі бағаланды, 20-40% жетеді. Өңдеу үшін аралық құрылғыларды пайдаланатын әдістер (қос болжау және басқалар) шектеулеріне байланысты жоғары жылдамдықты деректер ағындарымен жұмыс істеу мүмкіндігін қамтамасыз етпейді. Деректерді өңдеудің кешігуі бойынша қос болжау әдісімен салыстырғанда ұсынылған әдістің артықшылығы аналитикалық түрде көрсетілген.

- Жіберілетін деректер көлемін азайтуға ең жақсы әсер соңғы құрылғыда корреляциялық өңдеудің комбинациясын және жіберілетін пакеттегі қызмет көрсету деректерінің көлемін азайтуға мүмкіндік беретін IoT үшін меншікті хаттаманы пайдалану арқылы қол жеткізілетіні көрсетілген.

- кіріс ағынының жылдамдығына, модем-гейттік байланыс арнасының өткізу қабілетіне және кіріс деректер ағынының разрядтық тереңдігіне байланысты әдістің жұмыс қабілеттілігінің шектерін бағалау үшін өрнек алынды.

- деректерді өңдеу кідірісі корреляция әдісі мен қосарланған болжау әдісі үшін IoT жүйесінің моделін ескере отырып бағаланды. Басқа нәрселер тең болса, корреляция әдісінің кешігуі кері байланыстың болмауына және қақпа деңгейінде күрделі өңдеуді енгізу қажеттілігіне байланысты төмен болады.

- соңғы құрылғыда ұсынылған әдіс негізінде ақпаратты өңдеу жүйесін енгізу, мысалы, NB-IoT немесе BT негізінде құрастырылған салыстырмалы түрде төмен қуатты IoT жүйелерінің ресурстарын пайдалану үшін жоғары жылдамдықты деректер ағындарын талдауға мүмкіндік береді (BT Low Energy), желілік инфрақұрылымды ауыстырмай.

ҚЫСҚАРТУЛАР МЕН БЕЛГІЛЕР ТІЗІМІ

IoT - (Internet of Things) Интернет заттары
WSN - (сымсыз сенсорлық желі) сымсыз сенсорлық желі
QoS - (Quality of Service) қызмет көрсету сапасы
SR- (іріктеу жылдамдығы) құрылғының кірісіндегі деректер жылдамдығына сәйкес келетін іріктеу жылдамдығы
RSSI - (алынған сигнал күші көрсеткіші)
BT - (Bluetooth) IEEE 802.15.1 стандартына негізделген деректерді тасымалдау протоколы
OSI - (ашық жүйелердің өзара байланысының негізгі анықтамалық моделі) ашық жүйелердің өзара әрекеттесуінің негізгі анықтамалық моделі
ZigBee – IEEE 802.15.4 стандартына негізделген жоғарғы деңгей – қолданбалы деңгейдің желілік протоколдарының спецификациясы
DTW - (динамикалық уақытты орау), уақыт бойынша динамикалық бұрмалау әдісі
VoD – (Сұраныс бойынша бейне) сұраныс бойынша бейне
CH - (кластер басы) концентратор
FFT - жылдам Фурье түрлендіруі
IFFT - кері жылдам Фурье түрлендіруі
ASIC - (қолданбалы интегралдық схема) арнайы мақсаттарға арналған интегралды схема.
FPGA - (field programmable gate array) өрістік бағдарламаланатын қақпа массиві.
FPGA – бағдарламаланатын логикалық интегралдық схема
DSP - (цифрлық сигнал процессоры) цифрлық сигнал процессоры
MCU - (микроконтроллер блогы) микроконтроллер
HDL - (Аппараттық құралды сипаттау тілі) аппараттық құралды сипаттау тілі
LUT - (Іздеу кестесі) іздеу кестесі
Чиптегі SoC - (System-on-Chip) жүйесі
ADC - (аналогты-цифрлық түрлендіргіш) аналогты-цифрлық түрлендіргіш
LE - (логикалық элемент) логикалық элемент
SF - сәйкес сүзгі
PLL – (фазалық құлыпталған цикл) Фазалық құлыпталған цикл
MAC - (Medium access control) ортаға қол жеткізуді басқару деңгейі
SPI - (Serial Peripheral Interface)

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Internet-of-Things Gartner IT glossary. Gartner (5 May 2012). — <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/internet-of-things> (дата обращения: 01.02.2019).
2. Cisco Visual Networking Index Predicts Global Annual IP Traffic to Exceed Three Zettabytes by 2021. 8.07.2017 [Электронный ресурс] // <https://newsroom.cisco.com/press-releasecontent?type=webcontent&articleId=1853168> (дата обращения: 12.05.2021).
3. I. Mashal, O. Alsaryrah, T.-Y. Chung, C.-Z. Yang, W.-H. Kuo, and D. P. Agrawal, “Choices for interaction with things on Internet and underlying issues,” *Ad Hoc Networks*, vol. 28, pp. 68–90, 2015.
4. O. Said and M. Masud, “Towards internet of things: survey and future vision,” *International Journal of Computer Networks*, vol. 5, no. 1, pp. 1–17, 2013.
5. M. Wu, T.-J. Lu, F.-Y. Ling, J. Sun, and H.-Y. Du, “Research on the architecture of internet of things,” in *Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE '10)*, vol. 5, pp. V5-484–V5-487, IEEE, Chengdu, China, August 2010.
6. R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, and S. Khan, “Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT '12)*, pp. 257–260, December 2012.
7. H. Ning and Z. Wang, “Future internet of things architecture: like mankind neural system or social organization framework?” *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 4, pp. 461–463, 2011.
8. M. Weyrich and C. Ebert, “Reference architectures for the internet of things,” *IEEE Software*, vol. 33, no. 1, pp. 112–116, 2016.
9. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
10. F. Bonomi, R. Milito, P. Natarajan, and J. Zhu, “Fog computing: a platform for internet of things and analytics,” in *Big Data and Internet of Things: A Road Map for Smart Environments*, pp. 169–186, Springer, Berlin, Germany, 2014.
11. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, “Fog computing and its role in the internet of things,” in *Proceedings of the 1st ACM MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, pp. 13–16, 2012.
12. I. Stojmenovic and S. Wen, “The fog computing paradigm: scenarios and security issues,” in *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS '14)*, pp. 1–8, IEEE, Warsaw, Poland, September 2014.
13. M. Aazam and E.-N. Huh, “Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things,” in *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud '14)*, pp. 464–470, Barcelona, Spain, August 2014.

14. Cloud vs Fog vs Edge Computing: 3 Differences that Matter, Unthinkable Software, Oct 27, 2019. <https://devisha-singh.medium.com/cloud-vs-fog-vs-edge-computing-3-differences-that-matter-68612cfc65e2>. (дата обращения: 12.03.2021).
15. A. Croll, The Internet of Things has four big data problems, January 12, 2015, [Электронный ресурс] //- <https://www.oreilly.com/ideas/the-internet-of-things-hasfour-big-data-problems> (дата обращения: 12.03.2021).
16. Internet Of Aircraft Things: An Industry Set To Be Transformed, Bhoopathi Rapolu AviationWeek.com, 2016. <http://aviationweek.com/connectedaerospace/internet-aircraft-things-industry-set-be-transformed> (accessed 29.03.2019).
17. "Engines in the Data Cloud", [Электронный ресурс] //- <https://www.digitalcreed.in/engines-data-cloud/>, April, 10, 2018.
18. Харкевич А.А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. – М.: Физматгиз, 1960. вып. 4. - С. 53–57.
19. L. Jiao, R. Friedman, X. M. Fu, S. Secci, Z. Smoreda, and H. Tschofenig, "Cloud based computation offloading for mobile devices: State of the art, challenges and opportunities," Future Netw. Mobile Summit, Lisbon, Portugal, Jul. 2013, pp. 1-11.
20. COMPUTATIONAL OFFLOADING FOR PERFORMANCE IMPROVEMENT AND ENERGY SAVING IN MOBILE DEVICES Dr. Joy Iong Zong Chen J. Sustain. Wireless Syst. (2019) Vol.01/ No. 04 Pages: 225-234
21. Edge Computing WEISONG SHI, GEORGE PALLIS, ZHIWEI XU PROCEEDINGS OF THE IEEE | Vol. 107, No. 8, August 2019 pp. 1474-1481.
22. I. Stojmenovic, "Fog computing: A cloud to the ground support for smart things and machine-to-machine networks," in Proc. Australas. Telecom-mun. Netw. Appl. Conf. (ATNAC), Nov. 2014, pp. 117-122.
21. S. Yangui, P. Ravindran, O. Bibani, R. H. Gliho, N. Ben Hadj-Alouane, M. J. Morrow, and P. A. Polakos, "A platform as-a-service for hybrid cloud/fog environments," in Proc. IEEE Int. Symp. Local Metrop. Area Netw. (LANMAN), Jun. 2016, pp. 1-7.
22. X. Zhu, D. S. Chan, and M. S. Prabhu, "Improving video performance with edge servers in the fog computing architecture," Intel Technology J., vol. 19, no. 1, pp. 202-224, 2015.
23. K. Cao, Y. Liu, G. Meng and Q. Sun, "An Overview on Edge Computing Research," in IEEE Access, vol. 8, pp. 85714-85728, 2020.
24. U. I. Wani, R. S. Bath and M. Rashid, "Fog Computing Challenges and Future Directions: A Mirror Review," 2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE), Dubai, United Arab Emirates, 2019, pp. 765-769.
25. The Complete List of Wireless IoT Network Protocols, February 08, 2016, [Электронный ресурс] //- <https://www.link-labs.com/blog/complete-list-iot-networkprotocols>. (дата обращения: 12.03.2021).
26. Pallavi Sethi and Smruti R. Sarangi "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications" Journal of Electrical and Computer Engineering Volume 2017 (2017), Article ID 9324035, 25 pages.

27. J. Granjal, E. Monteiro, and J. Sa Silva, "Security for the internet of things: A survey of existing protocols and open research issues," IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 17, no. 3, pp. 1294-1312, 2015.
28. Стандарт IEEE 802.11 [Электронный ресурс] //- https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (дата обращения: 12.03.2021).
29. Спецификация Zigbee [Электронный ресурс] //- <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee> (дата обращения: 12.03.2021).
30. Спецификация IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4), [Электронный ресурс] //- <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html> (дата обращения: 12.03.2021).
31. Протокол связи Z-Wave, [Электронный ресурс] //- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Z-Wave> (дата обращения: 12.03.2021).
32. Спецификация протокола связи Z-Wave, [Электронный ресурс] //- <http://www.z-wave.com/> (дата обращения: 12.03.2021).
33. Bluetooth Technology Overview, [Электронный ресурс] //- <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
34. Bluetooth Technology Specifications, [Электронный ресурс] //- <https://www.bluetooth.com/specifications> (дата обращения: 12.03.2021).
35. LoRaWAN® Specification, [Электронный ресурс] //- <https://loraalliance.org/about-lorawan/> (дата обращения: 12.03.2021).

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСҚА

Керимкулов Нургазы Бекболатович

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау»

«Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау» тақырыбындағы дипломдық жұмыс Заттар интернеті (IoT) технологияларын дамыту саласына және оларды әртүрлі салаларда қолдануға маңызды үлес болып табылады.

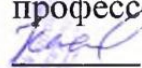
Студент деректерді жинау, сақтау, талдау және беруді қоса алғанда, IoT жүйелеріндегі ақпаратты өңдеудің қолданыстағы әдістеріне кең шолу жасады. Жұмыста IoT контекстіндегі ақпаратты өңдеудің әртүрлі әдістерінің техникалық аспектілері, артықшылықтары мен шектеулері терең қарастырылған.

IoT технологияларының қазіргі тенденциялары мен даму бағыттарын, сондай-ақ осы саладағы әзірлеушілер мен зерттеушілердің ықтимал қиындықтары мен қиындықтарын талдауға ерекше назар аудару керек.

Студенттің жұмысы пәндік саланы жақсы теориялық түсінуді ғана емес, сонымен қатар сыни тұрғыдан ойлау мен талдау қабілетін көрсетеді. Ол ұсынған тұжырымдар мен ұсыныстардың практикалық маңызы бар және оларды IoT саласындағы әртүрлі ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жобаларда қолдануға болады.

Студент, Керимкулов Нургазы Бекболатович дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс **«85/B+/ жақсы»** деп бағаланды, ал **Керимкулов Нургазы Бекболатовичке** 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші
ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған,
профессоры, т.ғ.к.

 Касимов А.О.

«29» 05 2024 ж.

Дипломдық жұмысқа
РЕЦЕНЗИЯ

Керимкулов Нургазы Бекболатович

6B06201 Телекоммуникация

Тақырыбына: «Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 18 парақ;
б) түсініктеме 58 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

«Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау» тақырыбындағы дипломдық жұмыс-бұл заттар интернеті (IoT) және IoT құрылғыларынан алынған деректерді өңдеу әдістері саласындағы маңызды зерттеу. Студент IoT деректерін жинау, сақтау, талдау және пайдалану контекстінде ақпаратты өңдеудің әртүрлі әдістеріне кең талдау ұсынады.

Бұл жұмыстың негізгі артықшылықтарының бірі-оның IoT-тің қарқынды дамуы және IoT құрылғылары шығаратын деректердің өсіп келе жатқан көлемі контекстіндегі өзектілігі. Деректерді өңдеу әдістері осы деректер көлемінен құнды ақпаратты алуда және алынған мәліметтер негізінде негізделген шешімдер қабылдауда маңызды рөл атқарады.

Сонымен қатар, дипломдық жұмыс IoT-те ақпаратты өңдеу әдістерін таңдау және қолдану бойынша практикалық ұсыныстар береді. Бұған сәйкес технологиялар мен құралдарды таңдау, деректерді өңдеу алгоритмдерін әзірлеу және IoT деректер жүйесін біріктіру және оңтайландыру бойынша ұсыныстар кіреді.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмысқа «жақсы» (85%) деген баға, ал студент Керимкулов Нургазы Бекболатовичті 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасының «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Рецензент:

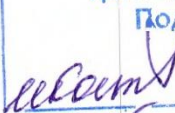
Ғ.Дәукеев атындағы АЭЖБ университеті,

PhD, т.ғ.к., доцент

 М.М. Ермекбаев

« 30 » 05 2024 ж.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

 Солтанқасимов

Қызметі _____ аты-жөні _____
« 29 » 05 2024 ж.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Керимкулов Нургазы Бекболатович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: «Интернет заттары арқылы ақпаратты өндеу әдістерін талдау»

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 2.7

Коэффициент Подобия 2: 1.2

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 6

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

29.05.2024
Дата

 Марксұлы С
проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Керимкулов Нургазы Бекболатович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: «Интернет заттары арқылы ақпаратты өндеу әдістерін талдау»

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 2.7

Коэффициент Подобия 2: 1.2

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 6

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

29.05.2024
Дата

Заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Керимкулов Нургазы Бекболатович

Тақырыбы: «Интернет заттары арқылы ақпаратты өңдеу әдістерін талдау»

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.7

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.2

Дәйексөз (35): 0.6

Әріптерді ауыстыру: 6

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

29.05.2024
Күні

Кафедра меңгерушісі

