

Міністерство освіти і науки України

Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Відділення інформаційних технологій, менеджменту, туризму
і підготовки іноземних громадян
(назва відділення)

Циклова комісія комп'ютерної інженерії
(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

фахового молодшого бакалавра
(освітньо-професійного ступеня)

на тему: Розробка фітнес контролера

Виконав: студент IV курсу, групи КІ-418

Спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<u>Владислав ПАКУЛЯК</u> (ім'я та прізвище)
Керівник	<u>Андрій НЕДОШИТКО</u> (ім'я та прізвище)
Рецензент	 (ім'я та прізвище)

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ»**

Відділення інформаційних технологій, менеджменту, туризму
та підготовки іноземних громадян

Циклова комісія комп'ютерної інженерії

Освітньо-професійний ступінь фаховий молодший бакалавр

Освітньо-професійна програма: Обслуговування комп'ютерних систем і мереж

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії

комп'ютерної інженерії

_____ Андрій ЮЗЬКІВ

“03” квітня 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

ПАКУЛЯКУ ВЛАДИСЛАВУ АНДРІЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка фітнес контролера

керівник роботи Недошитко Андрій Григорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Затверджені наказом ВСП «Тернопільський фаховий коледж ТНТУ імені Івана Пулюя» від 02.04.2024 р №4/9-157.

2. Строк подання студентом роботи: 17 червня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: плата Arduino Nano 33 BLE Sense з вбудованим IMU-модулем, гантель для кріплення плати Arduino, смартфон або планшет на Android, онлайн-платформа нейромережі Edge Impulse, типи вправ для розпізнавання: згинання біцепса, розведення рук в сторони, жим над головою, стан спокою, дані акселерометра, гіроскопа та магнітометра для навчання моделі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальний розділ. Розробка технічного та робочого проєкту. Спеціальний розділ. Економічний розділ. Охорона праці, техніка безпеки та екологічні вимоги.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- блок-схема алгоритму роботи;
- функціональна модель системи
- текст програми;
- таблиця техніко-економічних показників.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Богдана МАРТИНЮК викладач		
Охорона праці, техніка безпеки та екологічні вимоги	Володимир ШТОКАЛО викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	04.04	
2	Збір і узагальнення інформації	13.05	
3	Написання першого розділу	20.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	27.05	
5	Написання спеціального розділу	3.06	
6	Розрахунок економічної частини	5.06	
7	Написання розділу охорони праці	7.06	
8	Виконання графічної частини	10.06	
9	Оформлення проекту	12.06	
10	Погодження нормоконтролю	14.06	
11	Попередній захист роботи	17.06	
12	Захист кваліфікаційної роботи		

7. Дата видачі завдання: 04 квітня 2024 року

Студент

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Владислав ПАКУЛЯК

(ім'я та прізвище)

Андрій НЕДОШИТКО

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

У даній темі розглянуто побудову системи фітнес контролера, розпізнавання жестів для носимих пристроїв на основі Arduino Nano 33 BLE Sense з використанням TinyML та платформи Edge Impulse.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів.

У загальній частині описуються обґрунтування актуальності теми дипломного проекту, аналітичний огляд існуючих рішень.

У другому розділі описується аналіз технічного завдання, розробка функціональної схеми з вибором елементної бази контролера, написання програми управління для платформи Arduino та створення додатку для Android пристрою і під'єднання нейромережі до контролера.

У третьому розділі здійснюється розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою, інструкції з налаштування Bluetooth-з'єднання між додатком і платою Arduino для отримання даних, розробка методики перевірки, функціонування пристрою а також опис технічного обслуговування.

Розрахунок вартості розробки фітнес контролера приведено в економічній частині.

Основні питання охорони праці та техніки безпеки розглянуто в п'ятому розділі. Опис проекту створення фітнес контролера - пристрою для автоматичного підрахунку кількості виконаних вправ під час тренувань. Використовується плата Arduino Nano 33 BLE Sense з вбудованим IMU-модулем.

Обсяг пояснювальної записки 85 сторінок

До складу кваліфікаційної роботи входить графічна частина, яка складається з функціональної моделі системи, алгоритму функціонування системи, текстів програми, та таблиця техніко-економічних показників, що виконані на окремих аркушах формату А1.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ANNOTATION

This topic describes the construction of a fitness controller system, gesture recognition for wearable devices based on Arduino Nano 33 BLE Sense using TinyML and the Edge Impulse platform.

The explanatory note consists of five sections.

The general part describes the justification of the relevance of the topic of the diploma project, an analytical review of existing solutions.

The second section describes the analysis of the technical task, the development of a functional diagram with the choice of the controller's element base, writing a control program for the Arduino platform and creating an application for an Android device and connecting the neural network to the controller.

The third section includes the development of an electronic device user manual, instructions for setting up a Bluetooth connection between the application and the Arduino board to receive data, development of a methodology for testing, device operation, and a description of maintenance.

The calculation of the cost of developing a fitness controller is given in the economic part.

The main issues of labor protection and safety are discussed in the fifth chapter. Description of the project of creating a fitness controller - a device for automatically counting the number of exercises performed during training. The Arduino Nano 33 BLE Sense board with a built-in IMU module is used.

The volume of the explanatory note is 85 pages

The qualification work includes a graphic part, which consists of a functional model of the system, an algorithm for the system, program texts, and a table of technical and economic indicators, which are made on separate sheets of A1 format.

					2024.KBP.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи.....	9
1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень.....	11
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ ..	16
2.1 Аналіз технічного завдання КВР.....	16
2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази.....	20
2.3 Створення алгоритму роботи системи.....	27
2.4 Розробка додатку на Android	31
2.5 Написання текстів програми.....	37
2.6 Використання засобів машинного навчання Edge AI	42
2.7 Підключення нейронної мережі	45
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	55
3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою	55
3.2 Розробка методики перевірки, функціонування пристрою	57
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	59
4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР	59
4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи.....	60
4.3 Розрахунок матеріальних витрат.....	62
4.4 Розрахунок витрат на електроенергію	63
4.5 Визначення транспортних затрат	64
4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань.....	65
4.7 Обчислення накладних витрат.....	65

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Пакуляк В.А.			Розробка фітнес контролера Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.		Недошитко А.Г.					Аркушів
Реценз.							6
Н. Контр.		Приймак В.А				ВСП «ТФК ТНТУ ім. Івана Пулюя»	
Затверд.						КІ – 418	

4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР	66
4.9 Розрахунок ціни НДР.....	67
4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень	69
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ.....	69
5.1 Захист від електромагнітних полів	72
5.2 Психофізіологічне розвантаження користувачів.....	72
5.3 Методи регулювання якості повітряного середовища.....	74
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	78
ДОДАТКИ.....	80
ДОДАТОК А.....	80

ВСТУП

Спортивне життя набирає все більших обертів в цей час. Люди прагнуть вести здоровий спосіб життя, ходити в тренажерні зали, займатися бігом та іншими видами фізичної активності. Популярний вид тренувань вдома - вправи з вільними вагами, зокрема гантелями.

Гантелі дозволяють ефективно розвивати силу і витривалість м'язів всього тіла. Ці доступні та зручні силові тренажери активно використовують як професійні спортсмени, так і любителі. Проте традиційні гантелі мають суттєвий недолік - важко об'єктивно відстежувати прогрес під час тренувань.

В останні роки спостерігається стрімке зростання попиту на "розумні" пристрої для фітнесу та спорту. Саме тут і стають у нагоді інноваційні розумні гантелі. Вони оснащені датчиками та електронікою для збору та аналізу даних а саме кількість підходів і повторень, темп виконання вправ, обсяг навантаження тощо. Ці дані відображаються в мобільному додатку, де також можна ставити цілі, планувати тренування, відстежувати динаміку.

Зокрема, фітнес контролери дозволяють відстежувати, та аналізувати тренування в реальному часі, надаючи цінну інформацію щодо обсягу навантажень, рухів та результатів. У цей час, коли здоров'я та фізична активність займають важливе місце в житті кожної людини, фітнес контролер виходить на передовий план, пропонуючи інтелектуальні інструменти для оптимізації тренувального процесу та досягнення найкращих результатів.

Завдяки цьому, фітнес контролери допомагають підвищити ефективність домашніх тренувань. Вони мотивують більше займатися спортом, дозволяють об'єктивно оцінити свої результати та скорегувати програму тренувань. Тобто, розумне спортивне обладнання стає важливою частиною здорового способу життя для багатьох людей.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка фітнес контролера на базі мікроконтролерної платформи Arduino.

Спектр використання фітнес контролера дуже великий, його можна застосовувати в багатьох сферах життя. Він буде актуальним завжди, тому що спорт є невід'ємною частиною життя, а корисний контролер є для таких галузей:

- Галузь фітнесу. Контролер може служити як віртуальний тренер, надаючи користувачам реальний час зворотного зв'язку щодо техніки виконання вправ, моніторингу серцевого ритму та інших параметрів тренувань.

- Групові тренування. У групових тренуваннях фітнес-контролер може бути використаний для синхронізації та координації дій учасників групи, а також для відстеження їхнього прогресу та конкуренції.

- Домашні тренування. Він може стати ідеальним спутником для домашніх тренувань, надаючи персоналізовані програми та вказівки безпосередньо через мобільний додаток чи інтерактивний екран.

- Реабілітація та фізіотерапія. Фітнес-контролер може бути корисним в процесах реабілітації, допомагаючи контролювати та адаптувати навантаження для пацієнтів із травмами або обмеженою фізичною активністю.

- Силкові тренування та підготовка. У вищих видових галузях, таких як професійний спорт чи військова підготовка, фітнес-контролер може використовуватися для точного моніторингу та оптимізації тренувальних процесів.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Ігрові фітнес-додатки: У вигляді контролера для ігрових фітнес-додатків, пристрій стає інтерактивним ігровим елементом, що стимулює користувачів до фізичної активності.

– Корпоративні фітнес-програми. В офісних середовищах або корпоративних програмах здоров'я, фітнес-контролер може служити інструментом для моніторингу та стимулювання працівників до фізичної активності.

У сучасному світі все більше людей намагається вести здоровий спосіб життя та стежити за своєю фізичною активністю. Фітнес-гаджети стають зручним інструментом для моніторингу кількості кроків, пульсу, витрачених калорій під час тренувань і в звичайному житті. Це мотивує людей більше рухатися.

Дані фітнес-трекерів активно використовуються в медицині та реабілітації. Лікарі аналізують фізичну активність пацієнтів для оцінки ефективності лікування, дослідження впливу хвороб на організм, призначення індивідуальних програм реабілітації.

Страхові компанії заохочують клієнтів користуватися фітнес-браслетами, адже це дозволяє аналізувати здоров'я людини і прогнозувати ризики захворювань при визначенні страхових тарифів.

У сфері спортивної науки та статистики дані з мільйонів фітнес-гаджетів використовують у дослідженнях впливу фізичної активності на стан здоров'я людей різної статі та віку за різних умов.

Усі ці аспекти вказують на те, що фітнес-контролери відповідають актуальним потребам сучасного суспільства в сфері здоров'я та фізичної активності, і їхнє використання може значно полегшити та збагатити фітнес-процеси для різних категорій користувачів. А у зв'язку з зростаючим інтересом населення до здорового способу життя та можливостями застосування даних фітнес-контролерів у медицині, страхуванні та науці, попит на такі пристрої буде тільки зростати.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень

Серед фітнес контролерів для спорту можна розглянути наступні:

1. Мікростимулятор для пресу EMS-ABS

М'язи преса відіграють дуже важливу роль в підтриманні правильної постави, рівноваги тіла та запобіганні травм хребта. Сильний прес не тільки візуально привабливий, але й корисний для здоров'я в цілому.

Адже саме м'язи черевного преса утворюють так званий "м'язовий корсет", який підтримує хребет та внутрішні органи, не даючи їм провисати. Особливо це важливо при піднятті ваг, нахилах та скручуваннях тулуба.

У спорті сильний прес має вирішальне значення для ефективності багатьох вправ та запобігання травмам. Наприклад, у важкій атлетиці, пауерліфтингу міцний "м'язовий корсет" дозволяє піднімати величезні ваги без пошкодження хребта. А у єдиноборствах та командних видах спорту добре розвинений прес сприяє швидким переміщенням, різким змінам напрямку рухів тощо.

Тому варто обов'язково тренувати групу м'язів пресу, а в цьому може допомогти фітнес пристрій "EMS Стимулятор м'язів", "ABS Тренажер".

Фітнес-технологія EMS. Використовує вібрацію EMS, щоб тренувати м'язи преса та рук, а також передавати сигнал м'язам усього тіла, щоб підтримувати їх у тренуваному стані, створюючи м'язи, щоб живіт і руки були підтягнутими. З цим інтелектуальним електронним фітнес-пристроєм легше ніж будь-коли, створити плоский живіт і м'язи преса з простих шести упаковок. Ця технологія пройшла спеціальну перевірку і не шкодить організму.

Багатофункціональний міостимулятор має шість різних режимів використання і десять різних рівнів вибору інтенсивності, та інтелектуального керування ICS. Три вправи розминки на розслаблення, також можна тренувати живіт, руки, спину, сідниці, груди, ноги тощо в усіх напрямках. Використання пристрою протягом 30 хвилин відповідає бігу на 2000 м, присіданню 60

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хвилин, підняття важкої атлетики протягом 30 хвилин, плаванню також 60 хвилин тощо.

Із вбудованим акумулятором портативний тренажер ABS можна заряджати через будь-який інтерфейс USB. Також можна використовувати мобільний телефон для заряджання.

Повністю заряджений пристрій, є активним протягом двох годин, можна безперервно працювати протягом 30 годин. Машина може діяти тільки міцно на шкіру, але якщо раптом пристрій не працює, то він автоматично вимкнеться через кілька секунд (див.рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Мікростимулятор для пресу EMS-ABS

Але в цьому пристрої також є недоліки, а саме такі як дискомфорт під час процедур. Електрична стимуляція м'язів може викликати неприємні відчуття, особливо на високих рівнях інтенсивності. Деякі люди взагалі не переносять такого роду процедури. Ризик опіків та подразнень шкіри при неправильному використанні також є можливим. Електроди повинні правильно накладатися та фіксуватися. Можливість травмування м'язів та

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

сухожиль при надмірному навантаженні є досить небезпечним, необхідно обов'язково дотримуватись рекомендованих параметрів процедур. Одним з найголовніших недоліків цього контролера це є звикання м'язів до стимуляції, тому слід міняти тренажери, та планування тренувань. Високою вартістю якісних професійних EMS і ABS пристроїв, також є суттєвим недоліком.

Ось технічні характеристики пристрою у таблиці 1.1:

Таблиця 1.1. – Технічні характеристики EMS та ABS пристрою

Назва:	Акcesуари:	Характеристика:
Живлення	Панель: 3 шт	DC 5 В, 200 мА
Частота	Пояс для живота: 1 шт	1-116 Гц
Тривалість імпульсів	Бретелі: 2 шт	1-116 Гц
Температурний режим	Трикомпонентний кабель для зарядки	5 ° С - 40 ° С
Відносна вологість	Інструкція користувача: 1 шт	≤65%
Атмосферний тиск	Набір наліпок	700 - 1060 гПа
Розміри пристрою	QR-код посилення	19x15,5x0,2 см
Вага нетто / брутто	Фірмова коробка	50/195 г

Вартість пристрою: 3030 грн.

2. Дихальний фітнес тренажер Airofit Pro

Дихальна система відіграє дуже важливу роль в будь-якій фізичній активності, а особливо у спорті. Адже саме завдяки диханню в організм надходить кисень, який необхідний м'язам для скорочення.

Чим інтенсивнішим є тренування чи змагання, тим більше кисню потрібно м'язам. Від потужності та об'єму легень залежить, наскільки ефективно вони зможуть його постачати.

Тому в багатьох видах спорту спеціальні дихальні вправи та тренажери є невід’ємною складовою підготовки. Вони дозволяють значно збільшити життєву ємність легень, покращити роботу дихальних м’язів, навчитись оптимально дихати під час фізичних навантажень.

Дихальний тренажер Airofit Pro - це прецизійний пристрій для тренування легенів, який розроблявся більше 5 років. Це універсальний дихальний тренажер, який покращує ефективність дихання за допомогою персоналізованих дихальних вправ. Незалежно від того, чи біг, їзда на велосипеді, плавання або просто покращення загального самопочуття, здорова дихальна система піде на користь любій людині.

Покращення здоров'я серця та мозку - Використання тренажера Airofit Pro принаймні 10 хвилин щодня може зміцнити дихальні м'язи, що призведе до зниження ризику серцевого нападу та значного покращення когнітивних функцій. Цей тренажер для глибокого дихання допоможе зосередитися у робочих справах, глибше заснути і в цілому покращити психічне здоров'я та роботу серцево-судинної системи. Тренажер Airofit Pro призначений для використання окремо від будь-якої іншої фізичної активності.

Airofit використовується окремо від фізичної активності. Можливість тренуватися саме тоді і там, де завгодно. Він чудово підходить для респіраторної терапії, очищення легенів або як фітнес-маска для тренажерних залів (див.рис.1.2).

Головний недолік пристрою – ціна, вона є дуже великою, а саме через те що цей пристрій є новітнім у технологіях фітнес контролерів, та він не шириться досить великою популярністю серед людей.

Airofit Pro має Bluetooth-з'єднання для керування програмою в реальному часі, зворотного зв'язку та відстеження прогресу. Просто слід завантажити додаток Airofit з App Store або Google Play Store і почати відстежувати свій прогрес.

Також у цьому пристрої є безкоштовний тренувальний додаток, який є простим у використанні. Мобільний додаток містить різноманітні дихальні

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програми, засновані на даних, щоб можна було отримувати найкращі результати в найкоротші терміни.



Рисунок 1.2 – Дихальний фітнес тренажер Airofit, та мобільний додаток

Технічні характеристики пристрою можна розглянути в таблиці 1.2. Також можна розглянути більш детально сам контролер у розібраному стані на рисунку 1.3.

Таблиця 1.2. – Технічні характеристики дихального фітнес тренажеру Airofit Pro

Тип зв'язку:	смартфон
Вага:	45 грам
Розмір:	30 x 45 x 15 мм
Вартість:	18250 грн



Рисунок 1.3 – Розібраний дихальний фітнес тренажер

2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ

2.1 Аналіз технічного завдання КВР

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка фітнес контролеру для спорту. Контролер складається з шістьох функціональних частин (див.рис.2.1):

- Апаратний модуль. Плата Arduino Nano 33 BLE Sense з вбудованим 9-осьовим IMU модулем (акселерометр, гіроскоп, магнітометр). Мікроконтролер для збору даних від датчиків.

- Модуль збору даних. Платформа нейронної мережі для збору даних руху від датчиків під час виконання різних вправ (жим гантелі, підйом гантелі вбік, жим над головою, бездіяльність).

- Модуль обробки сигналів. Використання блоку спектрального аналізу для попередньої обробки та очищення зібраних даних.

- Модуль мікрофону. Плата має вбудований мікрофон MEMS (мікро-електро-механічна система) для запису звуку. Цей модуль дозволяє записувати аудіодані та використовувати їх для розпізнавання звуків, голосу тощо.

- Датчик температури. Вбудований датчик температури надає можливість вимірювати температуру навколишнього середовища. Ця інформація може бути корисною для різних застосунків, наприклад: моніторинг температури, системи управління кліматом і т.д.

- Модуль геолокації. Плата оснащена модулем GPS для визначення географічних координат. Це дозволяє створювати додатки, пов'язані з відстеженням місцезнаходження, навігацією тощо.

- Барометричний датчик тиску. Вбудований датчик атмосферного тиску може вимірювати тиск повітря. Ця інформація корисна для метеорологічних додатків, вимірювання висоти та інших завдань, пов'язаних з тиском.

- Модуль Bluetooth Low Energy (BLE).

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плата має вбудований Bluetooth модуль для бездротового зв'язку з іншими пристроями через BLE. Це дозволяє передавати дані на смартфони, планшети, комп'ютери або інші плати Arduino через Bluetooth.

– Також плата має USB порт, що дозволяє енергоспоживання через різноманітні джерела живлення, наприклад павербанком.

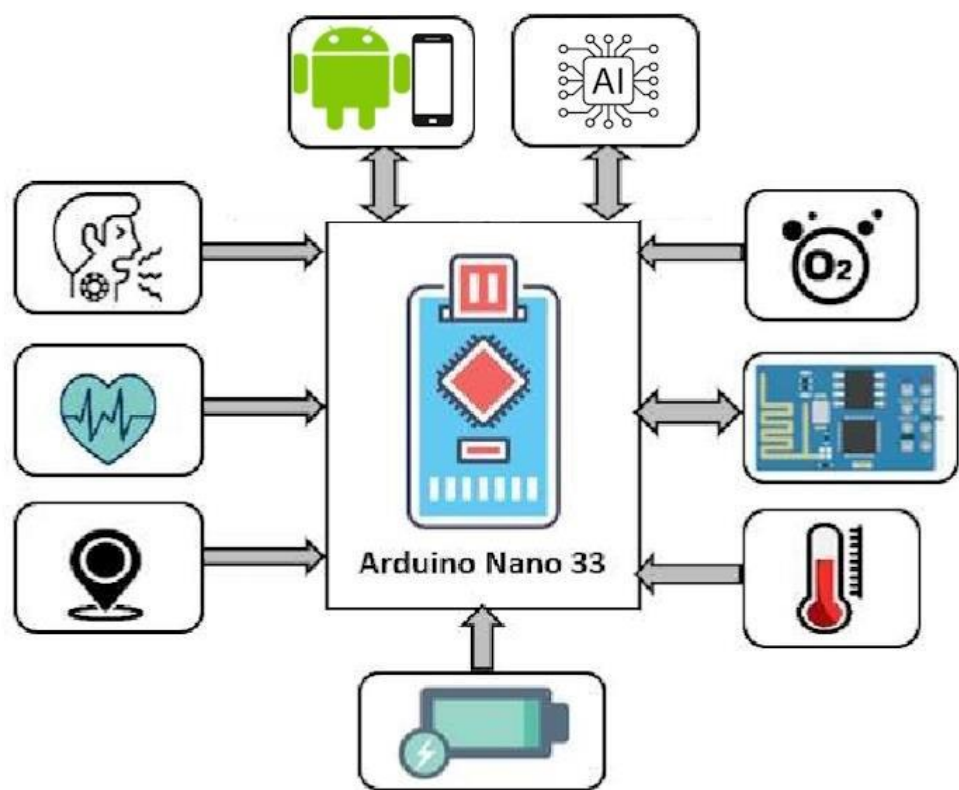


Рисунок 2.1 – Функціональні модулі системи

Використання нейронної мережі для навчання на зібраних даних та створення моделі розпізнавання вправ. А саме модуль машинного навчання використовується в цьому проекті для навчання моделі розпізнавання вправ з гантелями на основі даних з датчиків руху (акселерометра, гіроскопа та магнітометра). Основна мета - створити систему, яка зможе автоматично визначати, яку саме вправу з гантелями виконує користувач, на основі даних з датчиків руху.

Здатність виявляти складні невідомі закономірності в даних руху.

Нейронна мережа може "навчитися" розпізнавати характерні патерни руху для кожної вправи безпосередньо з прикладів даних, без потреби програмувати правила явно. Все це для того щоб максимально дати навантаження на м'яз, і навчитись робити правильну амплітуду для виконання вправи.

Узагальнення і роботоздатність до варіацій. Добре навчена нейромережа зможе розпізнавати вправи, навіть якщо вони виконуються з деякими особливостями чи відхиленнями від ідеальної траєкторії.

Масштабованість. За наявності більше даних, нейромережа може навчатися краще розпізнавати більшу кількість різних вправ.

Таким чином, використання методів машинного навчання, зокрема нейронних мереж, дозволяє створити гнучку та інтелектуальну систему розпізнавання вправ, яка буде працювати значно краще, ніж системи на основі жорстко запрограмованих правил і порогових значень.

– Зв'язок з мобільним пристроєм через відправлення даних при виконанні вправи на смартфон користувача.

Таким чином, головними модулями являються: апаратний модуль, збір даних, обробка сигналів, машинне навчання, розгортання моделі та з'єднання з мобільним пристроєм.

Для вибору апаратної платформи використовуватиметься плата Arduino Nano 33 BLE Sense, яка містить IMU-модуль на 9 ступенів свободи (акселерометр, гіроскоп, магнітометр). Плата буде закріплена на гантелі для відстеження рухів користувача. А для живлення плати буде використовуватися павербанк.

Для реалізації системи розпізнавання рухів буде використовуватися платформа Edge Impulse, яка спеціалізується на TinyML (машинне навчання для мікроконтролерів). На платформі Edge Impulse буде виконано наступні кроки:

– Збір даних з датчиків плати Arduino під час виконання різних вправ (bicepscurl, lateralraise, overheadpress, idle).

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- Попередня обробка даних, зокрема розбиття на часові вікна та спектральний аналіз.
- Навчання нейронної мережі для класифікації виконуваних вправ.
- Тестування та оцінка точності навченої моделі.
- Генерація бібліотеки для розгортання моделі на платі Arduino.

Під розробку скетчу для Arduino буде використано приклад `nano_ble_sense_accelerometer` як основа. Необхідно реалізувати логіку відправки даних про розпізнані вправи по Bluetooth Low Energy (BLE) на смартфон користувача.

Тобто дане технічне завдання передбачає розробку повноцінної системи розпізнавання вправ з гантелями на базі плати Arduino Nano 33 BLE Sense, використовуючи сучасні підходи машинного навчання (TinyML) та бездротової передачі даних. Це досить складний і комплексний проект, що вимагає глибоких знань у галузі вбудованих систем, обробки сигналів, машинного навчання та Bluetooth.

Платформа Edge Impulse надає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для розробки системи розпізнавання вправи "bicepscurl" з використанням Arduino Nano 33 BLE Sense. Платформа Edge Impulse надає інтуїтивно зрозумілий та всеосяжний інтерфейс для розробки системи розпізнавання вправи "bicepscurl" з використанням Arduino Nano 33 BLE Sense.

Для тестування моделі, платформа надає спеціальний інструмент, який дозволяє оцінити результати моделі на наборі тестових даних. Користувач може візуалізувати результати тестування, включаючи оцінку точності та матрицю помилок, а також виконувати ручну класифікацію зразків даних для подальшого налаштування моделі.

Тобто, Edge Impulse - це платформа для розробки та впровадження моделей штучного інтелекту на мікроконтролерах та вбудованих пристроях. Її інтерфейс розроблений з урахуванням зручності використання для розробників різних рівнів. [1]

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Загалом, інтерфейс платформи Edge Impulse забезпечує всебічну підтримку для збору даних, обробки, навчання моделі та її розгортання на Arduino Nano 33 BLE Sense для розпізнавання вправи "bicepscurl". Він розроблений щоб бути інтуїтивно зрозумілим та зручним у використанні.

2.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Для реалізації проекту фітнес контролера було обрано наступну елементну базу:

Мікроконтролер Arduino Nano 33 BLE Sense. Вибір цієї плати обумовлений наявністю вбудованого IMU-модуля на 9 ступенів свободи, що включає трьохосові акселерометр, гіроскоп та магнітометр. Ці сенсори дозволяють отримувати дані про рухи гантелі під час виконання вправ. Крім того, плата має низьке енергоспоживання та компактні розміри, що робить її зручною для використання у носимих пристроях. Arduino Nano 33 BLE Sense має достатню обчислювальну потужність для реалізації алгоритмів машинного навчання TinyML (див.рис.2.2).

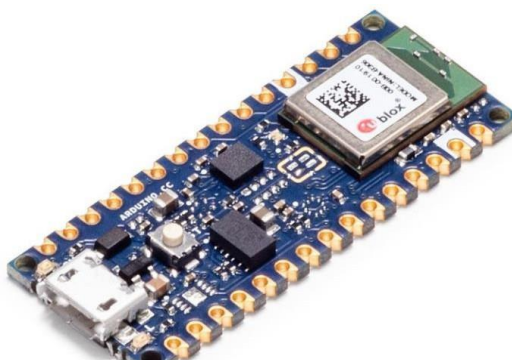


Рисунок 2.2 – Мікроконтролер Arduino Nano 33 BLE Sense

Arduino Nano 33 BLE Sense – це чудовий вибір для будь-якого початківця, виробника чи професіонала, щоб розпочати роботу з вбудованим машинним навчанням. Він створений на основі мікроконтролера nRF52840 і

					2024.KBP.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

працює на ОС Arm Mbed. Nano 33 BLE Sense не тільки має можливість підключатися через Bluetooth Low Energy, але також оснащений датчиками для визначення кольору, наближення, руху, температури, вологості, звуку тощо. Мікроконтролер, на архітектурі ARM Cortex M4F, вражає не лише своєю потужністю та кількістю пам'яті, але й вбудованими модулями Bluetooth 5 та NFC, які повністю підтримуються середовищем Arduino. [7]

BLE mesh, ZigBee, Thread та ANT підтримуються оригінальним SDK від Nordic. [2]

Головні компоненти що входять у плату:

Bluetooth. Потужний 2,4 ГГц модуль Bluetooth 5 Low Energy від u-blox із внутрішньою антеною. Може використовуватися для передачі даних між різними пристроями за допомогою бібліотеки ArduinoBLE.

Підтримка Python. Цю плату можна програмувати за допомогою MicroPython, яка є реалізацією мови програмування Python, яка постачається з підмножиною стандартної бібліотеки Python.

Розпізнавання наближення та жестів. Можна дізнатися, як виводити необроблені дані датчика за допомогою вбудованого датчика APDS9960 і створювати систему керування жестами. Разом із бібліотекою APDS9960 можна керувати вбудованим світлодіодом RGB за допомогою жестів.

Датчик температури та вологості. Ємнісний цифровий датчик HTS221 вимірює відносну вологість і температуру. Він має точність біля 0,5 °C і таким чином, ідеально підходить для визначення температури навколишнього середовища.

IMU для виявлення руху. Інерціальний вимірювальний блок LSM9DS1 оснащений 3D-акселерометром, гіроскопом і магнітометром, що дозволяє виявляти орієнтацію, рух або вібрацію у проєкті.

Мікрофон. Можна використовувати вбудований всеспрямований цифровий мікрофон (MP34DT05) для захоплення та аналізу звуку в реальному часі, щоб створити голосовий інтерфейс для любого проєкту. Слід просто використати бібліотеку PDM, щоб реалізувати функції у своїх проєктах.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчик барометричного тиску. LPS22HB вловлює барометричний тиск і дозволяє виводити 24-розрядні дані про тиск від 260 до 1260 гПа. Ці дані також можна обробити для розрахунку висоти над рівнем моря поточного місця розташування (див.рис.2.3). [7]

Призначення виводів:

- D13 Цифровий GPIO
- +3V3 Вихід живлення. Підключений до виходу внутрішнього стабілізатора напруги
- AREF Вхід опорної напруги АЦП. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A0/DAC0 Аналоговий вхід АЦП/ вихід ЦАП. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A1 Аналоговий вхід АЦП. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A2 Аналоговий вхід АЦП. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A3 Аналоговий вхід АЦП. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A4/SDA Аналоговий вхід АЦП/ I2C SDA. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A5/SCL Аналоговий вхід АЦП/ I2C SCL. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A6 Аналоговий вхід АЦП. Може використовуватися як цифровий GPIO
- A7 Аналоговий вхід АЦП. Може використовуватися як цифровий GPIO
- VUSB Вхід/вихід напруги живлення.
- RST Цифровий вхід сигналу скидання. Активний рівень низький (дубльований на 18 вивід)
- GND Загальний

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- VIN Вхід напруги живлення
- TX Цифровий вихід USART. Може бути використаний як цифровий GPIO
- RX Цифровий вхід USART. Може бути використаний як цифровий GPIO
- RST Цифровий вхід сигналу скидання. Активний рівень низький (дубльований на 13 вивід)
- GND Загальний
- D2 Цифровий GPIO
- D3/PWM Цифровий GPIO. Може бути використаний як ШІМ
- D4 Цифровий GPIO
- D5/PWM Цифровий GPIO. Може бути використаний як ШІМ
- D6/PWM Цифровий GPIO. Може бути використаний як ШІМ
- D7 Цифровий GPIO
- D8 Цифровий GPIO
- D9/PWM Цифровий GPIO. Може бути використаний як ШІМ
- D10/PWM Цифровий GPIO. Може бути використаний як ШІМ
- D11/MOSI Цифровий SPI MOSI. Може бути використаний як GPIO
- D12/MISO Цифровий SPI MISO. Може бути використаний як GPIO. [3]

Призначення виводів 6-пін роз'єму (див.рис.2.3).:

- +3V3 Вихід живлення. Підключений до виходу внутрішнього стабілізатора напруги
- SWD Цифровий вивід даних nRF52480
- SWCLK Цифровий вивід синхронізації nRF52480 Цифровий вивід синхронізації nRF52480
- GND Загальний
- RST Цифровий вхід сигналу скидання. Активний рівень низький.

[3]

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

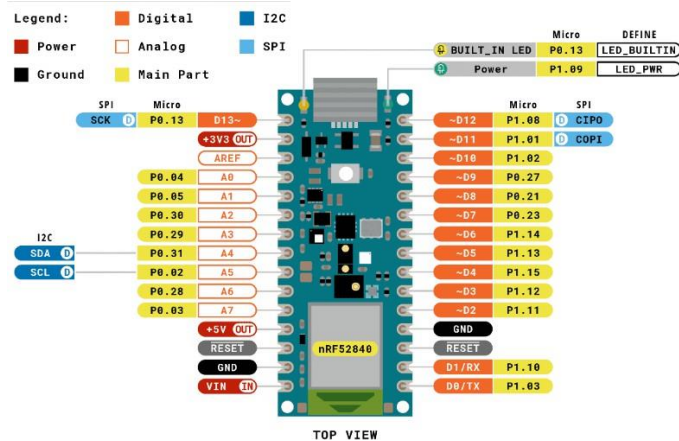


Рисунок 2.3 – Розпіновка лише основних датчиків мікроконтролера
Arduino Nano 33 BLE Sense

Arduino Nano 33 BLE Sense є значно вдосконаленою версією звичайного Arduino Nano і оснащений більш потужними функціями, зокрема для роботи з Інтернетом речей (IoT) та з вбудованими датчиками для різноманітних застосувань. Технічні характеристики можна переглянути на таблиці 2.1, та на рисунку 2.4.

Таблиця 2.1 – Характеристики Arduino Nano 33 BLE Sense [2]

Постійний струм на GPIO	15 мА
Робоча напруга	3.3В
Вхідна напруга плати (межа)	21В
Мікроконтролер	
Тактова частота	64 МГц
Флеш-пам'ять	1 Мб
SRAM	256 КБ
Кількість контактів GPIO	14
Довжина	45 мм
Ширина	18 мм
Вага	5 гр (з роз'ємом)

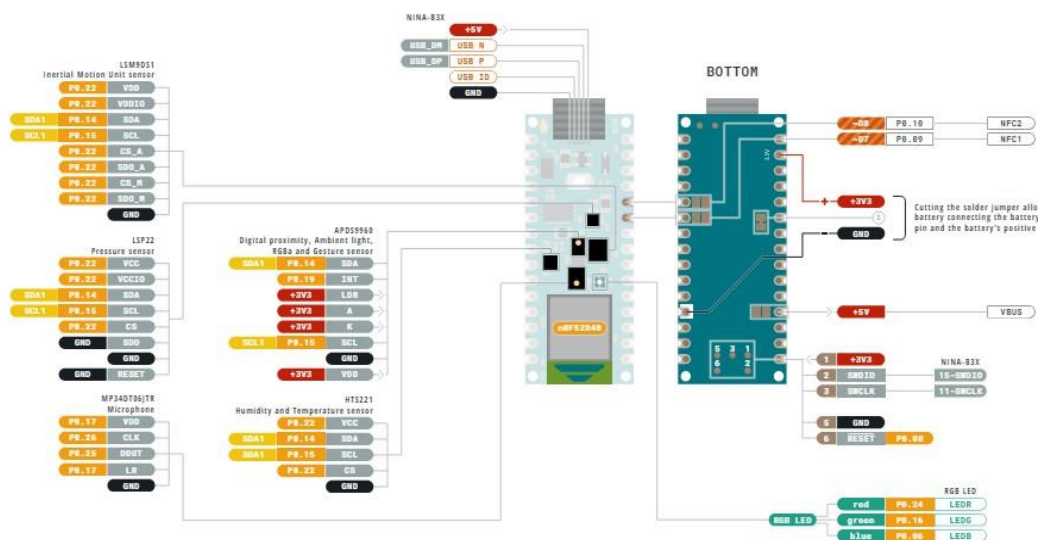


Рисунок 2.4 – Розпіновка усіх елементів мікроконтролера Arduino Nano 33 BLE Sense

Якщо порівнювати з Arduino Uno, то процесор Uno використовує 8-бітний процесор, тоді як Nano 33 BLE Sense має 32-бітний, що забезпечує більшу швидкість та кращу обробку даних. По функціональності IoT Uno не має вбудованого BLE або інших бездротових засобів, що є стандартом для Nano 33 BLE Sense. Також значним мінусом Uno являється відсутність датчиків, тоді як Nano 33 BLE Sense оснащений широким спектром датчиків для збору даних про навколишнє середовище. А розмір самої плати Nano 33 BLE Sense менша і більш компактна, що робить її ідеальною для вбудованих систем та мобільних застосувань.

Для живлення системи розпізнавання вправ з гантелями на базі плати Arduino Nano 33 BLE Sense замість двох акумуляторів 18650 рекомендується використати портативний зарядний пристрій (павербанк). Це дозволить забезпечити компактне та мобільне рішення для живлення системи.

Рекомендації щодо вибору павербанка:

- Плата Arduino Nano 33 BLE Sense споживає близько 100 мА в активному режимі. Рекомендується павербанк з ємністю не менше 5000

мА ·год, що забезпечить тривалий час роботи системи без підзарядки.

- Роз'єми. Бажано, щоб павербанк мав USB-роз'єм типу Micro-USB для зручності підключення до плати Arduino Nano 33 BLE Sense.

- Компактний розмір і вага: Оскільки система буде використовуватися для гантелі, павербанк має бути компактним і легким, щоб не перевантажувати гантель.

- Захист від перевантаження, перегріву та короткого замикання: Це важливі функції безпеки для забезпечення стабільної та безпечної роботи системи.

- Вихідна напруга. Павербанк повинен мати вихідну напругу 5 В, оскільки плата Arduino Nano 33 BLE Sense живиться від напруги 5 В. Технічні характеристики рекомендованого павербанка (див.рис.2.5) [4]:

- Ємність: 5000 мА·год або більше
- Вихідна напруга: 5 В
- Роз'єми: Micro-USB або USB Type-C
- Розміри: Компактний, наприклад, 100 x 60 x 10 мм
- Вага: Легкий, наприклад, 100-150 г
- Захист від перевантаження, перегріву та короткого замикання



Рисунок 2.5 – Павербанк на 5000 мА·год

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Ще одна річ для бази даного проєкту є сама гантель. А саме було використано гексогональна обгумована гантель – це шестигранна гантель , яка має універсальне використання під час тренувань. Завдяки гумовому покриттю вона дуже міцна, а її форма запобігає небажаним ушкодженням. Вона виготовлена з високоякісної сталі та заліза, а завдяки засічкам в області ручки їй буде складно вислизнути з вашої руки. До неї прикріплюється сам контролер, та тримач девайсу (див.рис.2.6). [6]

Вибір даної елементної бази обумовлений факторами, що Arduino Nano 33 BLE Sense має необхідні сенсори (IMU) для збору даних про рухи гантелі, та низьке енергоспоживання, компактність плати Arduino.



Рисунок 2.6 – Гексогональна обгумована гантель

КомпнONENT який не є самим головним але без нього ніяк, це сама гексогональна обгумована гантель. Всі ці компонентами є доступними разом з засобами розробки, і не є досить складними в плані пошуку допомоги суспільних проблем, та їх вирішень.

2.3 Розробка алгоритму роботи системи

Алгоритм роботи системи виявлення жестів починається з ініціалізації Arduino Nano 33 BLE Sense. Плата підключається до комп'ютера, запускається програмне забезпечення Edge Impulse та завантажується попередньо натрено-

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вана модель машинного навчання. Вбудовані датчики (акселерометр, гіроскоп та магнітометр) збирають дані про рухи та орієнтацію гантелі. Зібрані дані розбиваються на вікна, до них застосовується спектральний аналіз для вилучення ключових ознак. Потім навчена нейронна мережа класифікує дані для визначення типу вправи, що виконується. Система перевіряє достовірність класифікації. Якщо вона перевищує 70%, результат (код вправи) відправляється на мобільний пристрій через Bluetooth Low Energy (BLE).

Мобільний додаток приймає дані через BLE і оновлює інтерфейс, відображаючи кількість повторень для кожної вправи. Цикл повторюється, поки система активна.

А при використанні пристрою зображується процес обробки фітнес контролера користувачем. Спочатку потрібно підключити гантель до джерела живлення (павербанку). Далі на смартфоні/планшеті запускається мобільний додаток. Через додаток виконується сканування наявних Bluetooth пристроїв та підключення до гантелі. Після цього користувач може виконувати вправи з гантелями - система автоматично розпізнає і підраховує кількість повторень кожної вправи. Результати в режимі реального часу відображаються в мобільному додатку. За бажанням можна скинути результати в додатку. Після завершення тренування необхідно відключитися від пристрою через додаток (див.рис.2.7).

Алгоритм:

Стартовий етап алгоритму:

- Перевірка наявності всіх необхідних компонентів системи;
- Підготовка робочого місця для тренування;

Підключення гантелі до джерела живлення:

- Перевірка рівня заряду павербанку;
- Підключення кабелю живлення до гантелі;
- Підключення кабелю до павербанку;
- Перевірка індикатора живлення на гантелі;

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Ініціалізація системи:

- Підключення Arduino Nano 33 BLE Sense;
- Завантаження прошивки на Arduino;
- Ініціалізація всіх необхідних бібліотек;
- Налаштування пінів вводу/виводу;

Ініціалізація BLE сервісу та характеристики:

- Створення BLE сервісу;
- Налаштування характеристик для передачі даних;
- Встановлення параметрів безпеки з'єднання;

Запуск Edge Impulse та завантаження навченої моделі;

Запуск мобільного додатку:

- Перевірка наявності всіх необхідних дозволів (Геолокація);
- Ініціалізація користувацького інтерфейсу;

Сканування та підключення через Bluetooth:

- Сканування доступних BLE пристроїв;
- Фільтрація списку для виявлення гантелі;

Виконання вправ з гантелями;

Збір даних з датчиків:

- Зчитування даних з акселерометра, гіроскопа та магнітометра;
- Обробка та класифікація даних;
- Розбиття даних на вікна;
- Застосування спектрального аналізу;
- Класифікація жесту за допомогою нейронної мережі;

Якщо достовірність класифікації більше 70%? То відправлення коду буде не розпізнано. Якщо так, то передача результатів здійснюватиметься через датчик BLE;

Відображення результатів;

Скидання результатів.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

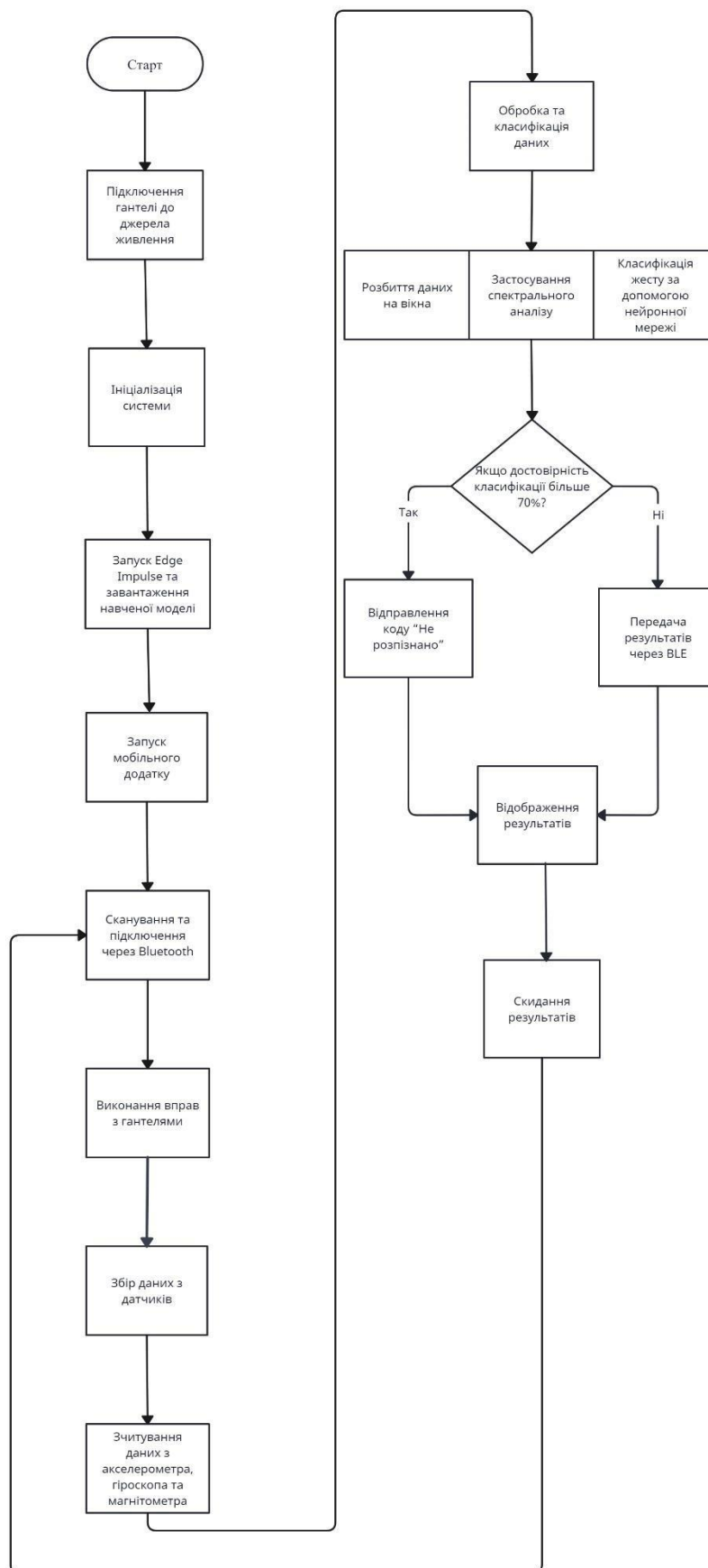


Рисунок 2.7 – Алгоритм роботи системи

2.4 Розробка додатку на Android

App Inventor 2 є вільно доступним веб-додатком, який дозволяє користувачам створювати власні мобільні додатки для операційних систем Android (та в деяких випадках iOS через розширення) без необхідності вивчення складних мов програмування. Ця платформа розроблена з метою зробити процес створення додатків доступним та зрозумілим для широкої аудиторії, включаючи школярів, студентів, вчителів, а також хобісти-програмісти.

App Inventor був розроблений і запущений групою з Лабораторії комп'ютерних наук та штучного інтелекту (CSAIL) Массачусетського технологічного інституту (MIT) після того, як проект був ініційований Google у 2010 році. Google передав проект MIT у 2012 році, де він отримав назву MIT App Inventor.

Складається застосунок з кількох основних компонентів:

Дизайнер (Designer) – це графічний інтерфейс, де користувачі можуть створювати лейаут (розмітку) свого додатку, використовуючи перетягування компонентів, таких як кнопки, текстові поля, зображення, списки та багато іншого.

Блоки (Blocks) – це середовище, в якому користувачі програмують логіку своїх додатків, використовуючи візуальне програмування. Тут блоки, що містять різні інструкції та оператори, з'єднуються разом для створення процедур і функцій. Цей підхід схожий на Scratch — відомий інструмент для навчання програмуванню.

Емулятор, Реальний Пристрій – користувачі можуть тестувати свої додатки використовуючи онлайн-емулятор або безпосередньо на своєму Android-пристрої через Wi-Fi або USB.

Щоб розпочати створення проєкту слід перейти на головний сайт App Inventor 2 за посиланням <http://ai2.appinventor.mit.edu> і в меню Project обрати New Project. Далі відкриється меню створення проєкту (див.рис.2.8), тут слід

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

написати назву проєкту і обрати скільки функцій потрібно щоб було включено, тобто кнопка Expert і також слід ввести тему на який телефон буде записана програма, Device Default і слідом кнопка OK.



Рисунок 2.8 – Меню створення проєкту

Тепер настає другий етап проєкту, потрібно створити дизайн програми. Спочатку слід додати компоненти які не буде видно на кнопках, ало без них ніяк. В пошуку компонентів слід ввести Notifier, та додати, ця властивість буде надсилати сповіщення на телефон з програми. Далі слід знайти компонент Clock, для отримання даних із Bluetooth з періодичністю, встановленою в Clock.

Обов’язково слід додати параметр BluetoothBLE, який є основою самої програми в кодуванні та скетчі.

Слідом йде етап, створення графічного дизайну програми. На початок, створити заголовок застосунку, в пошуку знайти складову HorizontalArrangement, та додати і розтягнути за шириною на весь екран. І створити компонент Label, який відповідає за текст, та написати Fitness Counter, фон зелений, колір букв чорний (див.рис.2.9).

Після етапу горизонтального боксу, потрібно створити вертикальний, та додати на ньому 3 вертикальних, на першому додати Label і написати bicepscurl (скручування біцепса). На другому написати назву lateralraise

(бічний підйом) і на третьому боксі, overheadpress (жим над головою).

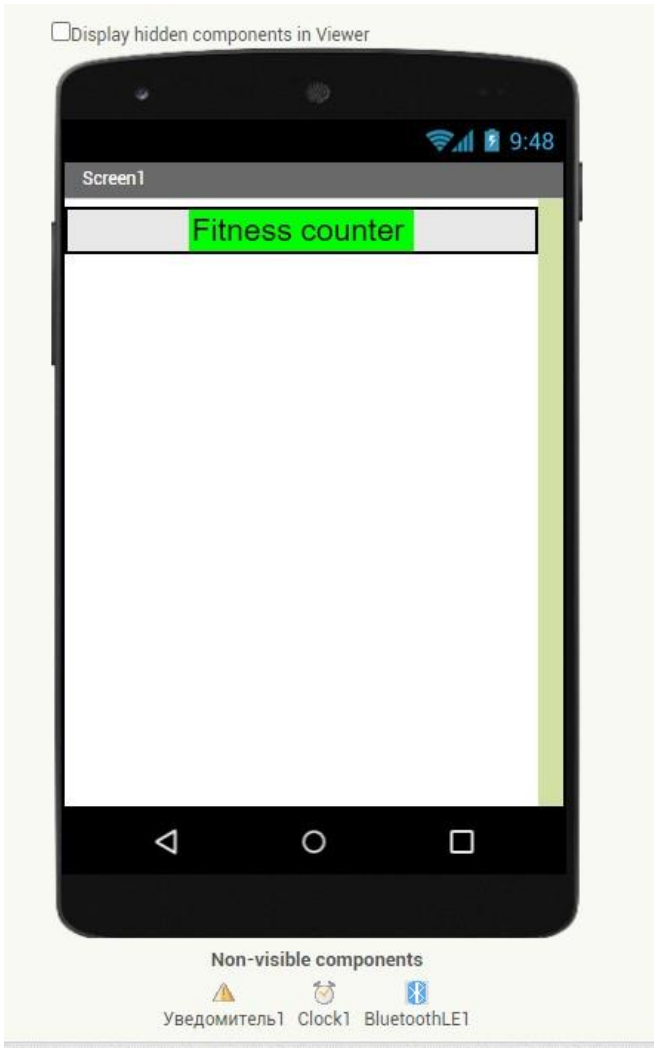


Рисунок 2.9 – App Inventor 2, початок роботи з графічним дизайном

Одразу ж біля них створити ще один Label формат для відображення результату компонента (з самого початку повинно бути все по нулях). Ще один бокс горизонтальний слід додати і на ньому створити елемент Button, кнопка і назвати Reset з червоним кольором заднього фону. Під кінець слід додати ще один горизонтальний бокс, та два елементи Button на ньому і назвати перший Scan, а другий Stop Scan. Під кінець створення графічної частини додатку, слід додати Label, та назвати Status:, а нижче нього додати компонент ListBLE, тобто які операції здійснюються, то будуть вказані в

цьому списку статусу (див.рис.2.10).

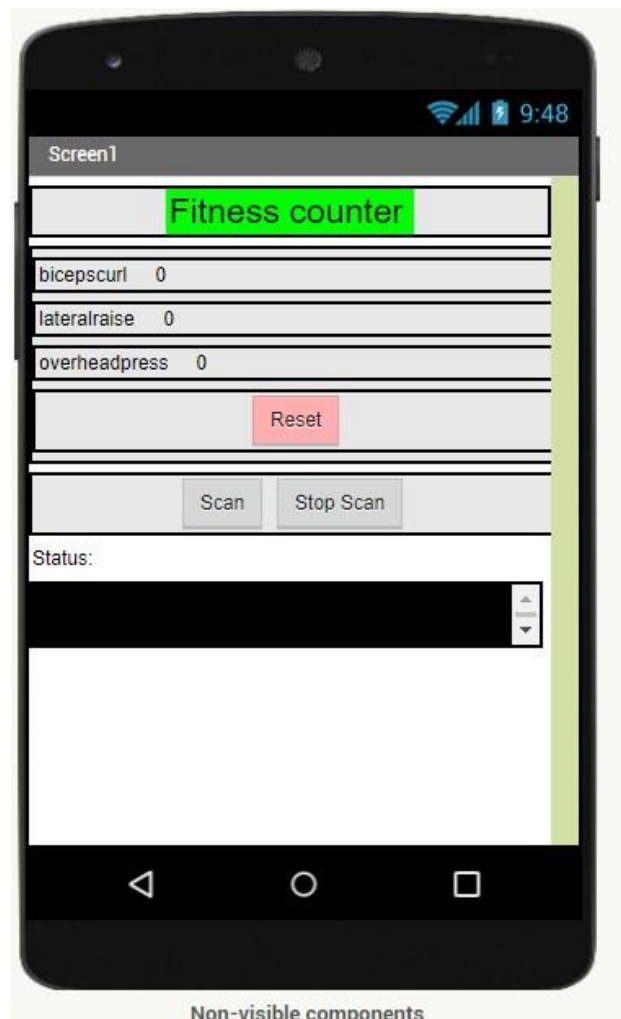


Рисунок 2.10 – App Inventor 2, кінцевий результат інтерфейсу програми

Друга частина роботи в App Inventor 2, починається з блоків скетчу.

З самого початку код слід писати з оголошення глобальних змінних для зберігання кількості вправ initialize global to bicepscurl, lateralraise, counter та overheadpress до значення 0 (див.рис.2.11).

При натисканні кнопки "Scan" запускається сканування BLE-пристроїв, і знайдені пристрої додаються до списку ListBLE, when ButtonScan.Click do call BluetoothLE1.StartScanning set LabelStatus.Text to "Status: Scanning" set ListBLE.Visible to true.



Рисунок 2.11 – Оголошення глобальних змінних

Далі фрагмент коду when ButtonStopScan.Click do call BluetoothLE1.StopScanning. set LabelStatus.Text to "Status: Stopped Scanning, означає що при натисканні кнопки "Stop Scan" сканування BLE-пристроїв зупиняється.

Коли користувач вибирає пристрій зі списку ListBLE, додаток намагається підключитися до цього пристрою, when ListBLE.AfterPicking do call BluetoothLE1.Connect index ListBLE.SelectionIndex set LabelStatus.Text to "Status: Connect".

Якщо підключення не вдалося, то виводиться сповіщення з причиною невдачі, when BluetoothLE1.ConnectionFailed if reason do call Notifier1.ShowAlert "Notice" get reason.

При натисканні кнопки "Скидання" всі лічильники вправ скидаються до нуля, when Button1.Click do set global bicepscurl to 0 set Label4.Text to get global bicepscurl set global lateralraise to 0 set Label5.Text to get global lateralraise set global overheadpress to 0 set Label6.Text to get global overheadpress.

Після успішного підключення до пристрою, додаток реєструється для отримання цілочисельних даних від характеристики BLE-сервісу з UUID 00001826-0000-1000-8000-00805f9b34fb і характеристики 00002ad3-0000-1000-8000-00805f9b34fb, код: when BluetoothLE1.Connected do set LabelStatus.Text to "Status: Connected" when Clock1.Timer do if BluetoothLE1.IsDeviceConnected then call BluetoothLE1.RegisterForIntegers serviceUuid "00001826-0000-1000-8000-00805f9b34fb" characteristicUuid "00002ad3-0000-1000-8000-

00805f9b34fb" signed false.

Далі слідом йде одна з головних частин коду: when BluetoothLE1.IntegersReceived serviceUuid characteristicUuid intValues if get intValues = 1 then set global bicepcurl to get global bicepcurl + 1 set Label4.Text to get global bicepcurl else if get intValues = 2 then set global lateralraise to get global lateralraise + 1 set Label5.Text to get global lateralraise else if get intValues = 3 then set global overheadpress to get global overheadpress + 1 set Label6.Text to get global overheadpress. Тобто коли додаток отримує цілочисельні дані від пристрою, то він їх інтерпретує таким чином:

- Якщо отримано 1, то інкрементується лічильник bicepcurl.
- Якщо отримано 2, то інкрементується лічильник lateralraise.
- Якщо отримано 3, то інкрементується лічильник overheadpress.
- Значення лічильників відображається в інтерфейсі додатку.

Таким чином, код реалізує логіку підключення до BLE-пристрою, отримання від нього даних та відображення кількості виконаних вправ у інтерфейсі додатку (див.рис.2.12).

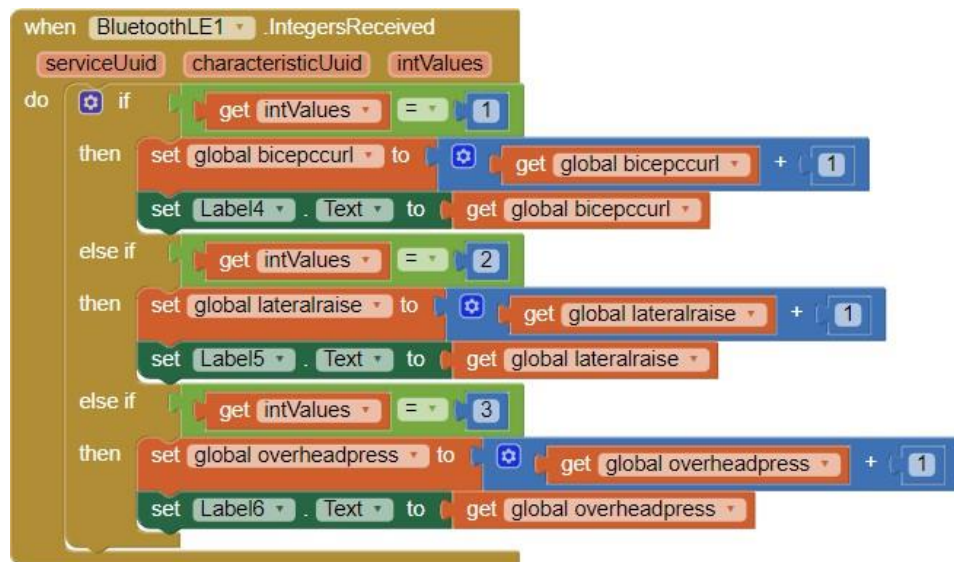


Рисунок 2.12 – Фрагмент коду, що відповідає за відображення кількості вправ у інтерфейсі додатку

2.5 Написання текстів програми

В тексті програми, є дві частини програмування — це Arduino IDE, та Edge Impulse. Перша частина це створення самої програми, тобто написання коду у застосунку Arduino IDE.

Середовище розробки Arduino IDE для програмування мікроконтролера та інтеграції згенерованої бібліотеки з моделлю машинного навчання. Arduino IDE є стандартним засобом для розробки під плати Arduino і має широку підтримку бібліотек та прикладів коду. Воно є основним засобом для програмування плат Arduino, включаючи Arduino Uno, Nano, Mega та багато інших. Це дружнє до користувача середовище, яке дозволяє швидко розпочати розробку проектів, що включають апаратне забезпечення та програмне забезпечення.

Основні характеристики Arduino IDE:

- Багатоплатформність. Arduino IDE можна встановити на різні операційні системи, включаючи Windows, macOS та Linux, що робить його доступним для широкого кола розробників.
- Простий користувацький інтерфейс. Середовище має мінімалістичний інтерфейс, який включає редактор коду, кнопки для компіляції та завантаження програми на плату, а також базові інструменти для відладки.
- Підтримка мови програмування. Arduino IDE використовує спрощену версію C++, що дозволяє легко писати програми. Код розбивається на три основні частини: `setup()`, `loop()`, і функції, створені користувачем.
- Вбудовані бібліотеки. IDE має велику кількість вбудованих бібліотек, які можна легко імпортувати до своїх проектів. Ці бібліотеки надають підтримку для різноманітного обладнання та зв'язку, наприклад, для керування моторами, читання датчиків, здійснення зв'язку через Bluetooth або WiFi тощо.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Менеджер плат та бібліотек. Arduino IDE має менеджер плат, який дозволяє легко додавати підтримку нових плат від Arduino або від третіх сторін. Менеджер бібліотек дозволяє швидко знаходити та встановлювати нові бібліотеки для розширення функціональності вашого проекту.

– Серійний монітор. Цей інструмент дозволяє вести комунікацію між вашим комп'ютером та Arduino за допомогою серійного порту. Це корисно для відладки шляхом виводу даних на екран або надсилання даних з вашого комп'ютера на Arduino.

Arduino IDE може бути розширена за допомогою додаткових плагінів і інструментів, а також підтримує інтеграцію з зовнішніми редакторами коду та системами контролю версій. Спільнота Arduino надає численні підручники, бібліотеки та приклади, які можуть допомогти у вирішенні більшості задач, які можуть виникнути у розробників різних категорій.

Етап створення скетчу почнеться з відправки даних Arduino Nano 33 BLE Sense для виявлення виконаної вправи. За основу скетчу взято приклад `nano_ble_sense_accelerometer` із завантаженої бібліотеки.

Спочатку йде завантаження даного прикладу на плату і слід відкрити монітор послідовного порту, щоб переглянути виведення даних під час виконання вправ. Тепер потрібно зберігти скетч під іншим ім'ям, та додати код підключення бібліотеки `ArduinoBLE`:

- Визначення BLE service (uuid – 0x1826 Fitness Mashine) `#include <ArduinoBLE.h> BLEService fitnessBLEsense("1826");`
- Характеристики для вправ (Traning status): `BLEIntCharacteristic counterChar("2AD3", BLERead | BLENotify);`
- Дані UUID для сервісу та характеристик взято з специфікацій SIG для характеристик, та сервісів [8].
- Для характеристики `counterChar` відправлено значення 1, або 2, та 3, залежно від певної вправи:
 - 1 – двоголовий згин;
 - 2 – бічний підйом;

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

3 – накладний прес;

4 – ні або не розпізнано.

– У процедурі loop() йде додавання коду визначення максимального значення результату класифікатора об'єктів:

```
float max_predication=0,0;
int result_predication=0;
ei_printf("Прогнози");
ei_printf("(DSP: %d мс., Класифікація: %d мс., Аномалія: %d мс.)",
result.timing.dsp, result.timing.classification, result.timing.anomaly);
ei_printf(": \n");
for (size_t ix = 0; ix < EI_CLASSIFIER_LABEL_COUNT; ix++) {
if(result.classification[ix].value>max_predication)
{ результат_прогнозування=ix+1;
max_predication=result.classification[ix].value; }
ei_printf(" %s: %.5f\n", result.classification[ix].label,
результат.класифікація[ix].значення); }
Serial.print("result_predication=");Serial.println(result_predication);
Serial.print("max_predication=");Serial.println (max_predication);
```

– І слід здійснити відправку даних з BLE, якщо ймовірність для якоїсь вправи перевищує 70%:

```
BLEDevice central = BLE.central();
якщо (центральный) {Serial.print("Підключено до центрального: ");
Serial.println(central.address());
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
if (central.connected()) {
if(max_predication>0.7) {
counter=reult_predication;
counterChar.writeValue(лічильник);
// Serial.println("фітнес-дані BLEsense:");
Serial.print("лічильник=");Serial.print(лічильник);
```

```
Serial.println(""); // }
ще { лічильник=4;
counterChar.writeValue(лічильник); }}
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
Serial.print("Відключено від центрального: "); }
```

Завантажено скетч на плату. На смартфоні слід запустити nrfConnect. Зробити вправи і подивитись дані, що надходять у сервіс Fitness Mashine, характеристика Training status [1 (все до цього моменту)].

В Arduino IDE слід написати код прикладом програми для Arduino, яка використовує бібліотеки для взаємодії з датчиком IMU (Inertial Measurement Unit), Bluetooth Low Energy (BLE), та для виконання інференції (висновування) на основі навченого нейромережевого моделювання.

Код призначений для використання з певними бібліотеками та датчиками, які повинні бути налаштовані на платформі Arduino. Слід розглянути сам код функція за функцією:

#include <victoruni-project-1_inference.h> – включення файлу заголовка, який містить визначення для виконання інференції на моделі нейронної мережі, навченої в Edge Impulse.

#include <Arduino_LSM9DS1.h> – включення бібліотеки для роботи з IMU датчиком LSM9DS1.

#include <ArduinoBLE.h> – включення бібліотеки для роботи з Bluetooth Low Energy.

#define CONVERT_G_TO_MS2 9.80665f – макрос для перетворення прискорення з одиниць g у м/с².

static bool debug_nn = false; – змінна для вмикання/вимикання режиму налагодження нейронної мережі.

BLEIntCharacteristic counterChar("2AD3", BLERead | BLENotify); – створення BLE характеристики типу цілого числа з UUID "2AD3", яка дозволяє читати та надсилати сповіщення.

void setup() – функція, яка виконується один раз під час запуску Arduino.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вона ініціалізує серіальний порт, IMU датчик, налаштовує BLE зв'язок та рекламування.

`*void ei_printf(const char format, ...)` – функція для виведення форматowanego тексту через серіальний порт. Вона використовує `vsnprintf` для обробки форматування та `Serial.write` для виведення.

`void loop()` – головний цикл програми, який постійно виконується. Він зчитує дані з IMU, обробляє їх, виконує інференцію, та оновлює BLE характеристики, якщо підключений центральний BLE пристрій.

`pumpu::signal_from_buffer` – функція з бібліотеки Edge Impulse, яка перетворює масив даних у сигнал, який можна класифікувати.

`run_classifier` – функція, яка запускає процес класифікації сигналу за допомогою навченої моделі нейронної мережі.

`BLE.central()` – метод, який перевіряє, чи підключений центральний BLE пристрій.

`counterChar.writeValue(counter);` – оновлення значення BLE характеристики зі зліченим результатом класифікації.

`#if EI_CLASSIFIER_HAS_ANOMALY == 1` – перевірка, чи модель нейронної мережі підтримує виявлення аномалій.

Для любого користувача, цей код демонструє, як можна реалізувати проект, що включає збір даних з сенсора, обробку цих даних, виконання інференції на основі навченої моделі, та передачу результатів через Bluetooth. Кожен блок коду (наприклад, ініціалізація IMU, збір даних, інференція, BLE взаємодія) побудований таким чином, щоб бути самодостатнім, що спрощує розуміння та налагодження кожного окремого компонента.

Для початку, варто зрозуміти основні концепти роботи з Arduino, такі як `setup()` та `loop()` функції, робота з датчиками, та передача даних через BLE. Якi вже розглянуто з Edge Impulse платформою для тренування моделей нейронної мережі на основі даних з датчиків.

Під час налагодження, корисно використовувати `Serial.println()` для виведення проміжних результатів на серіальний монітор, що допоможе

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ідентифікувати будь-які проблеми з кодом або з'єднанням з датчиками та BLE.

2.6 Використання засобів машинного навчання Edge AI

Edge AI - це підхід, який дозволяє виконувати обробку даних та машинне навчання безпосередньо на пристроях Internet of Things (IoT) або на периферійних пристроях, а не в хмарі чи центрі обробки даних. Це забезпечує низку переваг, таких як зменшення затримки, підвищення конфіденційності даних та зменшення навантаження на мережу.

Однією з популярних платформ для розробки та розгортання моделей машинного навчання на пристроях Edge є Edge Impulse.

Edge Impulse - це платформа для розробки та розгортання моделей машинного навчання на пристроях Edge. Вона забезпечує зручне середовище для збору даних, навчання моделей та оптимізації їх для роботи на вбудованих системах з обмеженими ресурсами (див.рис.2.13).

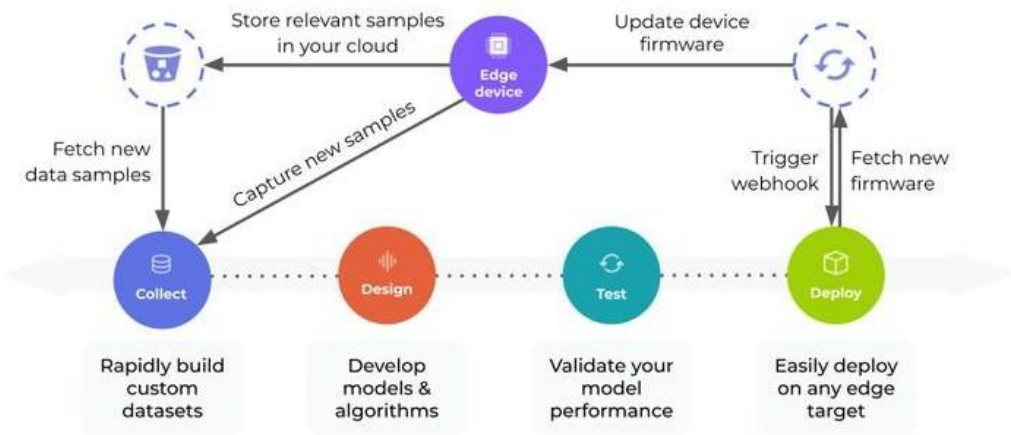


Рисунок 2.13 – Алгоритм функціонування Edge Impulse

Edge Impulse легко підключається до інших фреймворків машинного навчання, щоб ви могли масштабувати та налаштовувати свою модель або

конвеєр за потреби.

Edge Impulse для початківців дає змогу вносити інтелектуальні засоби у ваші вбудовані проекти, дозволяючи пристроям розуміти середовище та реагувати на нього. Якщо ви хочете розпізнавати звуки, ідентифікувати об'єкти чи виявляти рух, Edge Impulse робить це доступним і простим. Ось чому такі новачки, як ви, занурюються в Edge Impulse:

- Кодування не потрібне: щоб використовувати Edge Impulse, не потрібно бути експертом із кодування. Наша платформа надає зручний інтерфейс, який проводить вас через весь процес - це включає багато оптимізованих блоків попередньої обробки та навчання, різноманітні архітектури нейронних мереж і попередньо навчені моделі, а також може генерувати готові до флешування двійкові файли для тестування ваших моделей на реальних пристроях.

- Граничні обчислення: ваші моделі машинного навчання оптимізовано для роботи безпосередньо на периферійних пристроях, що забезпечує низьку затримку та обробку в реальному часі.

- Підтримка різних датчиків: Edge Impulse підтримує широкий спектр датчиків, від акселерометрів і мікрофонів до камер, що робить його універсальним для різних проектів.

- Спільнота та ресурси: Ви не самотні на цьому шляху. Edge Impulse пропонує спільноту підтримки та обширну документацію, яка допоможе вам досягти успіху.

Edge Impulse Studio — це веб-інструмент із графічним інтерфейсом, який допоможе вам збирати дані, створювати імпульс і розгортати його на кінцевому пристрої.

Процес навчання моделі в Edge Impulse поділяється на такі головні кроки:

- Збір даних. Спочатку необхідно зібрати набір даних для навчання моделі. Edge Impulse підтримує різні типи даних, такі як зображення, звук, дані з сенсорів тощо. Дані можна завантажити безпосередньо на платформу

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або записати на пристрій та синхронізувати з платформою.

- Розмітка даних. Після збору даних їх необхідно розмітити. Для зображень це означає позначення об'єктів або областей інтересу, для звуку - сегментацію аудіо на класи, для даних з сенсорів - визначення відповідних міток.

- Створення проекту. На основі зібраних та розмічених даних на платформі Edge Impulse створюється проект для навчання моделі.

- Попередня обробка даних. Edge Impulse пропонує різні інструменти для попередньої обробки даних, такі як нормалізація, фільтрація, збагачення даних тощо. Ці етапи допомагають покращити якість навчання моделі.

- Вибір моделі та налаштування гіперпараметрів. На платформі доступні різні архітектури нейронних мереж, такі як згорткові нейронні мережі (CNN), рекурентні нейронні мережі (RNN) та ін. Користувач може вибрати відповідну модель та налаштувати її гіперпараметри, такі як розмір batch, швидкість навчання тощо.

- Навчання моделі. Після налаштування всіх параметрів модель навчається на платформі Edge Impulse в хмарному середовищі.

- Оцінка моделі. По завершенню навчання Edge Impulse надає різні метрики та візуалізації для оцінки якості моделі, такі як матриця помилок, крива ROC тощо.

- Оптимізація та розгортання. За потреби модель можна оптимізувати для роботи на пристроях з обмеженими ресурсами. Edge Impulse підтримує різні бібліотеки для розгортання моделей на вбудованих системах, таких як TensorFlow Lite, NVIDIA TensorRT тощо.

Дані в моделі Edge можна зберігати, сортувати та маркувати за допомогою інструменту збору даних.

Звідти можна створити імпульс , який включає один або кілька методів вилучення ознак разом із моделлю машинного навчання.

Кілька готових методів вилучення функцій можна використовувати та

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінювати відповідно до потреб вашого конкретного проекту. Також можна розробити власний метод вилучення функцій за допомогою спеціального блоку обробки.

Найголовніший пункт навчання моделі, це вміння навчити машинну модель (включаючи класифікацію, регресію або виявлення аномалій) за допомогою навчального блоку. Можна використовувати декілька готових навчальних блоків, але також є можливість створити власний навчальний блок або скористатися експертним режимом, щоб змінити навчальний код ML.

Після навчання моделі можна протестувати за допомогою набору затримок або підключивши свій пристрій для отримання живих даних (див.рис.2.14) [9].

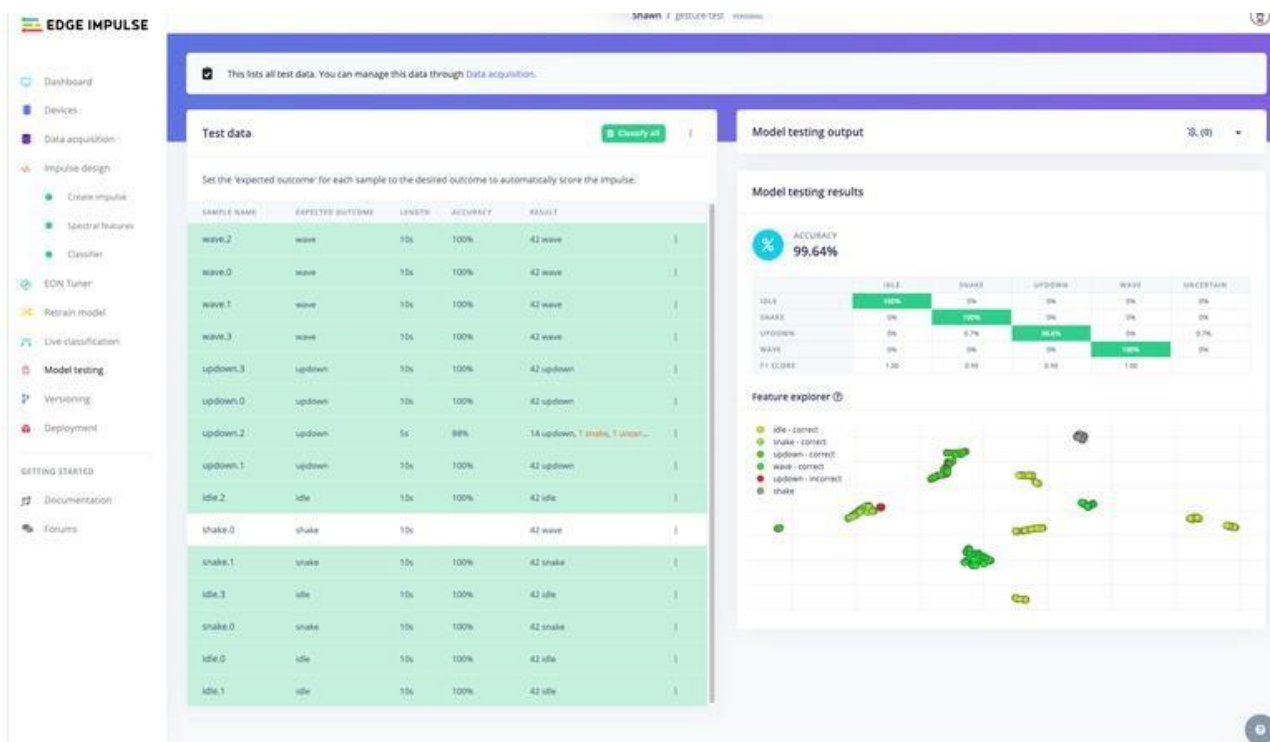


Рисунок 2.14 – Навчання моделі (Тест)

2.7 Підключення до нейронної мережі

З самого початку використовується онлайн-платформа Edge Impulse

TinyML (<https://www.edgeimpulse.com>) для збору даних, навчання моделі та її розгортання на пристрої. Потрібно створити обліковий запис, перейшовши за адресою <https://studio.edgeimpulse.com/signup> . Далі увійти у профіль та створити новий проект (див.рис.2.15). Платформа підтримує кілька пристроїв, один з яких – плата Arduino Nano 33 BLE Sense. Кількість пристроїв з часом збільшується, крім того, можна самостійно портувати інші платформи.

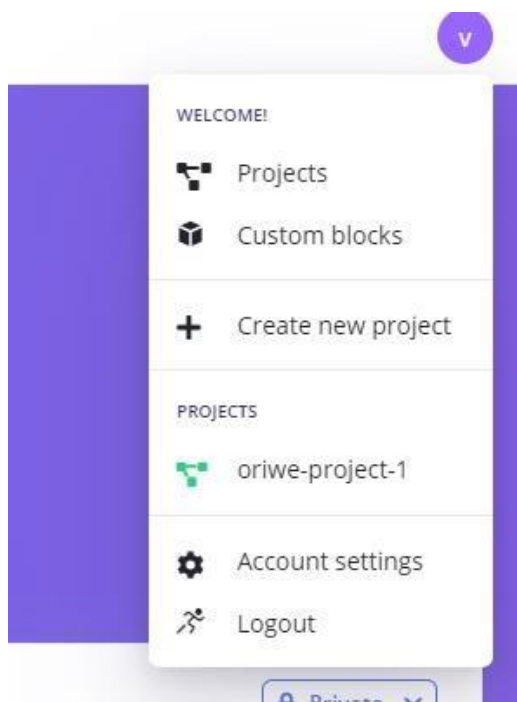


Рисунок 2.15 – Меню акаунту в Edge Impulse

Щоб налаштувати Arduino Nano 33 BLE Sense для роботи в Edge Impulse, необхідно на комп'ютері встановити таке програмне забезпечення

- Node.js v12 або вище.
- Arduino CLI – інтерфейс командного рядка для Arduino.
- Edge Impuls CLI

Інсталятор Arduino CLI можна завантажити на сторінці: <https://arduino.github.io/arduino-cli/latest/installation>.

Після встановлення Arduino CLI слід працювати у командному рядку

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

(cmd.exe). І встановити Edge Impuls CLI (попередньо перейти до папки, де знаходиться командний файл arduino cli).

Далі підключити плату Arduino Nano 33 BLE Sense до комп'ютера за допомогою кабелю micro-USB. Потім двічі натиснути RESET, щоб запустити завантажувач. Індикатор на платі повинен почати пульсувати. На платі розробки поки що немає потрібної прошивки. Слід завантажити останню версію прошивки Edge Impulse (<https://cdn.edgeimpulse.com/firmware/arduino-nano-33-ble-sense.zip>) та розархівувати файл. З командного рядка запустити скрипт операційної системи (flash_windows.bat для Windows).

Тепер потрібно чекати доки миготіння не завершиться, натиснути кнопку RESET один раз, щоб запустити нову прошивку і набрати у командному рядку команду "edge-impulse-daemon", що запустить майстер, який попросить увійти до системи та вибрати проект Edge Impulse.

Пристрій підключено до Edge Impulse. Щоб переконатися в цьому, слід перейти до проекту Edge Impulse та вибрати кнопку Devices.

Тепер, коли все налаштовано, можна створити свою модель машинного навчання вправ, яка працює на мікроконтролері. Це складне завдання, яке вирішується за допомогою програмування на основі правил, оскільки люди не виконують рухи однаково щоразу. Але машинне навчання може легко впоратися із цими змінами. Отримуючи високочастотні дані з реальних датчиків (IMU-модуль), слід використати обробку сигналів для очищення даних, створити класифікатор нейронної мережі та розгорнути отриману модель на пристрої.

Спочатку збір даних. Підключення плати Arduino Nano 33 BLE Sense на комп'ютері до API віддаленого керування. На сайті перейти на вкладку Data Acquisition. Далі слід додати чотири класи тренування: згинання біцепсу, бокове підняття, та жим над головою і бездіяльність. На кожну з них потрібно провести особисте тренування.

Наприклад почати можна з пункту бездіяльності, де робити нічого не потрібно, а лише почати запис тренування, та зберегти (див.рис.2.16),

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

властивості графіку accX, accY, accZ, gyrX, gyrY, gyrZ, відповідають за положення гантелі в матеріальному просторі, "acc" — це acceleration (прискорення), а "gyr" — це стійкість.

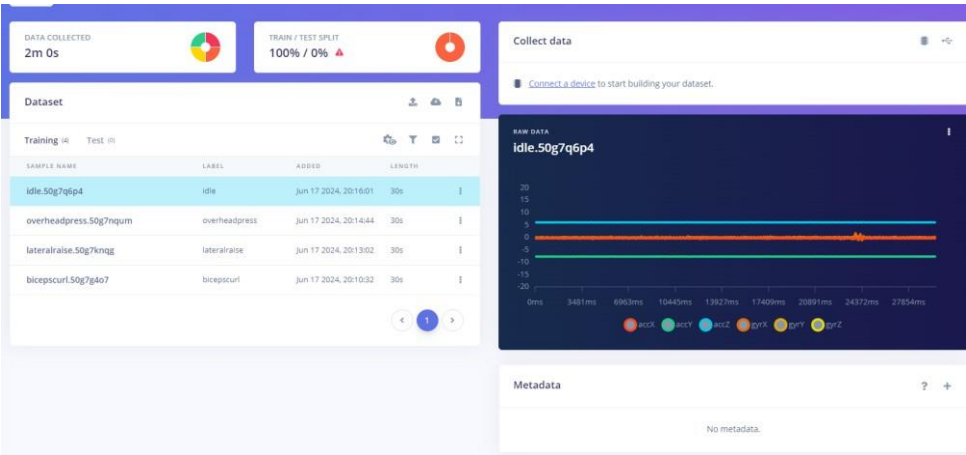


Рисунок 2.16 – Тренування нейромережі, бездіяльність (Idle)

Другий пункт тренування це жим над головою. Слід взяти гантель, та підняти над головою так, щоб було відчутно м'яз передніх дельт, лише 1 повтор і слідом зупинка тесту, подивитись на графік інтенсивності рухів можна за рисунком 2.17.

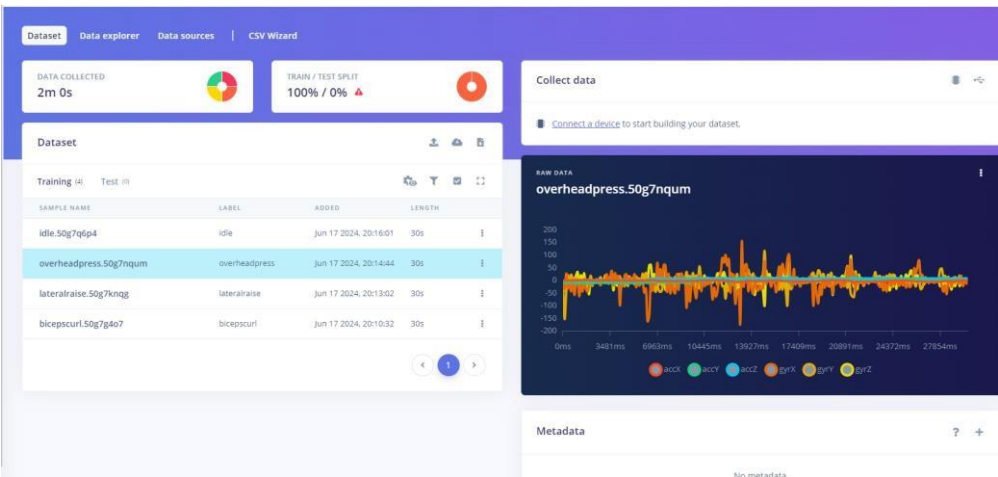


Рисунок 2.17 – Тренування нейромережі, жим над головою (overheadpress)

Бічний підйом також є важливою вправою для групи м'язів. Потрібно взяти гантель в руки та підняти до горизонтального положення і повільно опускати в низ, ця вправа має назву "Махи гантелей", вона відповідає за навантажку середніх дельт. За графіком (див.рис.2.18) можна визначити чи в правильному положенні була гантель, в мінусовій фазі.

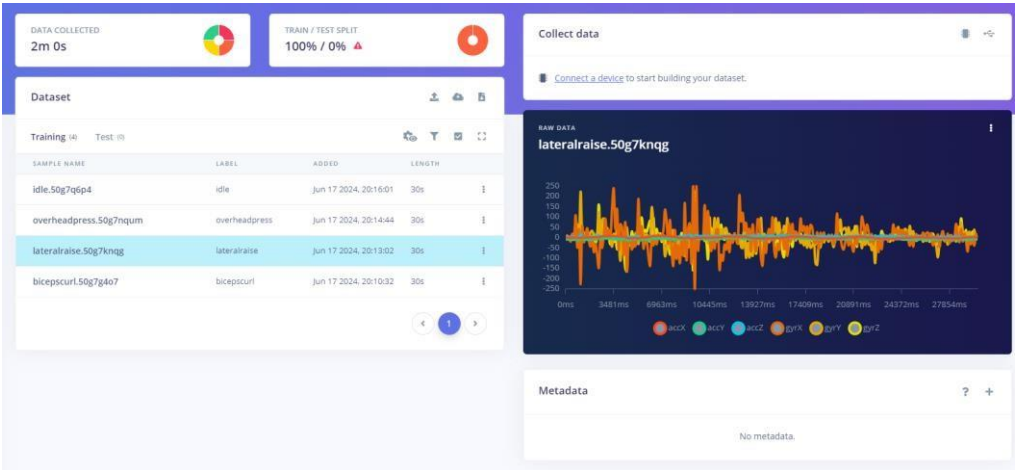


Рисунок 2.18 – Тренування нейромережі, бічний підйом (lateralraise)

Найголовніша вправа, це розгинання і згинання біцепса. Графік розгинання, згинання біцепса переглянути можна за рисунком 2.19.

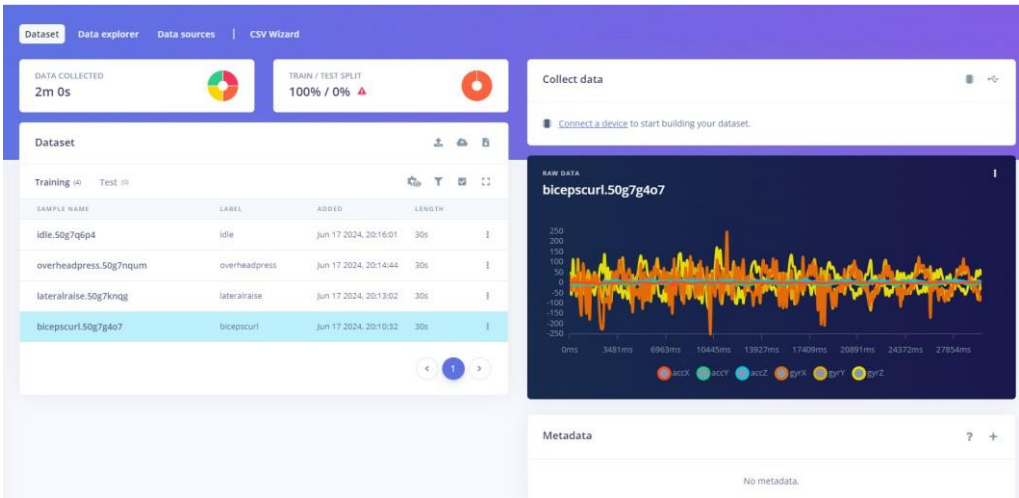


Рисунок 2.19 – Тренування нейромережі, розгинання біцепса (bicepscurl)

Її слід робити дуже обережно, тобто взяти гантель в руки, і повільно піднімати, й опускати вниз, робити це потрібно так, щоб було відчутно сам м'яз, потім слід завершити тестування, тренування, та зберегти всі результати.

Наступний крок це створення імпульсу. Де слід додати три види класифікацій: дані часових рядів, спектральний аналіз, та класифікацію.

В даних часових рядів слід обрати розмір, та збільшення вікна 2000 мілісекунд, та частоту 20 Гц.

В спектральних аналізах, потрібно обрати лише функції прискорення (accX, accY, accZ). А класифікація залишається без змін (див.рис.2.20).

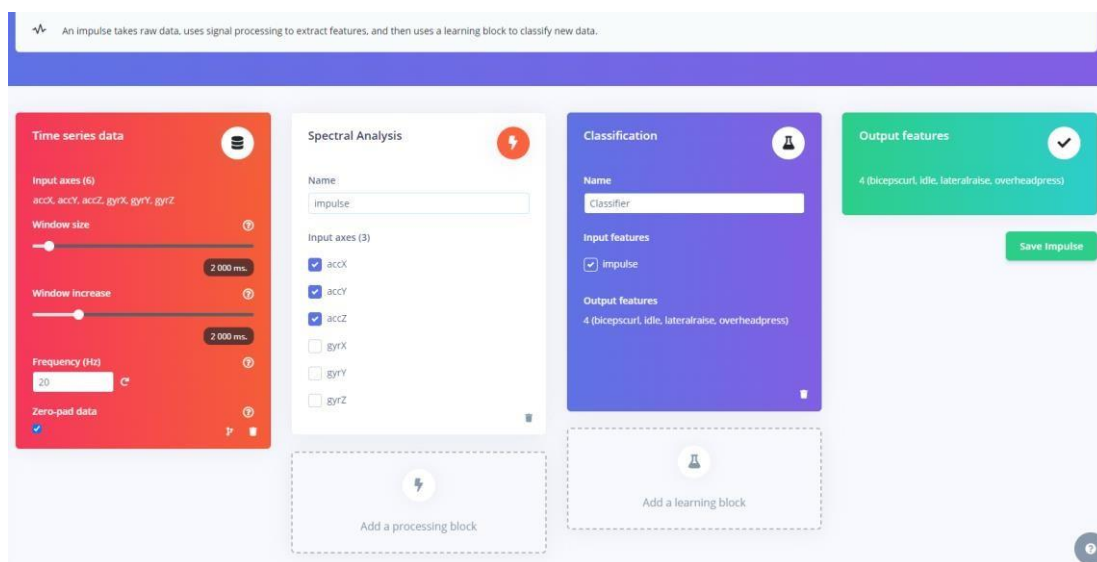


Рисунок 2.20 – Створення імпульсу в нейромережі

Після створення, потрібно перейти до самого імпульсу, а саме налаштування загальних параметрів.

В фільтрі слід обрати такі значення:

Осі масштабів, Вхідний коефіцієнт децимації, Частота зрізу – 3;

Тип – низький;

Порядок – 2.

В аналізах:

Тип – БПФ;

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина ШПФ – 128;

В пункті "Покращити роздільну здатність низьких частот?" галочка не ставиться (див.рис.2.21).

Параметри

Параметри автонастроювання

Фільтр

Осі масштабів ① 3

Вхідний коефіцієнт децимації ② 3

Тип ③ низький

Частота зрізу ④ 3

порядок ⑤ 2

Аналіз

Тип ⑥ БПФ

Довжина ШПФ ⑦ 128

Візьміть журнал спектру? ⑧ ☒

Перекривати кадри ШПФ? ⑨ ☒

Покращити роздільну здатність низьких частот? ⑩ ☐

Зберегти параметри

Рисунок 2.21 – Налаштування параметрів імпульсу

З самого верху веб-сторінки є стрічка необроблених даних, тут можна переглянути наскільки сама плата Arduino з нейромережею подавляють шуми, та їх різницю з обробленими даними. В боковому меню можна обрати який імпульс переглянути за бажанням, та повзунком можна рухатися по стрічці часу в мілісекундах (див.рис.2.22)

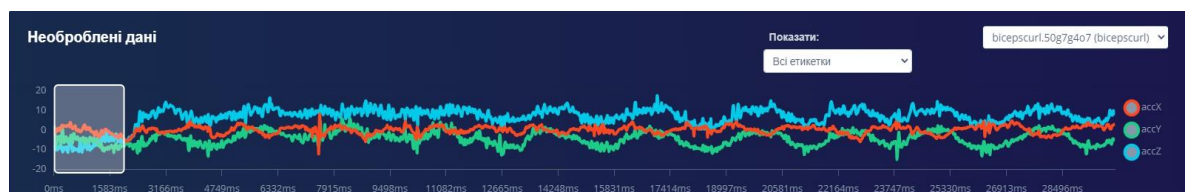


Рисунок 2.22 – Стрічка необроблених даних нейромережею та платою

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Чуть ниже (див.рис.2.23) можна переглянути графік оброблених даних нейромережею та платою Arduino. Результат є хорошим і досить вражаючим, тому що такі частоти шумів у просторі є важким завданням для обробки.



Рисунок 2.23 – Графік оброблених даних нейромережею та платою

Третім етапом є перевірка класифікатора, параметри навчання лишаються без змін, а в матриці плутанини можна переглянути точність виконання вправи (див.рис.2.24).

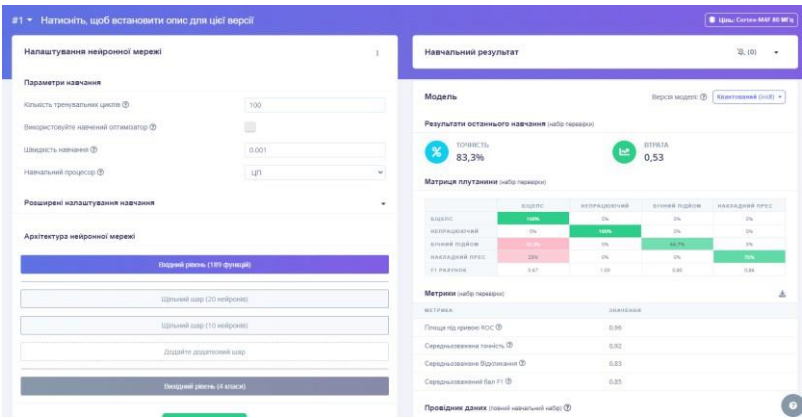


Рисунок 2.24 – Перевірка класифікатора

В перевірці класифікатора сумуються проценти частот шумів яких нейронна мережа не змогла обробити з іншими шкідниками імпульсу.

Перед закінченням навчання плати, потрібно зробити головний тест набору даних (додати дані), (див.рис.2.25).

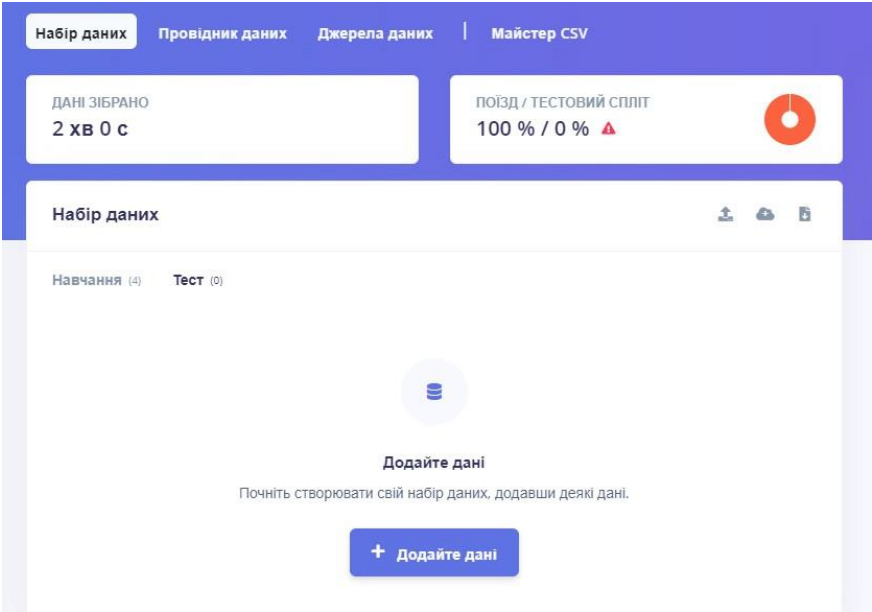


Рисунок 2.25 – Завершальне тестування моделі

Запис кількох фрагментів кожної вправи важливо робити з безперервними рухами. Для кожного фрагмента можна переглянути дані RAW DATA.

Модель може вивчатися тільки з того, що вона бачитиме у навчальних даних, тому важливо створити набір даних, що представляє фактичні дані, які модель бачитиме при розгортанні. Якщо набір даних містить дані лише від однієї людини, то модель дізнається про точні моделі руху цієї людини. Якщо набір даних містить інформацію багатьох людей, то тоді модель вивчить загальні характеристики кожної вправи, які є у різних людей.

Після тесту, слід розбити фрагменти на дрібніші вікна. Налаштувати розмір вікна, який залежатиме від тривалості події, яку модель навчиться розпізнавати. Для даних про періодичні рухи, такі як повторення вправи з

гантелями, розмір вікна повинні включати щонайменше одне повне виконання вправи.

Потрібно вибрати блок обробки сигналів - Spectral Analysis. Цей блок застосовує фільтр, виконує спектральний аналіз сигналу та витягує дані про частоту та спектральну потужність. Потім буде використання навчальних блоків Neural Network, який використовує ці спектральні особливості і вчиться розрізняти чотири класи (bicepcurl, lateralraise, overheadpress та idle). Нейронна мережа класифікує кожну вибірку даних, виводячи оцінку достовірності кожної мітки, що у наборі навчальних даних.

Інструмент тестування моделей можна використовувати для тестування продуктивності моделі по всьому набору тестових даних або пакетів тестових даних при необхідності. Він дає оцінку точності, засновану на очікуваному результаті кожного файлу тестових даних. Тестові дані отримуються у пункті меню Live classification.

Якщо результати розпізнавання підходять, то необхідно сформувати код розгортання моделі відбудеться на пристрої (Arduino Nano 33 BLE Sense). Тобто Arduino бібліотеку із створеною моделлю. Вибрати пункт Deployment, Arduino library, та натиснути кнопку Build (Будувати). На комп'ютер завантажиться сформована бібліотека з архівом zip (див.рис.2.26).

The screenshot shows the TensorFlow Lite web interface. At the top, there's a 'TensorFlow Lite' header with a logo. Below it, there are two main sections: 'Квантований (int8)' and 'Неоптимізовано (float32)'. Each section has a table with four columns: 'ЗАТРИМКА' (Latency), 'ІМПУЛЬС' (Impulse), 'КЛАСИФІКАТОР' (Classifier), and 'ВСЬОГО' (Total). The 'Квантований' section is selected, and a 'Вибрати' button is visible. The 'Неоптимізовано' section has a 'Виберіть' button. Below the tables, there's a note about comparing model accuracy and a 'Запустіть тестування моделі' button. At the bottom, there's a 'Будувати' button.

Квантований (int8)	ІМПУЛЬС	КЛАСИФІКАТОР	ВСЬОГО
ЗАТРИМКА 4 мс	2 мс	6 мс	
ОЗП 2,5 тис	3,2 тис	3,2 тис	
СПЛАХ -	38,5 тис	-	
ТОЧНІСТЬ			

Неоптимізовано (float32)	ІМПУЛЬС	КЛАСИФІКАТОР	ВСЬОГО
ЗАТРИМКА 4 мс	17 мс	21 мс	
ОЗП 2,5 тис	3,9 тис	3,9 тис	
СПЛАХ -	49,9 тис	-	
ТОЧНІСТЬ			

Щоб порівняти точність моделей, запустіть тестування моделі для всіх доступних оптимізацій. [Запустіть тестування моделі](#)

Оцінка для Cortex-M4F 80 МГц - [Змінити ціль](#)

[Будувати](#)

Рисунок 2.26 – Створення бібліотеки неймережі для Arduino

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою

Перед початком експлуатації фітнес контролера на базі Arduino Nano 33 BLE Sense, для зміни старих параметрів налаштування або перепрошивки необхідно натиснути кнопку RESET на гантелі.

Далі необхідно зарядити павербанк. Для цього підключається зарядний пристрій до відповідного роз'єму живлення. Процес заряджання супроводжується свіченням індикатора червоного кольору. Повністю заряджена гантель готова до використання.

Перед початком тренування перевіряється заряд павербанку гантелі. Якщо він низький або відсутній – необхідно поставити на зарядку за допомогою кабелю з інтерфейсом Micro-USB. Виконувати дану процедуру потрібно обережно, щоб не пошкодити роз'єми. Після цього вмикається живлення гантелі за допомогою кнопки на її корпусі.

Увімкнена гантель готова до роботи з додатком на смартфоні. Потрібно завантажити арк додаток, а для того щоб під'єднатися до гантелі слід завантажити ще один застосунок під назвою nRFConnect (див.рис.3.1). В програмі слід натиснути кнопку Scan, та обрати пристрій, після того натиснути на кнопку Open Tab, щоб відкрити налаштування пристрою, та побачити що пристрій працює. Також можна переглянути потужність сигналу на рисунку 3.1, де значення вимірюється в дБм (dBm) зі знаком мінус. Чим мінус менше, тим краще потужність сигналу (Наприклад: сигнал 58 dBm краще ніж сигнал - 92 dBm).

Далі слід запустити додаток і підключитися до гантелі через Bluetooth ще раз, натиснути кнопку Scan, та з списку обрати Arduino. Якщо телефон не підключився до плати, слід натиснути кнопку Stop Scan і знову Scan, та обрати плату зі списку.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

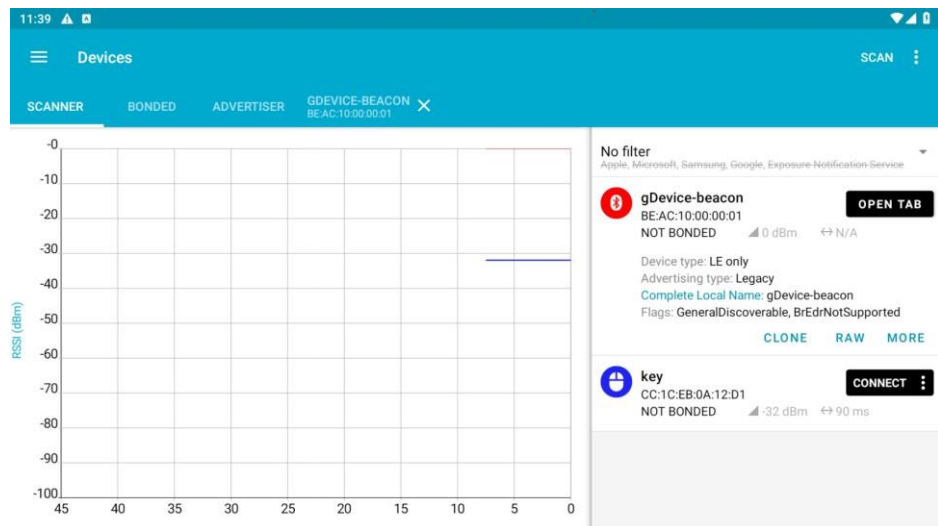


Рисунок 3.1 – Інтерфейс додатку nRFConnect

Під час виконання вправ система автоматично розпізнаватиме жести та відображатиме кількість повторень на екрані смартфона. Для скидання лічильників використовується відповідна кнопка у додатку (Reset). Слідкувати за зміною результатів вимірювання можна на екрані ПК (якщо підключений) та у додатку на смартфоні (див.рис.3.2).

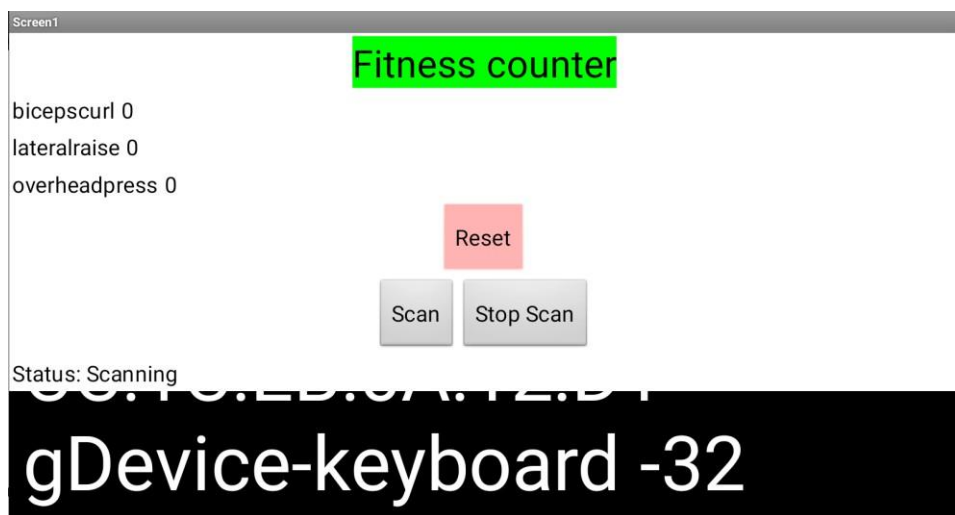


Рисунок 3.2 – Інтерфейс застосунку фітнес контролера

Процес передачі даних супроводжується свіченням синього індикатора на гантелі. Якщо він зникне, слід знову пройти всі кроки підключення гантелі до телефону.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

3.2 Розробка методики перевірки, функціонування пристрою

Процес тестування роботи розумної гантелі на базі Arduino Nano 33 BLE Sense з використанням App Inventor 2 включає перевірку налаштувань гантелі, роботи її датчиків, передачі даних по Bluetooth, отримання даних вправ у додатку та скидання лічильників. Спочатку необхідно підключити гантель до комп'ютера через USB та запустити консольний додаток налаштування. Вибравши COM-порт, вводяться команди для калібрування датчиків руху гантелі та налаштування інтервалу передачі даних через Bluetooth. Час очікувань налаштувань становить близько 3 хвилин, протягом якого індикатор гантелі блимає жовтим кольором. Після завершення налаштувань гантель переходить у режим сну. Правильність налаштувань перевіряється відправкою команди для виведення даних датчиків у монітор порту.

Далі необхідно перевірити роботу датчиків гантелі, зокрема акселерометра та гіроскопа. Це робиться шляхом відправки відповідних команд у монітор порту для виведення даних датчиків. Під час помахів гантелі, значення з датчиків повинні змінюватися, інакше потрібно перевірити їхнє фізичне підключення.

Наступним кроком є перевірка передачі даних по каналу Bluetooth. Запускається додаток App Inventor на смартфоні та ініціалізується підключення до гантелі через натискання кнопки "Scan" для сканування BLE-пристроїв. Після вибору гантелі зі списку, у додатку має з'явитися статус "Connected", що свідчить про успішне підключення. В іншому випадку необхідно перевірити реалізацію підключення у коді додатка.

Під час виконання різних вправ з гантеллю (згинання біцепса, бічний підйом, жим) у додатку мають інкрементуватися відповідні лічильники, тобто для біцепсу це bicepscurl, для бічного підйому – lateralraise, для жиму над головою – overheadpress. Reset кнопка це скинути усі дані що були записані і почати все заново. Status таблиця являє собою консоль з відображенням усіх команд що виконуються, або виконувалися раніше. Якщо лічильники не

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінюються, потрібно проаналізувати код додатку, що інтерпретує отримані від гантелі дані.

Також тестується функція скидання лічильників - після натискання відповідної кнопки у додатку всі лічильники мають скинутися до нуля, інакше необхідно перевірити код, що реалізує це скидання. Процес передачі даних супроводжується свіченням індикатора на гантелі. Дана методика охоплює різні аспекти функціонування системи і дозволяє виявити можливі помилки.

Окрім цього, важливо також перевірити стабільність підключення Bluetooth при різних умовах, таких як наявність перешкод, відстань між пристроями та потенційні джерела завад. Також слід протестувати автономність роботи гантелі на одному заряді батареї в різних режимах використання.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічна частина дипломного проектування створена з розрахунковою метою, а саме вираховуванням економічної вигоди системи фітнес контролеру (гантелі).

4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР

Тривалості НДР винесено в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Середній час по виконання НДР та стадії (операції) технологічного процесу

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1	2	3	4
1	Аналіз технічного завдання	Керівник практики	4
2	Вибір елементної бази	Керівник практики	2
3	Створення алгоритму роботи системи	Лаборант	2
4	Розробка додатку на Android	Лаборант	3
5	Написання текстів програми	Лаборант	4
6	З'єднання з нейронною мережею	Лаборант	5

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
7	Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою	Лаборант	1
8	Затвердження проекту	Керівник проекту	4
Разом			25

4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Відповідно до Закону України "Про оплату праці", термін "заробітна плата" означає винагороду, яку власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану роботу. Розмір заробітної плати визначається декількома факторами:

- Кваліфікацією працівника та складністю виконуваної роботи. Чим вища кваліфікація і складніша робота, тим вища заробітна плата.
- Умовами праці. Робота у шкідливих, важких або небезпечних умовах передбачає вищу оплату.
- Результатами праці та ефективністю діяльності працівника або колективу загалом. Продуктивніша і результативніша праця має вищу винагороду.
- Регіональними особливостями та рівнем життя у певній місцевості. У регіонах з вищим рівнем життя заробітна плата зазвичай вища.
- Попитом і пропозицією на ринку праці для певних професій чи видів діяльності. Дефіцитні спеціальності оплачуються вище.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таким чином, заробітна плата визначається поєднанням багатьох чинників і має відповідати затраченим зусиллям, кваліфікації та цінності праці для роботодавця.

Розрахування заробітної плати розраховується формулою:

$$Z_{осн.} = T_c \cdot K_c , \tag{4.1}$$

де T_c – тарифна ставка, грн.;
 K_c – кількість відпрацьованих годин.

Основна заробітна плата складається для:

Лаборанта $Z_{дод1} = 15 \cdot 40 = 600$ грн.
Керівника проекту $Z_{дод2} = 10 \cdot 25 = 250$ грн.

Сума на заробітну плату буде становити:

$$Z_{осн} = 600 + 250 = 850 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10-15 % від суми основної заробітної плати:

$$Z_{дод.} = Z_{осн.} \cdot K_{додл.} , \tag{4.2}$$

де $K_{додл.}$ – коефіцієнт додаткових виплат працівникам, 0,1–0,15.

Отже додаткова заробітна плата становить:

Лаборант $Z_{дод1} = 600 \cdot 0,2 = 120$ грн.
Керівник проекту $Z_{дод2} = 250 \cdot 0,3 = 75$ грн.

Загальна додаткова заробітна плата становить:

$$Z_{дод} = 120 + 75 = 195 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці ($B_{о.п.}$) визначаються за формулою:

$$B_{о.п.} = Z_{осн.} + Z_{дод.} , \tag{4.3}$$

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{o.п} = 850 + 195 = 1045 \text{ грн.}$$

Також слід додати відрахування з соціальних внесків 22%. Тобто сума відрахувань на соціальні внески буде становити:

$$B_{c.з.} = \text{ФОП} \cdot 0,22, \quad (4.4)$$

де ФОП – фонд оплати праці, грн.

$$B_{c.з.} = 1045 \cdot 0,22 = 229,9 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки витрат на оплату праці слід записати у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Проведені розрахунки витрат на оплату праці

№ п/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додат- кова заробіт на плата, грн.	Нараху- вання на ФОП, грн.	Всього витрат и на оплату праці, грн.
		Тарифна ставка, грн.	К-сть від- праць ов. год.	Факти чно нарах. з/пл., грн.			
1	Керівник	25	10	250	75	-	-
2	Лаборант	40	15	600	120	-	-
Разом				285	14,4	229,9	1274,9

У підсумку, загальні витрати на оплату праці склали 1274,9 грн.

4.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни:

$$M_{Bi} = q_i \cdot p_i, \quad (4.5)$$

де q_i – кількість витраченого матеріалу i -го виду;

p_i – ціна матеріалу i -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати можна визначити:

$$Z_{\text{м.в.}} = \sum M_{\text{в}i} \quad (4.6)$$

Проведені розрахунки занесемо у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Зведені розрахунки матеріальних витрат

№п /п	Найменування матеріальних ресурсів	Од. виміру	Факт. витрачено матеріалів	Ціна 1-ці, грн.	Загальна сума витрат, грн.
1	Гексогональна обгумована гантель	шт.	1 шт.	285	285
2	Тримач павербанку	шт.	1 шт.	300	300
3	Павербанк 5000mAh	шт.	1 шт.	500	500
4	Arduino Nano 33 BLE Sense	шт.	1 шт.	2600	2600
Разом			4 шт.	3685	3685

4.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Затрати на електроенергію одиниці обладнання визначаються за формулою:

$$Z_e = W \cdot T \cdot S, \quad (4.7)$$

де W – необхідна потужність, кВт;

T – кількість годин роботи обладнання;

S – вартість кіловат-години електроенергії.

1. Затрати електроенергії на зарядку павербанка 5000 мА·год:

Припустимо, що павербанк розряджений на 100% і потрібно його повністю зарядити. Типова потужність зарядки для павербанків з ємністю 5000 мА·год становить близько 5 Вт або 0,005 кВт.

Час зарядки повністю розрядженого павербанка 5000 мА·год при потужності зарядки 5 Вт становить приблизно 5 годин.

Вартість кіловат-години електроенергії буде становити $S = 7$ грн/кВт·год (відповідно до тарифів для населення в Україні).

Слід підставити значення з формули (4.7):

$$Z_e = 0,005 * 5 * 7 = 0,18 \text{ грн.}$$

Отже, затрати електроенергії на повну зарядку павербанка 5000 мА·год становлять приблизно 0,175 грн.

2. Затрати електроенергії на живлення Arduino Nano 33 BLE Sense:

Arduino Nano 33 BLE Sense споживає близько 100 мА струму при напрузі живлення 5 В, що дорівнює потужності 0,5 Вт або 0,0005 кВт.

Можна припустити, що система працюватиме 2 години під час тренування.

Тоді слід підставити значення з формули (4.7):

$$Z_e = 0,005 * 2 * 7 = 0,07 \text{ грн}$$

Отже, затрати електроенергії на живлення Arduino Nano 33 BLE Sense протягом 2 годин роботи становлять приблизно 0,07 грн. Отже усього разом $0,18 + 0,07 = 0,25$ грн.

4.5 Визначення транспортних затрат

Транспортні витрати слід прогнозувати у розмірі 8–10 % від загальної суми матеріальних затрат.

$$T_s = Z_{м.в.} \cdot 0,08...0,1, \quad (4.8)$$

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де T_B – транспортні витрати.

$$T_B = 3685 * 0,1 = 368,5 \text{ грн.}$$

4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Для визначення амортизаційних відрахувань слід застосувати формулу:

$$A = B_B * H_a / 100\%,$$

(4,9)

де, A – амортизаційні відрахування за звітний період, грн.

B_B – балансова вартість групи основних фондів на початок звітного періоду, грн.;

H_a – норма амортизації, %.

Оскільки для обслуговування використовується один телефон, вартість якого становить 12 000 грн., що працює 2 год, то амортизаційні відрахування.

$$A = 12000/150 * 0,04 * 2 = 8 \text{ грн.}$$

4.7 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати – це додаткові витрати, які не безпосередньо пов'язані з виробничим процесом виготовлення продукції, а виникають у результаті забезпечення організації, управління та обслуговування виробництва. Іншими словами, це витрати на створення належних умов для здійснення основної діяльності підприємства.

Розмір накладних витрат може значно варіюватися та становити від 20 до 60 відсотків від суми основної та додаткової заробітної плати працівників, залежно від організаційно-правової форми господарюючого суб'єкта. Це означає, що чим більша компанія та складніша її організаційна структура, тим більші будуть накладні витрати порівняно з прямими витратами на оплату праці безпосередніх виробничих працівників.

Накладні витрати включають такі статті витрат, як утримання

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адміністративного персоналу, оренда приміщень, комунальні послуги, витрати на зв'язок, канцелярські товари, амортизація офісного обладнання та інші подібні витрати, необхідні для забезпечення роботи підприємства, але не пов'язані безпосередньо з виробництвом продукції.

$$H_v = B_{o.n.} \cdot 0,2...0,6,, \quad (4.10)$$

де H_v – накладні витрати.

$$H_v = 1045 \cdot 0,3 = 313,5 \text{ грн.}$$

4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Собівартість (C_v) НДР можна розрахувати за формулою:

$$C_v = B_{o.n.} + B_{c.z.} + Z_{m.v.} + Z_v + T_v + A + H_v \quad (4.11)$$

Результати проведених вище розрахунків можна звести у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат	Сума. грн.	В % до загальної суми
Витрати на оплату праці (основну і додаткову заробітну плату)	1045	18,51
Відрахування на соціальні заходи	229,9	4,07
Матеріальні витрати	3685	65,24
Витрати на електроенергію	0,25	0,004
Транспортні витрати	368,5	6,52
Амортизаційні відрахування	8	0,14
Накладні витрати	313,5	5,55
Собівартість	5650,14	100,00

4.9 Розрахунок ціни НДР

Ціну НДР можна визначити за формулою:

$$\text{Ц} = (\text{C}_в * (1 + \text{P}_{рен}) + \text{K} * \text{B}_{i.н.}) / \text{K} * (1 + \text{ПДВ}) \quad (4.12)$$

де, $\text{P}_{рен.}$ – рівень рентабельності;

K – кількість замовлень, од.;

$\text{B}_{i.н.}$ – вартість носія інформації, грн.;

ПДВ – ставка податку на додану вартість, (20 %).

$$\text{Ц} = 5650,14 * (1 + 0,3) * (1 + 0,2) = 8814,21$$

4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Для визначення ефективності продукту розраховують чисту теперішню вартість (ЧТВ) і термін окупності ($\text{T}_{ок}$).

$$\text{ЧТВ} = -\text{K}_в + \sum_{i=1}^t \frac{\Gamma_в}{(1+i)^t} \geq 0, \quad (4.13)$$

де, $\text{K}_в$ – затрати на проект;

Γ_n – грошовий потік за t -ий рік; t – відповідний рік проекту;

i - величина дисконтної ставки (10...15%).

$$\text{ЧТВ} = -5650,14 + 4464,7 / (1 + 0,1) + 4464,7 / (1 + 0,1)^2 = 2097,42 \text{ (грн.)}$$

Якщо $\text{ЧТВ} \geq 0$, то проект може бути рекомендований до впровадження. Термін окупності визначається за формулою:

$$\text{T}_{ок} = \text{T}_{пв} + \text{H}_в / \Gamma_{пр} \quad (4.14)$$

де, $\text{T}_{пв}$ – період до повного відшкодування витрат, років;

$\text{H}_в$ – невідшкодовані витрати на початок року, грн;

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$G_{\text{ПР}}$ – грошовий потік на початок року, грн.

$$T_{\text{ОК}} = 1 + 1591,9 / 4464,7 = 1,4$$

Таблиця 4.5 - Економічні показники НДР

№ п/п	Показник	Значення
1.	Собівартість, грн.	5650,14
2.	Плановий прибуток, грн.	3164,07
3.	Ціна, грн.	8814,21
4.	Чиста теперішня вартість, грн	2097,42
5.	Термін окупності, рік	1,4

Отже в результаті економічних показників, розрахованих та зведених у таблицю 4.5, можна зрозуміти, що термін окупності – 1,4 роки потрібно проводити для фітнес контролера, що є досить хорошим показником.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ВИМОГИ

5.1 Захист від електромагнітних полів

Перш ніж дати відповідь на питання, як захиститись від електромагнітного випромінювання, слід згадати, що воно собою являє. Електромагнітне поле, окремим випадком якого є електромагнітне випромінювання, можна вважати особливою формою матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між зарядженими частинками. Це взаємопов'язані між собою змінне електричне і магнітне поля. Цей взаємний зв'язок полягає в тому, що будь-яка зміна одного призводить до появи іншого: змінне електричне поле, яке індукується рухомими зарядами (джерелом поля), збуджує в суміжних областях простору змінне магнітне поле, яке, в свою чергу, збуджує в прилеглих до нього областях простору змінне електричне поле, і т. д. Таким чином, ЕМП поширюється від точки до точки простору у вигляді електромагнітних хвиль (випромінювань). Через скінченну швидкість поширення, що залежить від властивостей середовища, ЕМП може існувати автономно від джерела випромінювання і не зникає з усуненням джерела. ЕМВ являє собою змінне в часі ЕМП, що розповсюджується в просторі з кінцевою швидкістю.

Всі штучно згенеровані електричні, магнітні та електромагнітні поля складають електромагнітне забруднення навколишнього середовища, для якого віднедавна є спеціальний термін – електросмог. Невидимий, безшумний, без запаху, проте всюдисущий. Його джерелами є всі види електроприладів, електропроводка, причому, чим потужніший прилад, тим більш агресивне поле. Піднесіть мобільний телефон до працюючого радіо – почнуться збої, адже одні поля заважають іншим. Фактично те ж саме відбувається, якщо людина потрапляє в зону підвищеного рівня електромагнітного випромінювання – відбуваються збої в функціонуванні всіх органів і систем

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

людського тіла. Негативного впливу зазнає нервова, ендокринна, імунна, сечостатева системи організму. Змінюється частота серцевих скорочень та артеріальний тиск.

Вплив зовнішнього електромагнітного поля на організм в цілому починається на молекулярному та клітинному рівні. Відбуваються коливання та рух заряджених частинок: електронів, протонів, йонів та молекул-диполів. Важко назвати молекули в клітині живого організму, що не мали б часткової поляризації на тих чи інших своїх ділянках: це і білки, і фосфоліпіди (мають заряджені головки та нейтральні хвости), молекула ДНК в процесі свого функціонування може мати некомпенсований заряд на різних своїх ділянках. Навіть найпростіша молекула води є диполем. А отже впливу зазнають всі біохімічні процеси в клітині.

Проте не можна сказати, що електромагнітне поле це завжди зло. Відомо, що його використовують у фізіотерапії для лікування багатьох захворювань, для загоєння ран, воно має протизапальний ефект, покращує клітинний метаболізм. Однак це тільки у разі строгого контролю з боку лікарів, у вибраних частотних діапазонах та в певних інтервалах інтенсивності електромагнітного поля.

На побутовому рівні найбільш небезпечними є мікрохвильові пічки, холодильники з системою No Frost, електроплити та мобільні телефони. Низькочастотне випромінювання від електропроводки вважається відносно безпечним, а за умови використання трижильної системи з заземленням такий вплив зводиться до мінімуму. А от високочастотне поле від телекомунікаційних систем, радарів, високовольтних ліній електропередач вважається найбільш небезпечним. Можна дискутувати про шкідливість чи безпечність впливу електромагнітного випромінювання, але в більшості Європейських країн, в яких турбуються про здоров'я свої громадян, вже запроваджено заборону встановлювати Wi-Fi системи в школах, громадських місцях, бібліотеках, лікарнях. Натомість пропонується повернутись до провідних пристроїв для підключення до інтернету.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб захиститись від електромагнітного випромінювання можна умовно розділити на інженерно-технічні, організаційні та лікувально-профілактичні частини.

- Згідно зі встановленою процедурою, захист людини від такого небезпечного впливу повинен здійснюється такими способами:
 - зменшення випромінювання від джерела;
 - екранування джерела випромінювання та робочого місця;
 - встановлення санітарно-захисної зони;
 - поглинання або зменшення утворення зарядів статичної електрики;
 - усунення зарядів статичної електрики;
 - підтримання оптимальної відносної вологості (не нижче 60 %), іонного складу повітря робочих приміщень
 - застосування засобів індивідуального захисту.

Отже, перший крок у цьому напрямку можна зробити не вдаючись до застосування спеціальних засобів захисту від електромагнітних полів та екрануючих матеріалів. Оптимально розмістити електроприлади вдома, збільшуючи відстань від електроприладу до спального місця, видалити штучні матеріали, зменшити навантаження, виконувати елементарні правила техніки безпеки користування електроприладами, мобільними телефонами, засобами зв'язку. Однак цього не завжди достатньо. Якщо перебувати в групі ризику, та є дискомфорт, пов'язаний з надмірним впливом ЕМВ на робочому місці чи вдома – застосування екрануючих матеріалів є життєво необхідним.

Перш ніж застосовувати будь-які засоби захисту від електромагнітних полів чи екрануючі матеріали, необхідно спершу провести дослідження використавши спеціальне обладнання. Це зробити досить важко з огляду на ряд причин, краще звернутись до спеціалістів. В Україні такі послуги може запропонувати Науково-сервісна компанія ОТАВА, що успішно проводить аналіз фізичних параметрів та вимірювання рівня електромагнітного випромінювання, а також надасть рекомендації щодо виправлення ситуації.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив такого фізичного явище як електромагнітне забруднення з усіма його різними специфічними проявами можна успішно зменшувати, скориставшись достовірно ефективними фізичними рішеннями та ефективними екрануючими матеріалами [10].

5.2 Психофізіологічне розвантаження користувачів

При проведенні сеансів психофізіологічного розвантаження рекомендується використовувати деякі елементи методу ауто-генного тренування, який ґрунтується на свідомому застосуванні комплексу взаємопов'язаних прийомів психічної саморегуляції й виконанні нескладних фізичних вправ із словесним самонавіюванням. Головна увага при цьому приділяється набуванню й закріпленню навичок м'язового розслаблення (релаксації).

У рекомендованому сеансі, який має проводитися в кімнаті психофізіологічного розвантаження з відповідним інтер'єром та кольоровим оформленням, виділяються три періоди, що відповідають фазам відновлювального процесу.

Перший період - абстрагування працівників від виробничої обстановки - відповідає фазі залишкового збудження. Лунають повільна мелодійна музика, пташиний спів. Обравши зручну позу, працівники адаптуються і психологічно готуються до наступних періодів.

Другий - заспокоєння - відповідає фазі відновлювального гальмування. Пропонується показ фотослайдів із зображеннями квітучого луку, березового гаю, гладенької поверхні ставка тощо. Через навушники транслюється спокійна музика, а на її фоні негучно, повільно висловлюються заспокійливі формули аутогенного тренування (тричі):

- "Повністю розслаблений, спокійний";
- "Дихання рівне, спокійне";
- "Тіло важке, гаряче, розслаблене, я абсолютно розслаблений, лоб

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

холодний, голова легка".

Як функціональне освітлення застосовують зелене світло. Яскравість світла має поступово знижуватись протягом періоду, а наприкінці його світло вимикається зовсім на 1-2 хвилини. Екран теж гасне.

Третій період - активізація - відповідає фазі підвищеної збудженості.

На початку періоду світло вимкнене, через певний час на екрані з'являється червона пляма, розміри і яскравість якої поступово збільшуються. Наприкінці періоду лунає бадьора музика. Тричі вимовляються мобілізуючі формули аутогенного тренування, яким мають передувати глибоке вдихання та довге глибоке видихання:

- "Бадьорий, свіжий, веселий, у мене гарний настрій";
- "Повний енергією, я готовий діяти".

Сеанси психологічного розвантаження можуть проводитись за єдиною програмою через індивідуальні навушники і складатись із двох періодів по 5 хвилин кожний: 1) повне розслаблення; 2) активізація працездатності.

У разі потреби, на фоні музичних програм можуть вимовлятися окремі фрази навіювання відпочинку, гарного самопочуття і, на заключному етапі, бадьорості.

Після сеансів психофізіологічного розвантаження у працівників зменшується відчуття втоми, з'являються бадьорість, гарний настрій. Загальний стан відчутно поліпшується.

Працюючі з ВДТ підлягають обов'язковим медичним оглядам: попереднім - при влаштуванні на роботу і періодичним - протягом трудової діяльності, відповідно до наказу МЗ України.

Періодичні методичні огляди мають проводитися раз на два роки комісією в складі терапевта, невропатолога та офтальмолога.

До складу комісії, що проводить попередні та періодичні медичні огляди, при необхідності (за наявністю медичних показань), можуть залучатись до оглядів лікарі інших спеціальностей.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними критеріями оцінки придатності до роботи з ВДТ мають бути показники стану органів зору: гострота зору, показники рефракції, акомодатції, стану бінокулярного апарату ока тощо. При цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому.

Жінки, що працюють з ВДТ, обов'язково оглядаються акуше-ром-гінекологом один раз на два роки.

Жінки з часу встановлення вагітності та в період годування дитини грудьми до виконання всіх робіт, пов'язаних з використанням ВДТ, не допускаються.

Виконання вимог, наведених в Правилах, в комплексі з практичним здійсненням первинних та спеціальних заходів повинно стати нормою діяльності всіх фахівців, безпосередньо пов'язаних з навчальними та виробничими колективами [11].

5.3 Методи регулювання якості повітряного середовища

Для забезпечення належної якості повітряного середовища на виробництві застосовуються різноманітні інженерно-технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи.

Ключову роль відіграють системи вентиляції та кондиціонування повітря. Вони дозволяють видаляти забруднене повітря, подавати чисте зовнішнє повітря, регулювати температуру, вологість та рівень забруднюючих речовин у приміщеннях згідно з встановленими нормативами. Особливу увагу слід приділяти місцевій витяжній вентиляції у місцях виділення шкідливих газів, пилу чи аерозолей.

Суттєвим резервом є герметизація технологічного обладнання та максимальне обмеження прямого контакту робочих зон з джерелами забруднень. Застосовуються різноманітні системи очищення викидів: сухі та мокрі фільтри, електрофільтри тощо.

Не менш важливими є організаційні заходи: раціональне планування

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничих приміщень, встановлення оптимальних режимів праці та відпочинку для персоналу, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту органів дихання.

Належний контроль стану повітряного середовища досягається шляхом регулярного моніторингу та лабораторних досліджень, використання газоаналізаторів і вимірювальної апаратури.

Вагому роль відіграє також навчання персоналу правилам охорони праці, підвищення їхньої обізнаності щодо потенційних ризиків та методів захисту.

Методи регулювання якістю повітряного середовища за рівнем значимості класифікують наступним чином:

- глобальні – запровадження безвідходних й передових технологій, збільшення частки відновлювальних джерел енергії в енергопромисловому комплексі, розробка та запровадження нових типів двигунів, якісні системи очищення промислових викидів та викидів автомобільного транспорту;

- регіональні – організаційно-планувальні (вибір території і розташування промислових об'єктів); організаційно-економічні (ліцензування діяльності, встановлення плати за викиди, штрафні санкції, страхування екологічних ризиків, пільги); нормативно-правові (встановлення граничнодопустимих викидів для джерел викидів, нормування технологічних викидів); запровадження енергозберігаючих технологій; застосування ефективних методів очищення і уловлювання забруднюючих речовин;

- виробничі – зниження викидів у джерелі утворення: вдосконалення технологічних процесів, які дозволяють замінити шкідливі речовини нешкідливими, відмова від застосування пилоутворювальних процесів, встановлення пиловловлювачі в технологічний цикл і т.д.

- на робочому місці: запобігання проникненню шкідливих речовин у повітря робочої зони за рахунок герметизації обладнання, ущільнення з'єднань, люків та отворів; видалення шкідливих речовин, що потрапляють у повітря робочої зони, за рахунок вентиляції, аспірації або очищення і нормалі-

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зації повітря за допомогою кондиціонерів, застосування засобів захисту людини.

Успіх функціонування системи керування параметрами повітряного середовища, що діє на людину, залежить від ефективності всіх її ієрархічних рівнів.

Для сучасного підприємства найбільш розповсюдженим інженерним методом нормалізації параметрів мікроклімату виробничого середовища є організація повітрообміну (вентиляція), а також локалізація джерел викидів з наступним видаленням забрудненого повітря і його очищенням (аспірація).

Таким чином, забезпечення належної якості повітря вимагає комплексного підходу з використанням різноманітних технічних, організаційних та управлінських заходів [12].

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було розроблено фітнес контролер для спорту на базі плати Arduino Nano 33 BLE Sense з використанням технологій машинного навчання (TinyML) та Bluetooth Low Energy (BLE). Система здатна розпізнавати і підраховувати кількість повторень для трьох вправ з гантелями: згинання біцепса, боковий підйом, та жим над головою.

Пояснювальна записка складалася з п'яти розділів.

У загальній частині описувалися обґрунтування актуальності теми дипломного проекту, аналітичний огляд існуючих рішень.

У другому розділі було обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема плати Arduino Nano 33 BLE Sense з вбудованими датчиками та можливістю бездротового зв'язку, а також портативного зарядного пристрою (павербанку) для живлення системи. Було розроблено алгоритм роботи системи, який включає збір даних з IMU-датчиків (акселерометр, гіроскоп, магнітометр) під час виконання вправ, функціональної схеми, написання програми управління для платформи Arduino та створення додатку для Android пристрою і підключення до нейронної мережі.

У третьому розділі здійснювалась розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою, розробка методики перевірки, функціонування пристрою а також опис технічного обслуговування.

Розрахунок вартості фітнес контролера приведено в економічній частині.

Основні питання охорони праці та техніки безпеки розглянуто в п'ятому розділі.

До складу кваліфікаційної роботи входила графічна частина, яка складалася з функціональної модулі системи, алгоритму функціонування системи, таблиця техніко-економічних показників і текстів програми що виконані на окремих аркушах формату А1.

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тхір І.Л., Юзків А.В., Калушка В.П. Посібник користувача ПК. - Тернопіль: Технічний коледж ТФК ТНТУ, 2015. (дата звернення 07.06.2024).
2. Ардуіно, огляд та опис моделі. URL: <https://csem.net/arduino/arduino264.php> (дата звернення 07.06.2024).
3. Ардуіно Nano 33 BLE Sense з роз'ємами. URL: <https://evo.net.ua/ru/arduino-nano-33-ble-sense-with-headers-abx00035/> (дата звернення 07.06.2024).
4. Контроллер Ардуіно Nano 33 BLE. URL: <https://arduino.ua/ru/prod4834-kontroller-arduino-nano-33-ble-abx00030> (дата звернення 07.06.2024).
5. Огляд павербанку на 5000 мАч. URL: <https://shop-ran.com/ua/paverbank-5000-mah> (дата звернення 07.06.2024).
6. Інформація про Bluetooth Low Energy. URL: <https://habr.com/ru/articles/101154/> (дата звернення 07.06.2024).
7. Гексагональна гантель Gymbeam. URL: <https://gymbeam.ua/ru/geksagonal-naja-gantel-gymbeam.html> (дата звернення 07.06.2024).
8. Документація до Ардуіно Nano 33 BLE Sense. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-ble-sense/> (дата звернення 07.06.2024).
9. 16-bit UUID Нумерований документ інформації. URL: <https://btprodspecificationrefs.blob.core.windows.net/assigned-values/16bit%20UID%20Numbers%20Document.pdf> (дата звернення 07.06.2024).
10. Edge Impulse. Розробка застосунків штучного інтелекту. URL: <https://docs.edgeimpulse.com/docs/concepts/edge-ai/what-is-edge-impulse> (дата звернення 07.06.2024).
11. Ефективні засоби захисту від електромагнітних полів. URL: <https://simvolt.ua/efektivni-zasobi-zakhistu-vid-elektromagnitnikh-poliv.-zberezhit-zdorovya-svoyikh-ditey/> (дата звернення 07.06.2024).

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Психофізіологічне розвантаження та вимоги до профілактичних медичних оглядів користувачів комп'ютерів <https://studfile.net/preview/8998689/page:3/> (дата звернення 07.06.2024).

13. Посібник з охорони праці: Захист від небезпечних виробничих факторів. URL: <https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/600> (дата звернення 07.06.2024).

					2024.КВР.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А – Текст програми

```
/* Includes ----- */
#include <victoruni-project-1_inference.h>
#include <Arduino_LSM9DS1.h>
#include <ArduinoBLE.h>

/* Constant defines ----- */
#define CONVERT_G_TO_MS2 9.80665f

/* Private variables ----- */
static bool debug_nn = false; // Set this to true to see e.g. features generated
from the raw signal

BLEService fitnessBLEsense("1826"); // GATT service - Fitness Machine
BLEIntCharacteristic counterChar("2AD3", BLERead | BLENotify); //
GATT characteristic and object type 0x2ad3 Training status

int counter=4;

//
/**
 * @brief Arduino setup function
 */
void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Edge Impulse Inferencing Demo");
```

					2024.KBP.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80


```

if (!IMU.begin()) {
    ei_printf("Failed to initialize IMU!\r\n");
}
else {
    ei_printf("IMU initialized\r\n");
}

if (EI_CLASSIFIER_RAW_SAMPLES_PER_FRAME != 3) {
    ei_printf("ERR:    EI_CLASSIFIER_RAW_SAMPLES_PER_FRAME
should be equal to 3 (the 3 sensor axes)\n");
    return;
}

pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

if (!BLE.begin()) {
    Serial.println("BLE failed to Initiate");
    delay(500);
    while (1);
}

// read all the sensor values

BLE.setLocalName("ArduinoFitnessBLEsense");
BLE.setAdvertisedService(fitnessBLEsense);
fitnessBLEsense.addCharacteristic(counterChar);
BLE.addService(fitnessBLEsense);
counterChar.writeValue(counter);
BLE.advertise();

```

					2024.KBP.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

```

    Serial.println("Bluetooth device is now active, waiting for connections...");
}

/**
 * @brief    Printf function uses vsnprintf and output using Arduino Serial
 *
 * @param[in] format    Variable argument list
 */
void ei_printf(const char *format, ...) {
    static char print_buf[1024] = { 0 };

    va_list args;
    va_start(args, format);
    int r = vsnprintf(print_buf, sizeof(print_buf), format, args);
    va_end(args);

    if (r > 0) {
        Serial.write(print_buf);
    }
}

/**
 * @brief    Get data and run inferencing
 *
 * @param[in] debug    Get debug info if true
 */
void loop()
{
    ei_printf("\nStarting inferencing in 1 seconds...\n");
}

```

					2024.KBP.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

```

delay(1000);

ei_printf("Sampling...\n");

// Allocate a buffer here for the values we'll read from the IMU
float buffer[EI_CLASSIFIER_DSP_INPUT_FRAME_SIZE] = { 0 };

for (size_t ix = 0; ix < EI_CLASSIFIER_DSP_INPUT_FRAME_SIZE; ix
+= 3) {
    // Determine the next tick (and then sleep later)
    uint64_t next_tick = micros() + (EI_CLASSIFIER_INTERVAL_MS *
1000);

    IMU.readAcceleration(buffer[ix], buffer[ix + 1], buffer[ix + 2]);

    buffer[ix + 0] *= CONVERT_G_TO_MS2;
    buffer[ix + 1] *= CONVERT_G_TO_MS2;
    buffer[ix + 2] *= CONVERT_G_TO_MS2;

    delayMicroseconds(next_tick - micros());
}

// Turn the raw buffer in a signal which we can the classify
signal_t signal;
int          err          =          numpy::signal_from_buffer(buffer,
EI_CLASSIFIER_DSP_INPUT_FRAME_SIZE, &signal);
if (err != 0) {
    ei_printf("Failed to create signal from buffer (%d)\n", err);
    return;
}

```

					2024.KBP.123.418.12.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

```

// Run the classifier
ei_impulse_result_t result = { 0 };

err = run_classifier(&signal, &result, debug_nn);
if (err != EI_IMPULSE_OK) {
    ei_printf("ERR: Failed to run classifier (%d)\n", err);
    return;
}

// print the predictions
float max_predication=0.0;
int result_predication=0;
ei_printf("Predictions ");
ei_printf("(DSP: %d ms., Classification: %d ms., Anomaly: %d ms.)",
    result.timing.dsp, result.timing.classification, result.timing.anomaly);
ei_printf(": \n");
for (size_t ix = 0; ix < EI_CLASSIFIER_LABEL_COUNT; ix++) {
    if(result.classification[ix].value>max_predication)
    {
        result_predication=ix+1;
        max_predication=result.classification[ix].value;
    }
    ei_printf("                %s:   %.5f\n",    result.classification[ix].label,
result.classification[ix].value);
}

Serial.print("result_predication=");Serial.println(result_predication);
Serial.print("max_predication=");Serial.println (max_predication);
BLEDevice central = BLE.central();
if (central) {
    Serial.print("Connected to central: ");

```

```

Serial.println(central.address());
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
if (central.connected()) {
    if(max_predication>0.7) {
        counter=result_predication;
        counterChar.writeValue(counter);
        //
        Serial.println("fitness BLEsense data:");
        Serial.print("counter=");Serial.print(counter);
        Serial.println("");
        //
    }
}
digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
Serial.print("Disconnected from central: ");
}

//}

#if EI_CLASSIFIER_HAS_ANOMALY == 1
    ei_printf("    anomaly score: %.3f\n", result.anomaly);
#endif
}

#if !defined(EI_CLASSIFIER_SENSOR) || EI_CLASSIFIER_SENSOR !=
EI_CLASSIFIER_SENSOR_ACCELEROMETER
#error "Invalid model for current sensor"
#endif

```

