

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютеризована система захоплення руху людини

Виконав: студент IV курсу, групи СІс-43

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Чарковський Д.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Чарковському Дмитру Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система захоплення руху людини

Керівник роботи Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц., декан ФІС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «23» 03 2022 року № 4/7-180

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.06. 2022р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання. 1.1 Особливості застосування технології захоплення руху. 1.2. Типи підходів зняття руху. 2. Проектна частина. 2.1. Передача даних за допомогою бездротового сигналу. 2.2. Калібрування сенсорів. 2.3. Апаратна реалізація розробки. 2.4. Під'єднання компонентів системи. 2.5. Прошивка EPS 8266

3. Практична частина. 3.1. Програмна реалізація. 3.2. Архітектура системи.

3.3. Робота сенсорів. 3.4. Плагін 4. Безпека життєдіяльності, основи хорони праці.

Висновки.

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

1. Типи підходів зняття руху. 2. Апаратна реалізація розробки.

3. Архітектура роботи системи. 4. Лістинги фрагментів програмного коду.

5. Плагін для популярного ігрового рушія Unity

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Гурик О.Я., доц. кафедри МТ</i>		

7. Дата видачі завдання _____ 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи</i>	<i>23.03 – 25.03</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>24.03 – 29.03</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Підбір джерел про системи захоплення руху людини</i>	<i>30.03 – 12.04</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Опрацювання джерел про системи захоплення руху людини</i>	<i>13.04 – 20.04</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Виконання дослідження щодо комп'ютеризованої системи для захоплення руху людини на основі мікроконтролерів</i>	<i>21.04 – 28.04</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Розроблення програмного коду</i>	<i>29.04 – 10.05</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>11.05 – 18.05</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Оформлення розділу «Проектна частина»</i>	<i>19.05 – 28.05</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Оформлення розділу «Практична частина»</i>	<i>29.05 – 08.06</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>26.05 – 04.06</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>09.06 – 13.06</i>	<i>Виконано</i>
12.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>13.06 – 16.06</i>	<i>Виконано</i>
13.	<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>16.06 – 18.06</i>	<i>Виконано</i>
14.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>18.06 – 20.06</i>	<i>Виконано</i>
15.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06</i>	

Студент

(підпис)*Чарковський Д.Р.*_____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Баран І.О.*_____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Комп'ютеризована система захоплення руху людини // Кваліфікаційна робота бакалавра // Чарковський Дмитро Русланович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІс-43 // Тернопіль, 2022 // с. – 52, рис. – 38, табл. – 1, аркушів А1 – 5, бібліогр. – 21.

Ключові слова: ARDUINO, UNITY, АКСЕЛЕРОМЕТР, КАЛІБРУВАННЯ СЕНСОРІВ, ЗАХОПЛЕННЯ РУХУ, РУШІЙ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці бездротової системи захоплення руху інерційного типу, котра була б дешевша за існуючі аналоги і доступна багатьом розробникам, а також мала простий і легкий поріг входу до використання та розуміння її роботи.

Проаналізовано існуючі технології для визначенням ефективного способу розробки, для реалізації апаратної частини проведено аналіз елементної бази. Запропоновано спеціалізований підхід запису руху. Спроектовано спеціалізовану архітектуру роботи сенсора, котрий записує кути положень суглобів. З використанням мови програмування C++ розроблено відповідне ПЗ. Створено плагін для ігрового рушія Unity для роботи з розробленою комп'ютеризованою системою.

ANNOTATION

Computerized system for human motion capture // Bachelor thesis // Charkovskyi Dmytro // Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Systems and Nets // Ternopil, 2022 // p.- 52, fig. – 38, table. – 1, Sheets A1 – 5, Ref. – 21.

Keywords MOTION CAPTURE, ENGINE, ARDUINO, SENSOR CALIBRATION, ACCELEROMETER, UNITY

The qualification work deals with the development of a wireless inertial motion capture system, which would be cheaper than existing analogues and available to many developers, as well as had a simple and easy entry threshold to use and understand its work.

The existing technologies for determination of an effective way of development are analyzed, for realization of a hardware part the analysis of element base is carried out. A specialized approach to motion recording is proposed. A specialized sensor architecture has been designed, which records the angles of the joints. Appropriate software has been developed using the C ++ programming language. A plug-in for the Unity gaming engine has been created to work with the developed computerized system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Особливості застосування технології ЗР	10
1.2 Типи підходів зняття руху.....	11
1.2.1 Маркерний підхід	11
1.2.2 Безмаркерний підхід	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	23
2.1 Передача даних за допомогою бездротового сигналу.....	23
2.2 Калібрування сенсорів	23
2.3 Апаратна реалізація розробки.....	24
2.3.1 Контролер Arduino Nano.....	24
2.3.2 Акселерометр MPU 6050	27
2.3.3 Мікроконтролер ESP8266.....	29
2.4 Під'єднання компонентів системи	31
2.4.1 Arduino Nano та MPU6050.....	31
2.4.2 Arduino Nano та ESP8266	32
2.5 Прошивка EPS 8266	33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	35
3.1 Програмна реалізація	35
3.1.1 Сенсори.....	35
3.1.2 Інтерфейс.....	35
3.2 Архітектура системи	36
3.3 Робота сенсорів.....	39

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чарковський Д.				Лім.	Арк.	Аркушів	
Керівник.	Баран І.О.							
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-43			
Н. Контр.								
Затверд.								

3.4 Плагін	40
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ...	44
4.1 Стихійні лиха та їх класифікація	44
4.2 Соціальне значення охорони праці.	47
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ	
Додаток А Технічне завдання	

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

DMP (Digital Motion Processor) – сенсор на чіпі (комбінований гіроскоп, акселерометр і магнітометр).

IDE (Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки.

Unity3D — міжплатформене середовище розробки комп'ютерних ігор, що дозволяє створювати додатки, що працюють на більш ніж 25 різних платформах.

ЗР (Захоплення руху, *англ.* Motion Capture) – процес передачі рухів реального актора, тварини чи предмета на комп'ютер із наступним перетворенням в 3D анімацію.

ОС – операційна система.

Плагін – незалежно компілюваний програмний модуль, що динамічно підключається до основної програми і призначений для розширення та/або використання її можливостей.

Пін – контакт (ніжка) в електроніці для з'єднання двох елементів схеми.

ПК – персональний комп'ютер.

ПЗ – програмне забезпечення.

Рушій – базове програмне забезпечення комп'ютерної гри.

СЗР – система захоплення руху.

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

Шина — з'єднання, яке служить передачі даних між функціональними блоками комп'ютера.

Фреймворк – програмна платформа, що визначає структуру програмної системи.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

ЗР є надзвичайно популярною технологією, яка використовується в багатьох галузях і з кожним роком відсоток вбудовування її у виробничі процеси зростає.

Дедалі більше великих компаній вкладають значні кошти в її розвиток. Окрім власне таких компаній, великий внесок у розвиток цієї технології вносять також вчені та потужні університети. В основному вони займаються проектуванням нових способів та покращенням існуючих особливостей технології ЗР, в т.ч. для того щоб передати рухи людини більш плавно і реалістично. Незважаючи на велике коло зацікавлених осіб, дана технологія досі залишається досить дорогою у використанні. Проте найбільша проблема систем, котрі використовують ЗР, це їхнє дороговартісне і достатньо велике за своїми розмірами обладнання, котре накладає ряд питань, пов'язаних з проблемами вільного великого робочого простору.

Найбільш коректні дані про рух людини передає векторна модель руху, оскільки формально вона складається із співвідношення між основними вузлами тіла людини, що оточує простір з урахуванням характеристик людини та даних про координати цих вузлів щодо простору. Для побудови анімації на основі руху об'єктів реального світу необхідно створення своєрідних симуляторів та тренажерів.

Недорога, доступна система, яка може використовуватись і невеликими командами розробки дозволить покращити якість кінцевого продукту.

Метою роботи є створення СЗР інерційного типу бездротовим способом.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- проаналізувати існуючі технології з визначенням ефективного підходу до розробки;
- провести аналіз доступної компонентної бази для реалізації апаратної частини;
- запропонувати спеціалізований підхід запису руху;

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- спроектувати архітектуру роботи сенсора, котрий записує кути положень суглобів;
- розробити відповідне ПЗ.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Особливості застосування технології ЗР

Постійно зростає кількість сфер в промисловості, які починають застосовувати СЗР. В даний час використання технології ЗР можна розділити на такі основні сфери застосування:

- віртуальна реальність;
- кіновиробництво;
- робототехніка;
- медицина;
- розробка відеоігор;
- спорт;
- наукові дослідження;
- військова галузь.

Старт створенню СЗР був даний індустрією розваг, у якій з'явилася необхідність точного захоплення швидких рухів актора. Успішне застосування СЗР знайшло в області відеоігор та анімації персонажів для кінематографа, оскільки з'явилася можливість створити реалістичну модель людини або перенести актора в цифровий простір для створення спецефектів у фільмі. В даний час такі системи мають великий попит на телебаченні, а також у кіно промисловості та індустрії відеоігор [1, 2].

Область використання СЗР розширюється надзвичайно динамічно. Останнім часом індустрії спорту і медицини почали використовувати системи ЗР у своїх галузях та наукових дослідженнях. У медицині системи застосовуються для кращого сприйняття та детального аналізу рухів людини, які складно одержати без ЗР. Проводячи дослідження, вчені докладніше вивчають рухи

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Чарковський Д.				<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник.</i>		Баран І.О.						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-43		

м'язів людини, допомагають знайти причину проблем та усунути завдяки візуалізації отриманих даних [1 - 3].

У спортивній індустрії СЗР також знаходять широке використання. Вони допомагають отримувати інформацію про те, як спортсмен рухається, наприклад, під час змагань. Ці отримані дані реєструються з дуже високою швидкістю. Все це потрібно, в основному, для того, щоб збільшити показники спортсмена, покращити спортивну техніку для досягнення найкращих результатів [1-3].

Найчастіше в дослідженнях конкретних завдань, де важлива швидкість зчитування даних, технології ЗР є єдиним інструментом, здатним допомогти і дати потрібний результат. Наприклад, аналіз швидкого динамічного процесу, аналіз вібрацій та розрахунок траєкторій тривимірних об'єктів [4].

1.2 Типи підходів зняття руху

До створення системи ЗР виділяють, як правило, декілька різних підходів, кожен з них свою визначену сферу застосування:

- маркерний підхід: оптично пасивна система; оптично активна система; інерційна системи; магнітна система; механічна система.
- безмаркерний підхід: системи із давачем глибини.

Варто провести аналіз цих підходів.

1.2.1 Маркерний підхід

Використовуються камери та спеціальний костюм. Камери розміщуються по всій кімнаті, а на актори одягають костюм на який кріпляться давачі (рис. 1.1).

Після завершення підготовки починається запис руху – камери фіксують положення давачів і передають їх на ПК, де дані обробляються та накладаються на тривимірну модель. На основі цих даних далі буде створена анімація. Окремі системи мають функцію перегляду рухів тривимірних моделей безпосередньо під час запису. Таким же способом можна записувати рухи та міміку обличчя.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього на актора одягається спеціальний шолом з маленькою камерою, який фіксує точки на обличчя актора.



Рисунок 1.1 – Маркерна система

Оптично пасивна система. Є однією з найбільш поширених реалізацій маркерного підходу. Пасивною цю систему називають через те, що маркери тут – це звичайні точки, які не представляють жодної технічної складності, вони не світяться і не містять плат розширення (див. рис. 1.2). Система працює наступним чином: актор знаходиться у погляді камер, камери відловлюють усі видимі маркери, цим визначаючи позицію кожного з них.

Можна виділити такі переваги: маркером може бути будь-який розпізнаваний об'єкт, наприклад тенісна кулька; можливість ЗР будь-якої форми; можливість ЗР міміки особи; немає необхідності у великих приміщеннях; легка доступність і невибагливість маркерів.

Проте існують і недоліки: можна сплутати маркер з іншим; можна не розпізнати маркер взагалі.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Оптично пасивна система

Приклад – використання оптично пасивної системи OptiTrack – Motion Capture Systems [5]. Її перевагами є: гнучка потокова передача у режимі реального часу; 64-бітна архітектура; перегляд захоплення в режимі реального часу.

Оптично активні системи. Принцип роботи оптично активних систем дуже схожий на оптично пасивні системи з єдиною відмінністю того, що маркери містять джерело світла і можуть випромінювати його, а також містять у собі маленький процесор (див. рис. 1.3). У ПЗ кожному маркеру в системі призначається унікальний ідентифікатор, через що виключається можливість втрати або сплутаності маркерів у системі після їх перекриття та наступної появи в фокусі камер. Це гарантує безпомилкове визначення маркерів у системі.

Перевагами такої системи є: можливість ЗР будь-якої форми; досить висока точність щодо пасивних систем; немає необхідності у великих приміщеннях; при швидкому русі маркери не плутаються; рухи актора не стискають дроти.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Оптично активна система

Недоліки: блок управління, зафіксований на акторі, та під'єднаний до маркерів; крихкість самих маркерів та ймовірність їх зламати при виконанні інтенсивних рухів (стрибки, лазіння тощо); ціна маркерів; немає можливості запису рухів та міміки особи через необхідне живлення маркерів.

Як приклад варто навести можливості використання оптично активної системи Phasespace [6], а саме: відстеження кількох об'єктів у режимі реального часу; запатентована технологія активного маркера усуває заміну маркерів для більш чистих даних; точні дані руху із субміліметровою роздільною здатністю; оптимізована операція - одна людина може налаштувати та запустити систему; портативна система дозволяє ЗР в приміщенні та на відкритому повітрі; швидкість захоплення 960 Гц точно відстежує найшвидші рухи.

Інерційні системи. Використовується невеликі маркери, які кріпляться на актора як у оптичних системах. Головною відмінністю є те, що маркери в даному випадку являють собою міні комп'ютери або давачі, вони містять у собі гіроскопи, магнітометри та акселерометри, що вимірюють різні фізичні величини та обертання у різних точках тіла (рис. 1.4).

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 – Костюм для зняття рухів на основі інерційної системи

Отримані дані локальним або бездротовим шляхом передаються на ПК.

Приклад – використання інерційної системи Xsense [7]. Система використовує невеликі давачі (рис. 1.5), які містять необхідні вимірювальні сенсори. А саме – гіроскоп, магнітометр та акселерометр, що вимірюють усі необхідні дані для створення анімації руху. Такі давачі обробляють необхідну інформацію та передають її на пристрій.

Перевагою саме цієї конструкції є те, що дані можна передавати в будь-яких приміщеннях, навіть на відкритому повітрі. Давачі можна сховати під одягом, що дозволяє актору зніматися на сцені з іншими акторами.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Зняття рухів за допомогою інерційної системи Xsense

Магнітна система. Частково схожа з оптичною, проте тут маркерами є магніти (див. рис. 1.6), а камерами - ресиверами, і система вираховує їх позиції за магнітним потоком.

Позитивні сторони: відсутня ймовірність втрати маркера при його перекритті іншим актором; можливість записувати рухи будь-якої форми об'єкта; немає необхідності у великих приміщеннях; немає потреби у придбанні додаткових камер як активних чи пасивних системах.

Негативні особливості: магнітним маркерам необхідна підготовлена кімната, оскільки за їх специфікою вони схильні до перешкод від різних металевих предметів; не постійна чутливість сенсорів залежно від їхнього розміщення в зоні роботи; менша, порівняно з оптичними системами, дальність дії; блок управління прикріплений до актора; значна ціна магнітних маркерів; складність виконувати акробатичні рухи через специфіку маркерів на костюмах.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 – Приклад магнітної системи

Механічна система. У конструкції застосовуються спеціальні костюми, що нагадують екзо-скелет (див. рис. 1.7). Костюм готується для актора, після чого за допомогою кількох людей одягається на нього. Дані костюма, а саме кожного з суглобів екзо-скелета, передаються безпосередньо на ПК по дротовому або бездротовому сигналу.

Дана система застаріла і майже не використовується в наші дні через низку незручностей в дорожнечі і непрактичності, а також через наявність на ринку більш вигідних та зручних систем.

Позитивні риси: велика зона дії, що обмежується лише особливістю костюма; неможливість перекривання або переплутування маркерів через їх відсутність; швидкість зчитування даних та їх передача на ПК.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 – Приклад механічної системи

Негативні особливості: немає функції ЗР та міміки особи; немає функції запису рухів при тісній взаємодії двох або більше акторів чи запису швидких або акробатичних рухів; великий ризик поломки костюма; дорожняча костюма; не передбачена можливість запису руху різних форм об'єктів.

Гіроскопічні системи. Застосовуються невеликі гіроскопи та інертні сенсори, закріплені на тілі актора (див. рис. 1.8). Інформація з них поступає на ПК, де проходить їх опрацювання. Сенсори зчитують не тільки положення, але також і кут нахилу.

Переваги такої системи: повна відсутність перекривання або сплутування сенсорів; висока швидкість і точність передачі даних; немає необхідності купівлі камер як в оптичних системах; можливість ЗР будь-якої форми; немає необхідності у великих приміщеннях.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

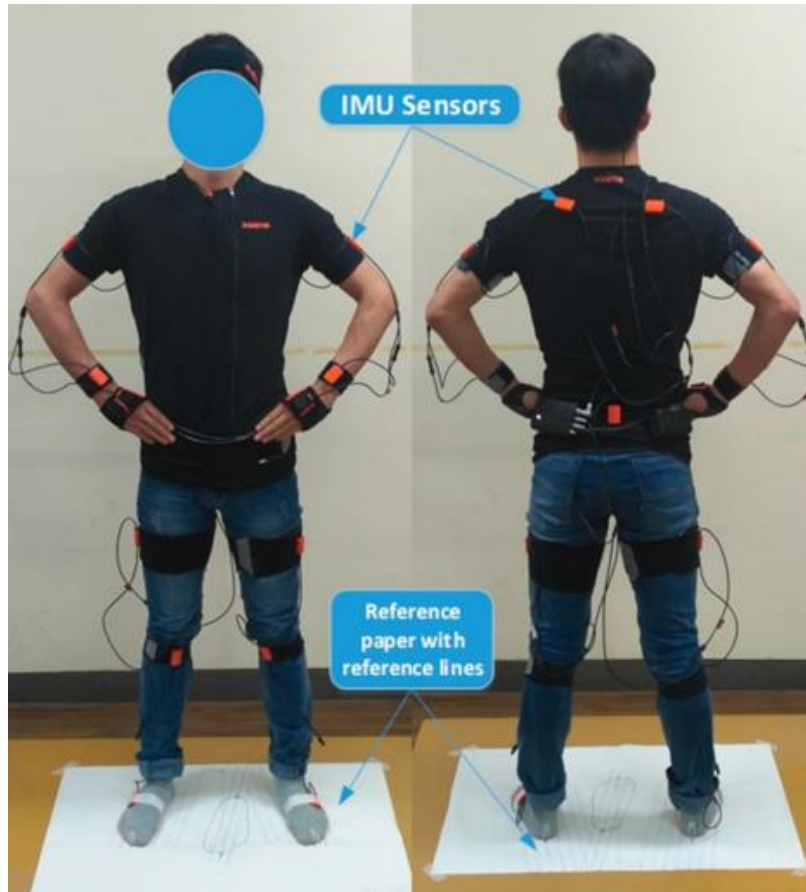


Рисунок 1.8 – Сенсори гіроскопічної системи

Наявні недоліки: відсутність можливості міміки особи; блок управління прикріплений до актора; можливість пошкодити сенсор; відносно висока вартість сенсорів.

1.2.2 Безмаркерний підхід

У такій системі немає необхідності використовувати багато камер або купувати спеціальне обладнання. В її основі лежать технології комп'ютерного зору. Актору немає необхідності одягатися у спеціальний костюм досить звичайного одягу (рис. 1.9), завдяки цьому економиться час на підготовку, виключається можливість пошкодження костюма або давачів під час виконання складних рухів. Для запису необхідна хоча б одна звичайна камера, влаштує навіть веб-камера ноутбука чи ПК.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



Рисунок 1.9 – Використання безмаркерної системи

Системи з давачем глибини. Використовують камери для аналізу тривимірної фігури об'єкта у просторі з використанням світлових індикаторів (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Камера, прикріплена до голови

Приклад використання інерційної системи Cubic Motion [8]. Система використовує камеру, прикріплену на шолом актора, яка зчитує точки на основі

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світлових патернів. Наприклад, цей підхід застосовується у знайомій багатьом камері Kinect - це досить примітивна, але недорога система ЗР, яка не використовується у професійних цілях.

З плюсів можна виділити - найвищу якість захоплення міміки актора, відносна простота та дешевизна використання, як приклад, можна використовувати телефон.

З мінусів можна виділити – незручність, на акторі завжди є шолом (рис. 1.11), на якому закріплена камера, котра може заважати огляду або зовсім унеможлиблює запис складних акробатичних анімацій.

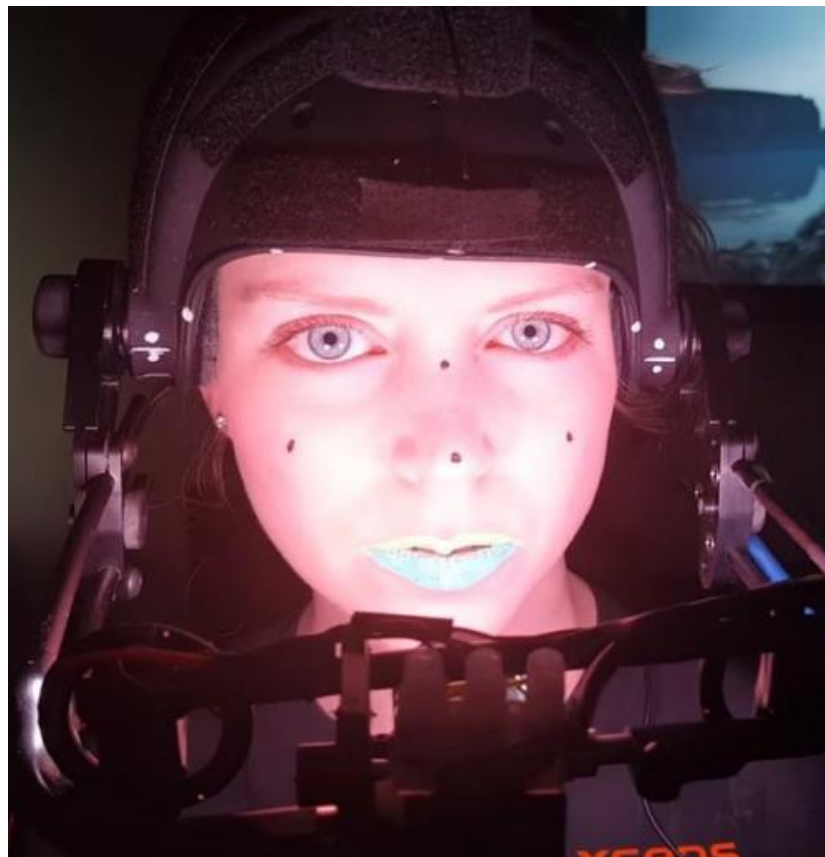


Рисунок 1.11 - Шолом із камерою для запису міміки

Захоплення лицьових рухів. У великобюджетних проектах найчастіше використовується захоплення як тіла, так і міміки актора з голосом (рис. 1.12). Виходячи з вищеописаного аналізу можна зробити висновок, що для реалізацій подібної системи необхідна або оптична система, або система з давачем глибини.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання інерційної системи відпадає через те, що в їх основі лежать сенсори, які будуть сильно обмежувати міміку актора і зроблять її неприродною.



Рисунок 1.12 – Шолом з давачем руху та камерою для захоплення лицьових рухів

Якщо порівнювати обидві системи - оптичну і давачів глибини, очевидно, що перший варіант дасть більш точний результат, але при її використанні до обличчя також треба прикріплювати маркери, а їх налаштування вимагає багато часу, а також може доставляти дискомфорт актору, що позначатиметься на якості акторської гри. Крім того, при різких рухах маркери можуть відвалюватися з обличчя.

За результатами проведеного огляду можна зробити короткий висновок, що на сьогоднішній день вже створено та використовується велика кількість різних систем ЗР. Основна відмінність між ними у способі передачі даних.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Акселерометр визначає кут нахилу сенсора стосовно земної поверхні. При ідеальній ситуації давач, котрий рівно лежить на столі, або рухається з постійною швидкістю на осі, буде спроектований вектор сили тяжіння.

Якщо давач рухається з прискоренням на додачу до прискорення вільного падіння, тоді отримуємо складові вектора прискорення. Якщо давач знаходиться у вільному падінні, в тому числі на орбіті планети, - величини прискорень по всіх осях дорівнюватимуть нулю. Знаючи дані проекції вектора сили тяжіння можна з високою точністю визначити кут нахилу давача щодо нього. Якщо давач рухається однозначно визначити напрямок вектора сили тяжіння не вдасться, відповідно і кут теж.

2.3 Апаратна реалізація розробки

2.3.1 Контролер Arduino Nano

Апаратну частину було побудовано на контролерах Arduino, оскільки вони доступні у багатьох магазинах (рис. 2.1). Плата досить просто програмується через порт USB, не потребує програматорів, за допомогою спеціального ПЗ Arduino IDE. Зручне Arduino IDE дозволяє легко створювати на їх основі прототипи апаратних систем для подальшої реалізації кінцевого готового продукту [10].



Рисунок 2.1 – Вигляд Arduino Nano

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вартість. За абсолютно прийнятну ціну користувач отримує практично готове рішення для роботи, без необхідності докуповувати додаткове обладнання.

Кросплатформність. Програмне та апаратне забезпечення Arduino функціонує на всіх популярних платформах Windows, Mac OS, Linux та інших. На відміну від вибраного пристрою більшість мікроконтролерів функціонують під Windows. Також варто відзначити простоту підключення датчиків до Arduino із застосуванням USB для подальшої прошивки.

Просте програмне середовище. Зручне Arduino IDE, з яким впораються новачки. При цьому воно залишається досить гнучким для професіоналів

Відкритий вихідний код. ПЗ Arduino активно розвивається і підтримується не тільки компанією Arduino, але й великою спільнотою, яка пропонує сторонні рішення у вигляді C++ бібліотек [11]. Більш просунуті фахівці можуть створити власний інструментарій для Arduino на основі компілятора AVR C.

Відкриті специфікації та схеми обладнання. Arduino працює на основі мікроконтролера Atmel ATMEGA8 та ATMEGA168. Схеми модулів, які опубліковані у відкритому доступі під ліцензією Creative Commons.

Наведемо принципові базові схеми окремих складових частин, котрі складатимуть систему загалом.

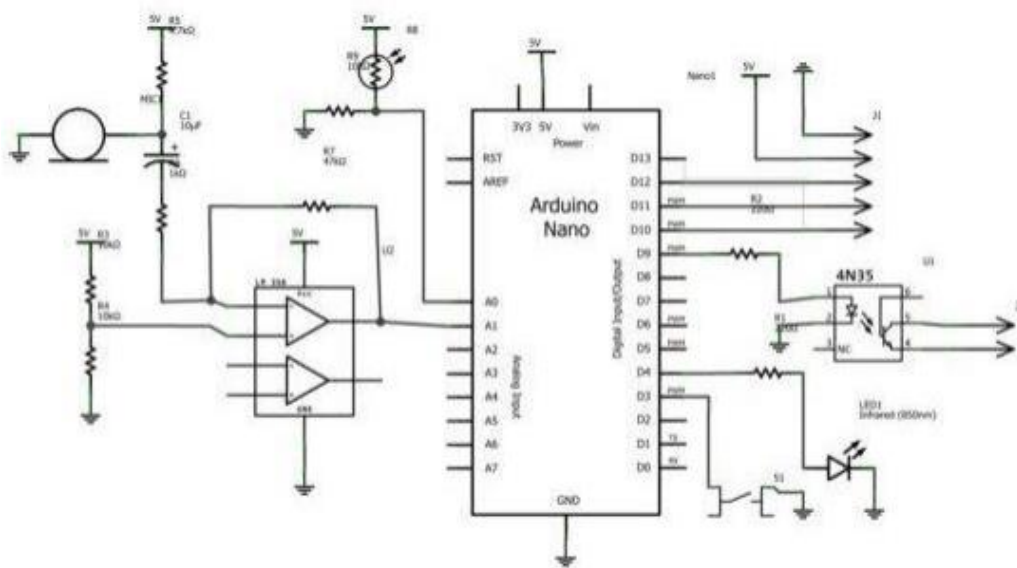


Рисунок 2.2 – Схема Arduino Nano V3

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики Arduino Nano [10]:

- напруга живлення 5 В;
- вхідне живлення від 7 до 12 В;
- кількість цифрових контактів - 14;
- 8 аналогових входів;
- максимальний струм цифрового виходу 40 мА;
- флеш-пам'ять 32 Кб;
- ОЗП 2 Кб, залежно від чіпа;
- EEPROM 1 Кб;
- частота 16 МГц.

Живлення плати може здійснюватися двома способами:

- через mini-USB або microUSB при підключенні до комп'ютера;
- через зовнішнє джерело живлення, що має напругу від 6 до 20 В з низьким рівнем пульсацій.

Кожен з 14 цифрових контактів (див. рис. 2.3), на Nano можна використовувати як вхід або вихід, застосовуючи спеціальні функції, а саме pinMode(), digitalWrite() та digitalRead(). Кожен контакт може забезпечити чи отримати максимум 40 мА.

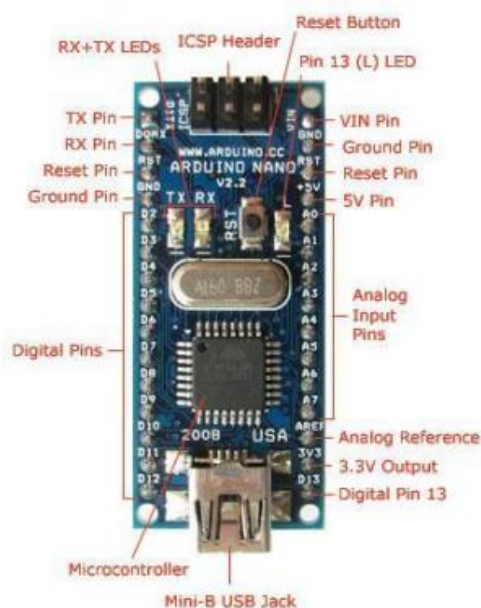


Рисунок 2.3 – Цифрові контакти контролера Arduino Nano

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Пояснення контактів на платі:

- послідовна шина: 0 (RX) та 1 (TX). Виводи використовуються для отримання (RX) та передачі (TX) даних TTL. Ці виводи під'єднані до відповідних виводів мікросхеми послідовної шини FTDI USB-to-TTL;
- зовнішнє переривання: 2 і 3. Дані виводи можуть бути налаштовані на виклик переривання або на молодшому значенні, або на передньому, або задньому фронті, або при зміні значення. Детальна інформація міститься в описі функції `attachInterrupt()`;
- ШІМ: 3, 5, 6, 9, 10 і 11. Будь-який з виводів забезпечує ШІМ з роздільною здатністю 8 біт за допомогою функції `analogWrite()`;
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). За допомогою даних виводів здійснюється зв'язок SPI, який, хоч і підтримується апаратною частиною, не включений у мову Arduino;
- LED: 13. Вбудований світлодіод, підключений до цифрового виводу 13. Якщо значення виводу має високий потенціал, то світлодіод горить.

2.3.2 Акселерометр MPU 6050

На акселерометрі (рис. 2.4), обчислюються дані про кути повороту.



Рисунок 2.4 – Акселерометр MPU 6050

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Пристрій містить 3-осьовий гіроскоп і 3-осьовий акселерометр на одному чіпі спільно із вбудованим процесором руху, який обробляє складні 6-осьові алгоритми. Також можна отримати доступ до зовнішніх магнітометрів, що дозволяє збирати повний набір даних без втручання головного процесора [12].

Схема електрична принципова MPU 6050 наведена на рис. 2.5.

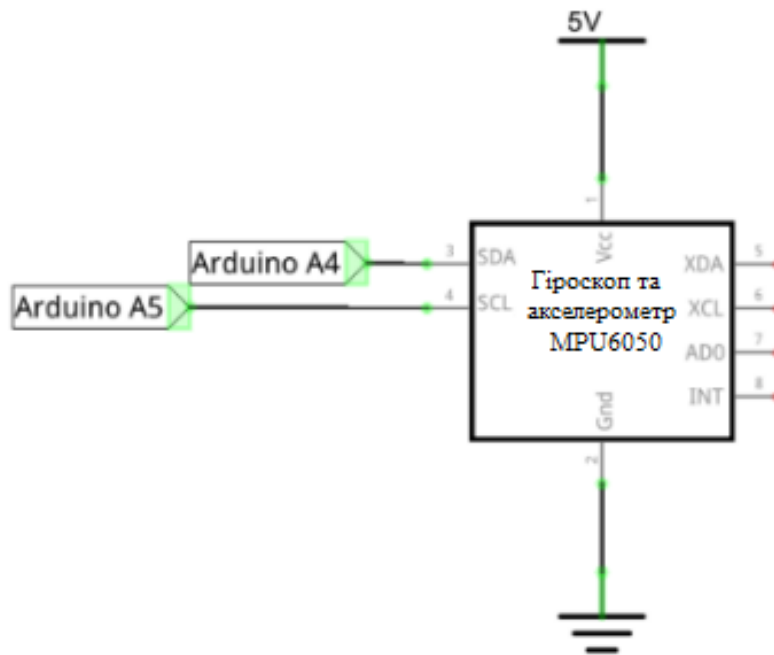


Рисунок 2.5 – Схема MPU 6050

Цифрові контакти показані на рис. 2.6.

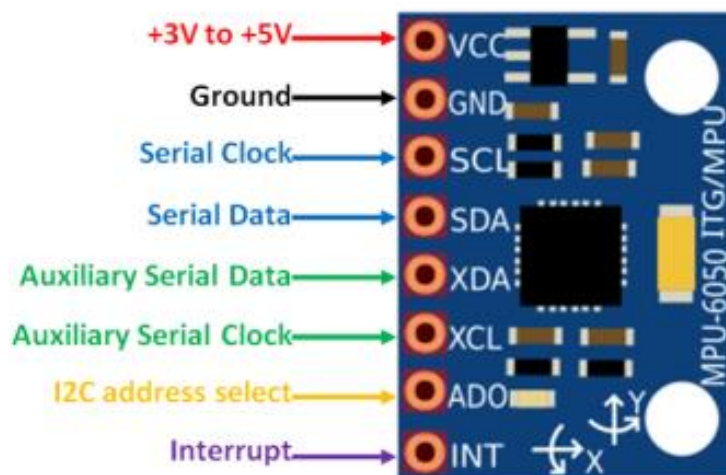


Рисунок 2.6 – Цифрові контакти MPU 6050

Пояснення контактів на платі:

- VCC – позитивний контакт живлення;
- GND - земля;
- SDA - лінія даних I2C;
- SCL - лінія синхроімпульсів I2C;
- INT - налаштовується переривання;
- AD0 - I2C адреса; за промовчаням AD0 підтягнутий до землі, тому адреса пристрою – 0x68; якщо з'єднати AD0 до контакту живлення, адреса зміниться на 0x69;
- XCL, XDA - додатковий I2C інтерфейс для підключення зовнішнього магнітометра.

Технічні характеристики MPU-6050 [8]:

- напруга живлення: від 3,5 до 6В;
- споживаний струм: 500 мкА;
- струм у режимі зниженого споживання: 10 мкА при 1,25 Гц, 20 мкА за 5 Гц, 60 мкА за 20 Гц, 110 мкА за 40 Гц;
- діапазон: 2, 4, 8, 16g;
- розрядність АЦП: 16;
- інтерфейс: I2C (до 400 кГц).

2.3.3 Мікроконтролер ESP8266

Необхідний для бездротової передачі. Був обраний саме цей контролер через те, що він є найпопулярнішим і доступнішим на ринку [13], а також має малі габарити (див. рис. 2.7).

Мікроконтролер привернув велику увагу розробників у 2014 році у зв'язку з виходом перших товарів на його основі за надзвичайно низькою ціною.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

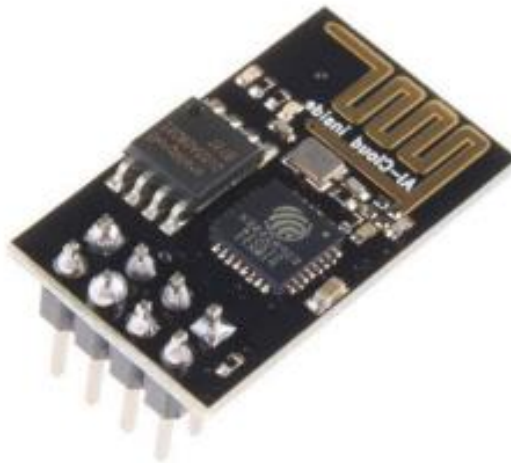


Рисунок 2.7 – Мікроконтролер ESP8266

Технічні характеристики ESP-8266 [9]:

- вихідний інтерфейс: UART;
- об'єм Flash-пам'яті: 2 МБ;
- бездротовий інтерфейс: Wi-Fi 802.11 b/g/n 2,4 ГГц;
- режими роботи: клієнт (STA); точка доступу (AP); клієнт + точка доступу (STA + AP);
- напруга живлення: 3,3 В;
- споживаний струм: до 250 мА;
- габарити: 25×15 мм;
- тактова частота: 80 МГц;
- портів введення-виводу всього: 4;
- портів із ШІМ (Програмний): 4;
- розрядність ШІМ: за замовчуванням 10 біт;
- максимальний струм з піна або на пін: 12 мА

Схема електрична принципова ESP 8266 (рис. 2.8).

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

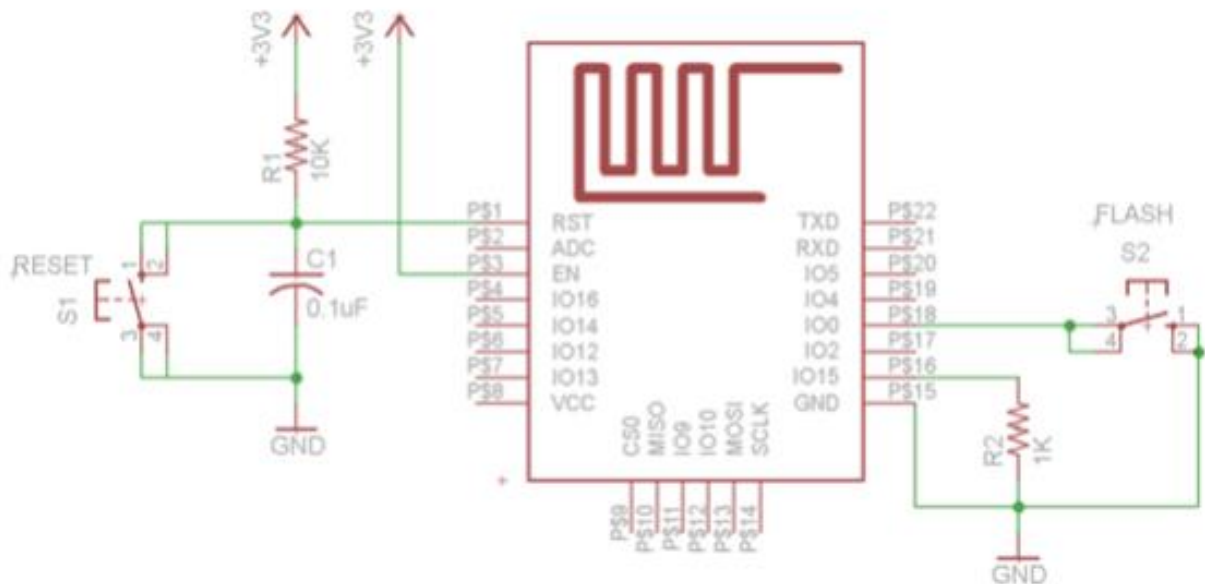


Рисунок 2.8 – Принципова схема ESP 8266

Контакти на платі:

- VCC – до 3,3-вольтового джерела живлення;
- GPIO0 та GPIO1 – це цифрові контакти загального призначення;
- RX - до контакту 0 на Arduino (але потрібно відрегулювати напругу);
- CH_PD – для вибору пристрою. Для функціонування у звичайному режимі підключіть його до 3,3 вольтів (HIGH);
- RST – скидання;
- GND – до GND;
- TX – до контакту 1 на Arduino.

2.4 Під'єднання компонентів системи

2.4.1 Arduino Nano та MPU6050

Давач під'єднюється до шини I2C (див. рис. 2.9). На платі стоїть стабілізатор, що дозволяє живлення від піна 5V [14].

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

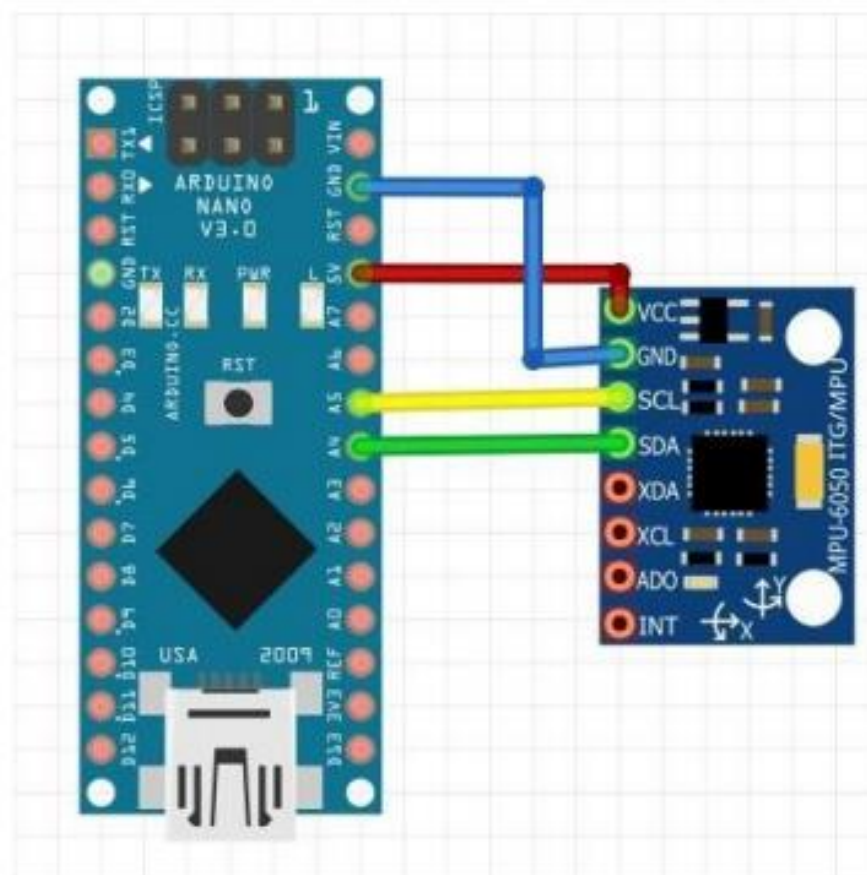


Рисунок 2.9 – Схема під'єднання Arduino Nano та MPU6050

- SDA → A4;
- SCL → A5;
- GND → GND;
- VCC → 5V.

2.4.2 Arduino Nano та ESP8266

Давач підключається до шини I2C (див. рис. 2.10). На платі стоїть стабілізатор, що дозволяє житися від піна 3.3V [14].

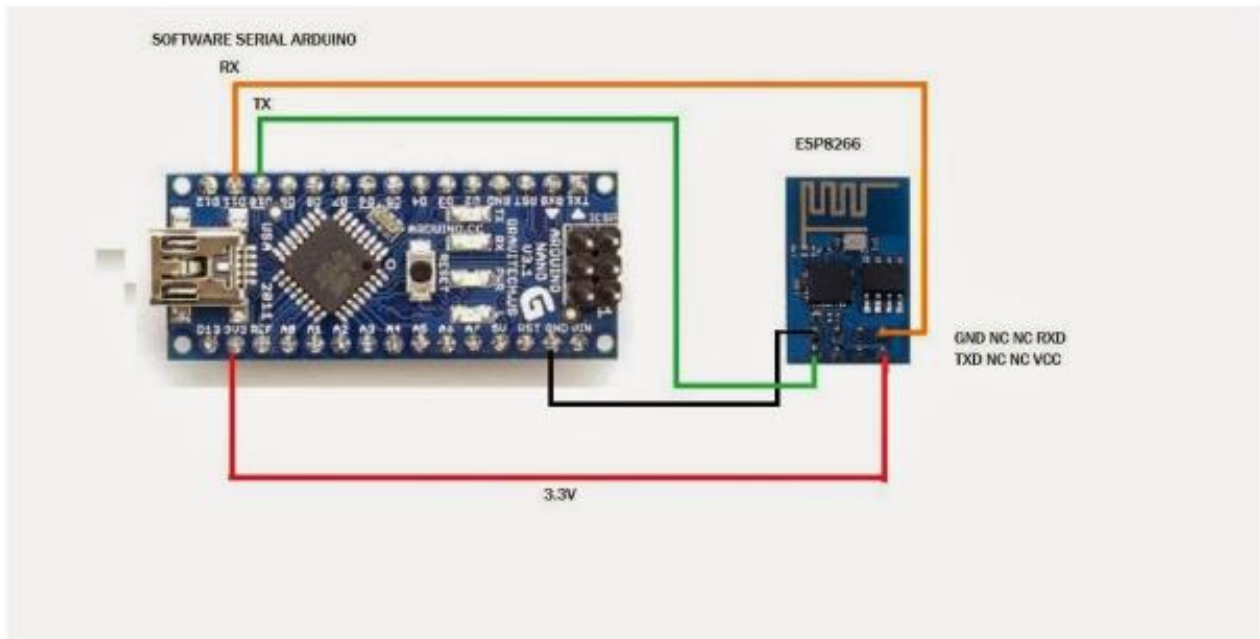


Рисунок 2.10 – Схема під'єднання Arduino Nano та ESP8266

2.5 Прошивка EPS 8266

Для роботи з мікроконтролером ESP8266 потрібно в нього завантажити код, котрий виконується. Для прошивки контролера можна застосувати програму Arduino IDE [15]. Першочергово Arduino IDE не призначений для прошивки та роботи з EPS. Однак можна досить легко налагодити співпрацю IDE з цією платою.

В Arduino IDE йдемо в Файл → Налаштування. У розділі додаткових посилань для менеджера плат вставляємо це посилання http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json.

Після завантаження плати ESP8266 за допомогою менеджера, в програмі з'являється великий перелік прикладів роботи.

Виконувана програма. Для роботи спочатку необхідно підключити залежності:

- ESP8266WiFi.h;
- WiFiClient.h;
- ESP8266WebServer.h.

Також треба записати ім'я та пароль існуючої точки доступу та пароль. У момент запуску контролера необхідно ініціалізувати ім'я та пароль цієї точки доступу. Тому використовуються метод WiFi.mode (STA) для встановлення модуль Wi-Fi в режим клієнта. Також треба встановити ssid та пароль від мережі, і виконати під'єднання WiFi.begin(ssid, password).

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Програмна реалізація

3.1.1 Сенсори

Для програмування плат Arduino використовувалося ПЗ Arduino IDE [15].
Усі плати та мікроконтролери програмувалися мовою C [16] (рис. 3.1).

```
void setup() {  
  // join I2C bus (I2Cdev library doesn't do this automatically)  
  #if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE  
    Wire.begin();  
    Wire.setClock(400000); // 400kHz I2C clock. Comment this line if having compilation difficulties  
  #elif I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_BUILTIN_FASTWIRE  
    Fastwire::setup(400, true);  
  #endif  
}
```

Рисунок 3.1 – Фрагмент коду блоку ініціалізації контролера

3.1.2 Інтерфейс

При створенні інтерфейсу між сенсорами та ПК насамперед хотілося досягнути простоти використання, швидкості роботи, а також кросплатформеності.

Тому було вирішено розробляти всю основну архітектуру системи мовою C++ [9] (рис. 3.2) для того, щоб досягти максимально можливої швидкості роботи.

```
4 Sensor::Sensor()  
5 {  
6     name = "Empty";  
7     quaternion = *new Quaternion();  
8     serialPort.setBaudRate(QSerialPort::Baud115200);  
9     serialPort.setDataBits(QSerialPort::Data8);  
10    serialPort.setParity(QSerialPort::NoParity);  
11    serialPort.setStopBits(QSerialPort::OneStop);  
12    serialPort.setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);  
13 }
```

Рисунок 3.2 – Фрагмент вихідного коду інтерфейсу

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Чарковський Д.				Лім.	Арк.
Керівник.		Баран І.О.					Аркушів
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.							
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-43	

Для того, щоб система працювала на всіх відомих ОС та нею можна було легко користуватися використовувався кросплатформений фреймворк Qt [17] для розробки ПЗ мовою програмування C++.

3.2 Архітектура системи

На рис. 3.3 зображено архітектуру роботи системи.

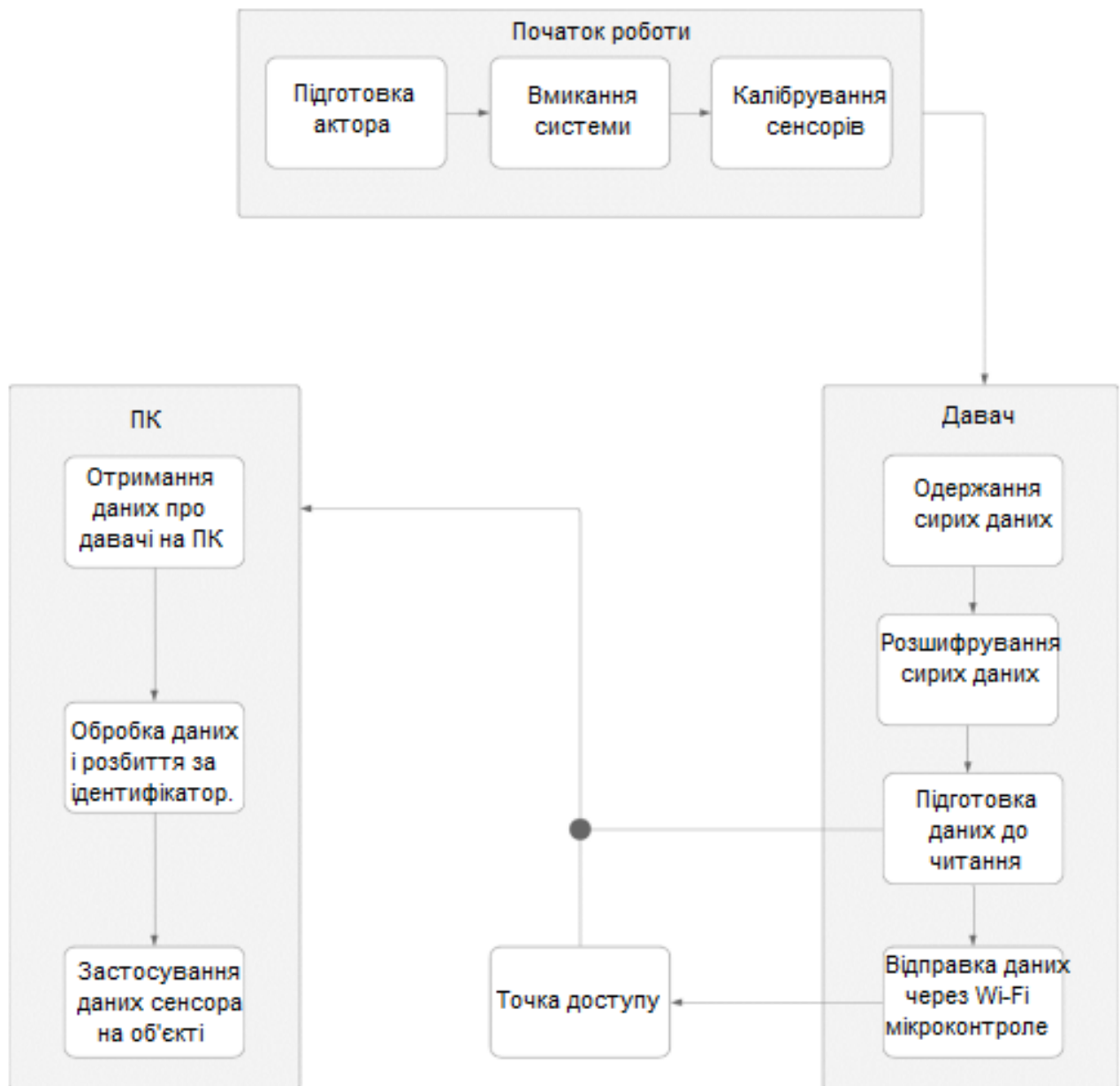


Рисунок 3.3 – Архітектура роботи системи

Початок роботи:

- підготовка актора та костюма;
- включення системи костюма, давачі та сенсори;
- налаштування та калібрування сенсорів.

Обмін інформацією:

- сенсор отримує сирі дані;
- плата Arduino Nano розшифровує сирі дані;
- підготовка розшифрованих даних у єдиний формат, готовий до читання 3D програмою;
- надсилання даних безпосередньо через COM порт;
- надсилання даних через мікроконтролер ESP8266 в точку доступу;
- отримання комп'ютерів стека сенсорів;
- сортування даних;
- застосування даних на 3D моделі;
- перехід до першого пункту;
- і т.д. по колу.

При обміні інформацією потрібно обчислити кути повороту на акселерометрі. Дані кутів зчитуються з акселерометра та обробляються (див. рис. 3.4). Quaternion - система гіперкомплексних чисел, що формує векторний простір розмірністю чотири над полем дійсних чисел, та підготовляються до відправки на головній платі.

```
// check for overflow (this should never happen unless our code is too inefficient)
if ((mpuIntStatus & _BV(MPU6050_INTERRUPT_FIFO_OFLOW_BIT)) || fifoCount >= 1024) {
  // reset so we can continue cleanly
  mpu.resetFIFO();
  fifoCount = mpu.getFIFOCount();
  Serial.println(F("FIFO overflow!"));

  // otherwise, check for DMP data ready interrupt (this should happen frequently)
} else if (mpuIntStatus & _BV(MPU6050_INTERRUPT_DMP_INT_BIT)) {
  // wait for correct available data length, should be a VERY short wait
  while (fifoCount < packetSize) fifoCount = mpu.getFIFOCount();

  // read a packet from FIFO
  mpu.getFIFOBytes(fifoBuffer, packetSize);

  // track FIFO count here in case there is > 1 packet available
  // (this lets us immediately read more without waiting for an interrupt)
  fifoCount -= packetSize;
```

Рисунок 3.4 – Блок коду обробки даних акселерометра

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Після запуску контролера необхідно запустити калібрування сенсора, перед цим необхідно, щоб актор став у Т- позу (див. рис. 3.5). Це буде точкою орієнтиру для аніматорів та моделерів. Після цього можна розпочати передачу інформації.



Рисунок 3.5 – Т-поза

Оброблені дані надсилаються через WiFi мікроконтролер або можлива передача даних через локальний порт (див. рис. 3.6). Дані через локальний порт відправлятимуться у вигляді рядка: $[x, y, z, w]$, де (x, y, z, w) - дійсні числа. Через WiFi відправляються у вигляді рядка: $[ID, x, y, z, w]$, де ID – це ідентифікатор сенсора, (x, y, z, w) – дійсні числа.

```
#ifdef OUTPUT_READABLE_QUATERNION
// display quaternion values in easy matrix form: w x y z
mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
Serial.print("quat\t");
Serial.print(q.w);
Serial.print("\t");
Serial.print(q.x);
Serial.print("\t");
Serial.print(q.y);
Serial.print("\t");
Serial.println(q.z);
#endif
```

Рисунок 3.6 – Блок коду передачі даних через локальний порт

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані передаються на точку доступу. Користувач зчитує дані з точки доступу або локального порту за допомогою бібліотеки (див. рис. 3.7).

```
5 int main(int argc, char *argv[])
6 {
7     QCoreApplication a(argc, argv);
8
9     const auto info = Sensor::GetLocalPortNames();
10    Sensor sensor;
11    sensor.ConnnetLocalSensor(info[2]);
12    qDebug() << sensor.GetName();
13    qDebug() << sensor.SensorIsConnectedToLocal();
14    while (sensor.SensorIsConnectedToLocal()) {
15        Quaternion q = sensor.GetSensorData();
16        qDebug() << q.GetX();
17    }
18
19    return a.exec();
20 }
```

Рисунок 3.7 – Приклад використання бібліотеки

3.3 Робота сенсорів

Обробляємо отримані дані щодо ID сенсорів. Використовує ці отримані дані.

На рис. 3.8 наведено прототип сенсора.

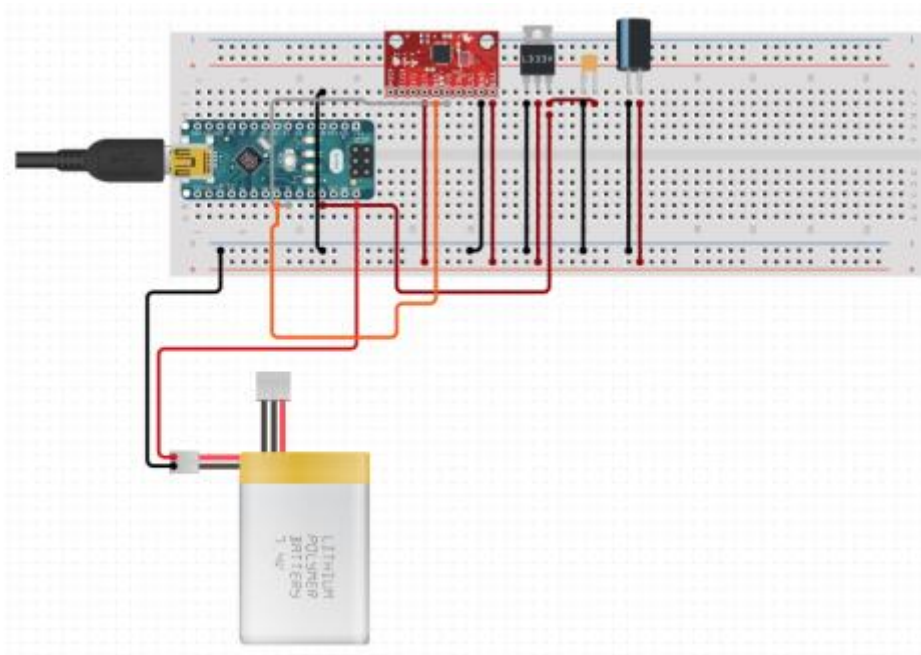


Рисунок 3.9 – Прототип сенсора

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Перед початком обробки обертань на тілі актора необхідно відкалібрувати кожен сенсор, для досягнення максимальної точності при виконанні обчислень. Для кожної осі та параметру давач видає 16-бітне знакове значення від -32768 до 32767. При стандартних налаштуваннях це значення відображає прискорення у діапазоні -9.82 м/с. Кутова швидкість в діапазоні від -250 до 250.

Калібрування необхідне для акселерометра та гіроскопа. Калібрування акселерометра дозволяє виставити «нуль» для вектора сили тяжіння, а калібрування гіроскопа зменшує його «дрифт», тобто статичне відхилення в режимі спокою. Ідеально відкалібрований і лежачий горизонтально сенсор повинен показувати прискорення ~ 16384 по осі Z та нулі по всіх інших осях прискорення та кутової швидкості.

Відкалібрувати давач можна за допомогою бібліотеки. Калібрує довго, але максимально точно. При малих вібраціях та рухах давача в процесі калібрування (навіть від гучного звуку) калібрування може не закінчитись.

Для отримання кутів із показань акселерометра та гіроскопа є три основних способи:

- фільтрування за допомогою фільтра Калмана;
- фільтрування за допомогою комплементарного фільтра;
- визначення кутів за допомогою вбудованого давача DMP.

З усіх трьох найкращий результат дає вбудований процесор, на його фоні фільтри Калман та комплементарні можна навіть не розглядати, вони практично не працюють. Спосіб через DMP займає багато пам'яті 12212 байт Flash і 541 байт оперативної пам'яті, а також сама функція порівняно довго виконується приблизно 4.5 мілісекунди.

3.4 Плагін

Для зручної роботи із системою було вирішено написати плагін для популярного ігрового рушія Unity. Основний нахил робився на простоту

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання, щоб користувач міг налаштувати та використовувати систему без застосування або написання додаткового коду.

Рушій Unity на сьогоднішній день є одним із найпопулярніших і використовуваних ігрових рушіїв. Для зручної роботи з цією системою був написано спеціальний редактор (див. рис. 3.10). Він є розширення редактора Unity [18]. За допомогою даного плагіна можна легко використовувати цю систему, додавати необмежену кількість сенсорів, налаштовувати частоту кожного з них, а також використовувати різні типи обробки: локальну та бездротову.

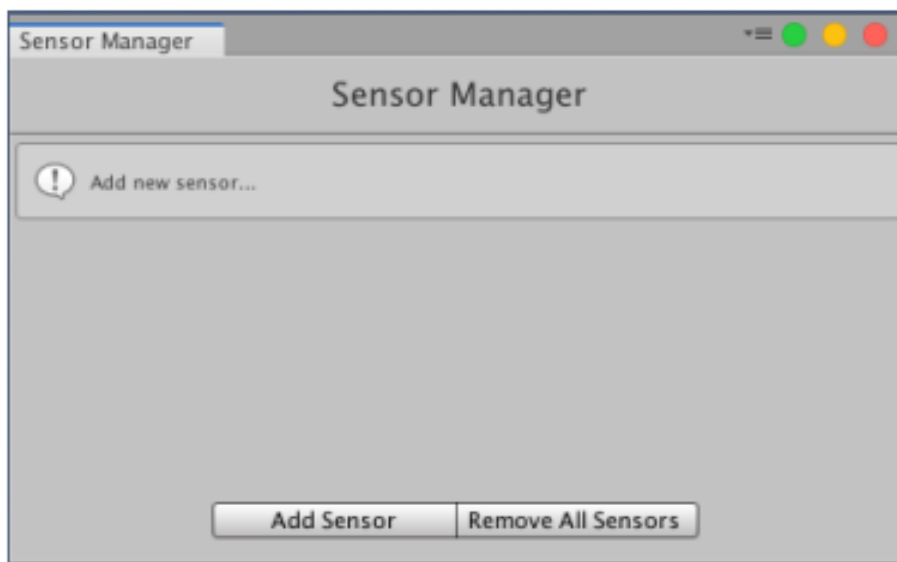


Рисунок 3.10 – Інтерфейс плагіна для Unity

Інтерфейс. За допомогою кнопки "Add Sensor" можна додати новий сенсор. Для того, щоб видалити всі наявні сенсори, потрібно натиснути кнопку "Remove All Sensors" (див. рис. 3.11).

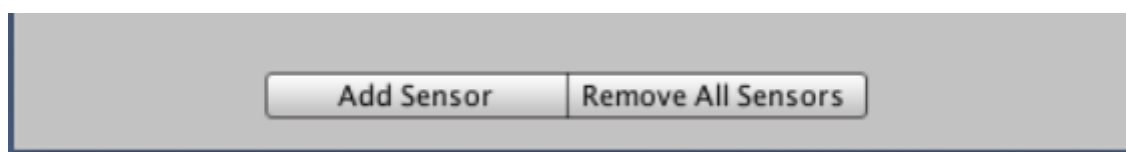


Рисунок 3.11 – Кнопки додавання та видалення сенсорів

Після додавання сенсора його потрібно налаштувати, для цього його треба розгорнути, натиснувши на його назві (див. рис. 3.12).

Варто навести пояснення основних полів налаштування.

Type - тип передачі даних (локальний або бездротовий), за замовчуванням локальний.

Local Port - локальний порт, яким підключений даний сенсор (ця опція доступна лише за виборі локальної передачі даних).

Transform - об'єкт/кістка, на яку будуть застосовані обчислення даного сенсора.

Sensitivity - чутливість даного сенсора.

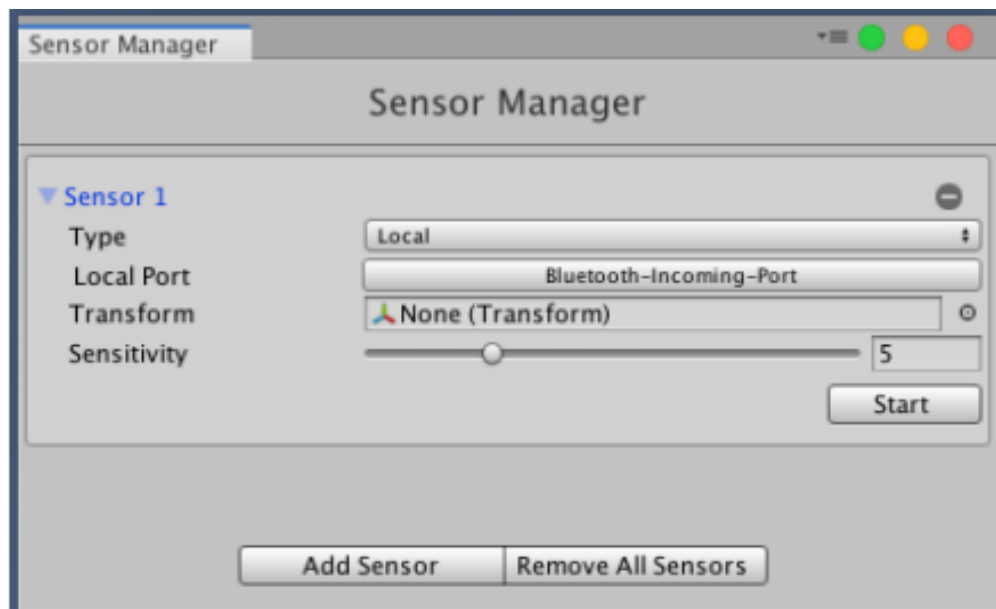


Рисунок 3.12 – Налаштування сенсора

Інтеграція. Для того щоб почати використовувати цей плагін його необхідно встановити в рушій.

Для цього спочатку потрібно відкрити меню та натиснути на кнопку імпорт сторонніх пакетів (див. рис. 3.13).

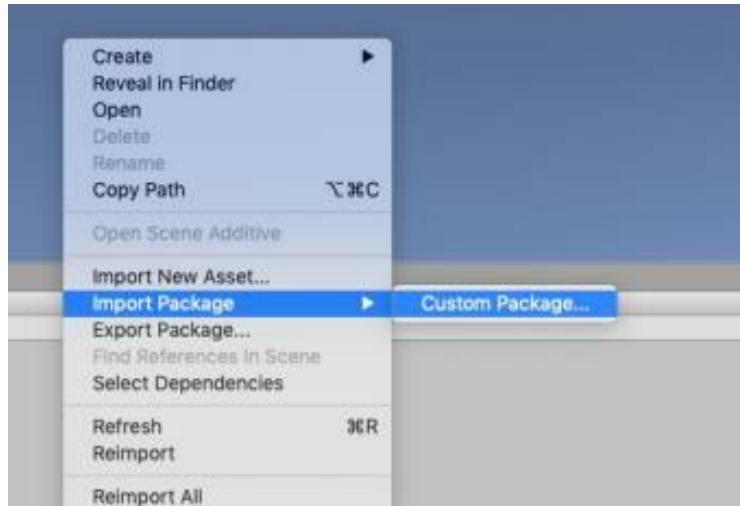


Рисунок 3.13 – Кнопка імпортування сторонніх пакетів

Після чого знайти пакет, вибрати його та натиснути кнопку відкрити (див. рис. 3.14).

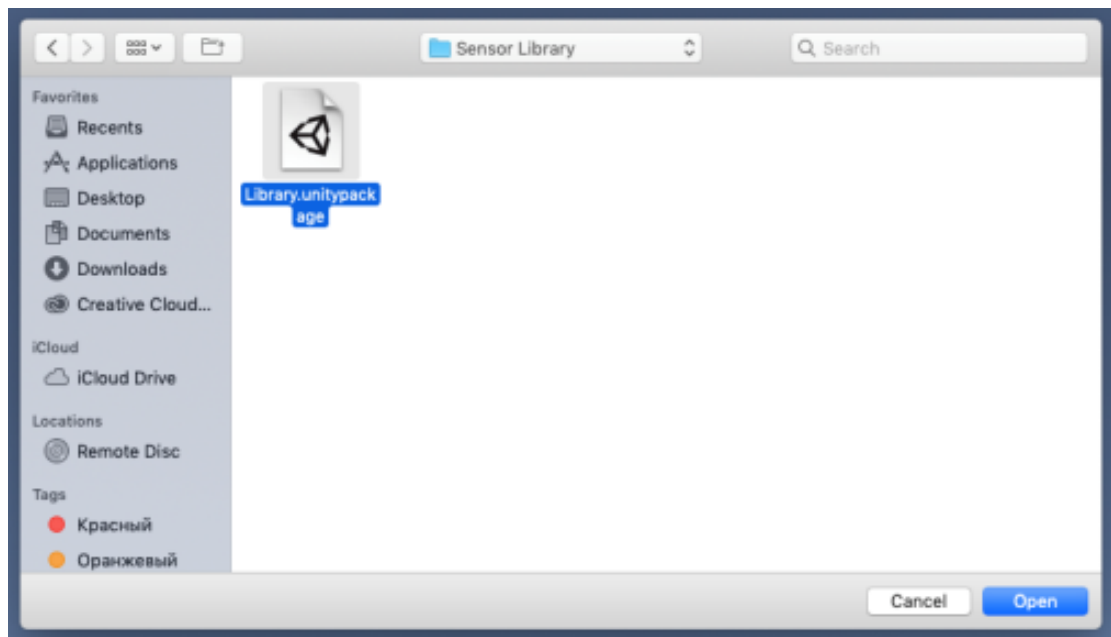


Рисунок 3.14 – Файл пакету

Також після імпорту пакета необхідно змінити рівень сумісності рушія на ".Net 4.0". Для цього треба відкрити налаштування проекту "Player", знайти там поле "Api Compatibility Level" та вибрати тип на ".Net 4.0" (рис. 3.15).

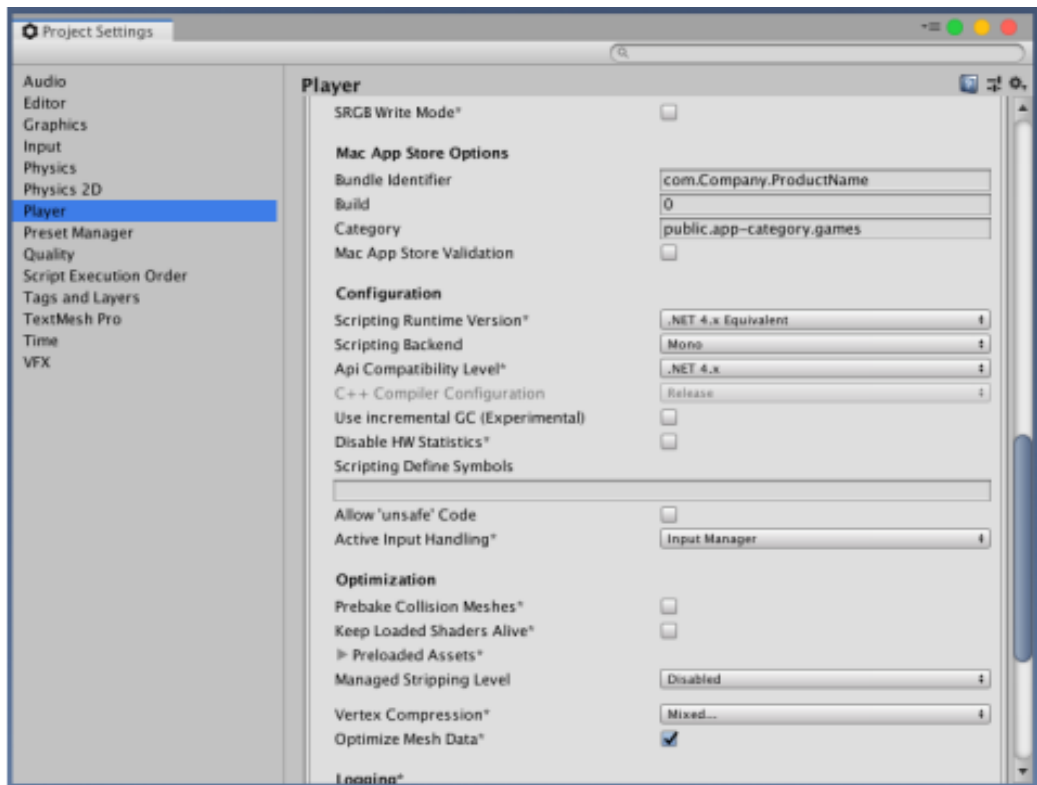


Рисунок 3.15 – Налаштування проекту рушія Unity

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Стихійні лиха та їх класифікація

Стихійні дії сил природи, поки що не повною мірою підвладні людині та щорічно завдають державі і населенню величезних збитків. Стихійні лиха - це такі явища природи, що викликають екстремальні ситуації, порушують нормальну життєдіяльність населення, роботу безлічі об'єктів. Стихійні лиха є трагедією для будь-якої держави. Через стихійні лиха страждає економіка країни, бо при цьому руйнуються виробничі підприємства, знищуються матеріальні цінності, гинуть люди.

Стихійні лиха - небезпечні природні явища, як правило раптового походження, хоча іноді і прогнозовані за допомогою метеорології, але на інтенсивність яких люди впливати не можуть. Їх можна класифікувати: за швидкістю переміщення - землетруси, зсуви, цунамі, снігопади, ожеледі - швидкі; підвищення рівня води в ріках через інтенсивні опади або танення снігу, льоду (повіні), звільнення внутрішньої енергії Землі, виверження вулканів - повільні. Часто виникають потужні, високошвидкісні потоки повітря через швидкий перепад значень атмосферного тиску (урагани, смерчі, циклони). Стихійні лиха речовинного характеру можуть ініціювати виникнення різноманітних полів, які негативно впливають на здоров'я, самопочуття людини. [19].

Стихійні явища часто виникають в комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища визначаються трьома основними групами процесів - ендогенні, екзогенні та гідрометеорологічні. Стихійні лиха, які характерні для України, за структурою можна поділити на прості, що включають один елемент – наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Чарковський Д.				<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник.</i>		Баран І.О.						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-43		

та складні. Вони складаються з декількох процесів однієї групи або кількох груп. Найбільші збитки спричиняють повені - 40%, на другому місці - циклони (20%), на третьому - посухи та землетруси (15%). Деякі стихійні лиха (пожежі, обвали, зсуви і навіть землетруси) можуть виникати в результаті дій самих людей, тобто мають антропогенне походження, але наслідки їх завжди є діями сил природи. Для кожного стихійного лиха характерна наявність властивих йому вражаючих чинників, що несприятливо впливають на стан здоров'я, життя людини [20].

Причинами стихійних лих можуть бути:

- швидке переміщення речовини (землетрусу, зсуви);
- вивільнення внутріземної енергії (вулканічна діяльність, землетруси);
- підвищення рівня вод річок, ставків і морів (повені, цунамі);
- вплив надзвичайно сильного вітру (урагани, торнадо, циклони).

Важливо своєчасно провести роботи, спрямовані на локалізацію природного лиха, щоб зменшити зони руйнувань, звести до мінімуму кількість загиблих та постраждалих.

В Україні найчастіше спостерігаються такі надзвичайні ситуації природного характеру:

- небезпечні геологічні явища (зсуви, обвали, осипки, просадки земної поверхні);
- небезпечні метеорологічні явища (зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь);
- небезпечні гідрологічні явища (повені, паводки);
- природні пожежі лісових та торф'яних масивів;
- масові інфекції та хвороби людей, тварин, рослин.

В останні роки кількість стихійних лих в Україні та в світі в цілому значно збільшилася. Найчастіше в Україні виникають такі природні катастрофи як землетруси, повені, посухи (на Півдні України), лісові пожежі в літню пору року, снігові замети, зсуви поверхні.

Є серйозні підстави вважати, що масштабність впливу лиха й катастроф на соціальні, економічні, політичні та інших процесів сучасного нашого суспільства

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та їх драматизм вже перевищили такий рівень, який дозволяв ставитися до них як до локальних збоїв у розміреному функціонуванні державних та громадських структур [20].

Отже, перед людиною та громадськістю в ХХІ в. вимальовується нова мета - глобальна безпека. Досягти цього можна, в першу чергу, за допомогою зміни світогляду людини, а також покращення системи профілактичних заходів у боротьбі зі стихійними лихами, а саме: вдосконалення рятувальних служб та рятувальної техніки, проведення попереджувальних заходів та пропагандистської роботи з громадянами щодо правил поведінки та дій під час стихійних лих. Це допоможе в майбутньому зменшити кількість загиблих та постраждалих від природних катастроф, а також зменшить матеріальні збитки, що були завдані стихійним лихом.

Природні лиха з часом нікуди не зникнуть. Будуть виникати землетруси в геологічно активних районах, будуть виникати повені, а штормові припливи стануть, раз у раз затопляти морські узбережжя, не обійдеться і пожеж. Людина безсила запобігти природним процесам, але тільки в наших силах зменшити кількість жертв і матеріальних втрат.

4.2 Соціальне значення охорони праці

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань [21].

Соціальне значення охорони праці проявляється в зростанні продуктивності праці, збереженні трудових ресурсів і збільшенні сукупного національного продукту.

Охорона праці полягає в сприянні росту ефективності виробництва, яке досягається шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зростання продуктивності праці відбувається в результаті збільшення фонду робочого часу завдяки скороченню внутрішньо-змінних простоїв шляхом ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасного стомлення шляхом раціоналізації і покращення умов праці та введенню оптимальних режимів праці і відпочинку та інших заходів, які сприяють підвищенню ефективності використання робочого часу.

Важливим питанням є зростання продуктивності праці, яка відбувається в результаті збільшення фонду робочого часу завдяки скороченню внутрішньозмінних простоїв шляхом ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасного стомлення шляхом раціоналізації і покращення умов праці та введенню оптимальних режимів праці і відпочинку та інших заходів, які сприяють підвищенню ефективності використання робочого часу [21].

Особливої уваги заслуговує те, що збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я і подовженню середньої тривалості життя шляхом покращення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю і підвищенням виробничого стажу. Підвищується професійний рівень також завдяки зростанню кваліфікації і майстерності. Відповідно і збільшення сукупного національного продукту відбувається завдяки покращенню вищеперелічених показників та їх складових компонентів [19].

Збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я і подовженню середньої тривалості життя шляхом покращення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю і підвищенням виробничого стажу. Підвищується професійний рівень також завдяки зростанню кваліфікації і майстерності.

Збільшення сукупного національного продукту відбувається завдяки покращенню вищеперелічених показників та їх складових компонентів. Крім

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

того, соціальне значення охорони праці проявляється в зростанні продуктивності праці, збереженні трудових ресурсів.

За даними досліджень, комплекс заходів з поліпшення умов праці може забезпечити приріст продуктивності праці на 15-20%. Так, нормалізація освітлення робочих місць збільшує продуктивність праці на 6-13% та скорочує брак на 25%. Рациональна організація робочого місця підвищує продуктивність праці на 21%, раціональне фарбування робочих приміщень – на 25%.

Збільшення ефективного фонду робочого часу може бути досягнуто за рахунок скорочення тимчасової непрацездатності працівників внаслідок хвороб та виробничого травматизму.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи були досягнуті наступні результати:

- вивчені особливості існуючих систем ЗР;
- проведено аналіз доступної компонентної бази для реалізації апаратної частини системи;
- розроблено підхід до «запису руху»;
- спроектовано архітектуру роботи сенсора, котрий записує кути положень суглобів;
- спроектовано архітектуру роботи системи;
- розроблено алгоритм калібрування сенсора.
- створено плагін для рушія Unity для роботи з системою.

В результаті було реалізовано пілотне рішення бездротової системи ЗР інерційного типу. Таким чином мета дослідження досягнута.

Однак, залишилося невирішеним багато питань, які логічно було продовжити в рамках наступного наукового дослідження. Зокрема, залишилися невирішеними завдання створення окремого ПЗ для тонкої роботи з сенсорами та запису анімації форматі FBX з подальшим експортом у загальноприйнятий формат, з можливістю використання даного формату у всіх відомих 3d редакторах.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Moeslund T.B., Hilton A., Kruger V. A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. // *Computer Vision and Image Understanding*, 2006. – Vol.104, pp. 90–126.
2. L. Bai, M. G. Pepper, Y. Yana, S. K. Spurgeon, and M. Sakel, “Application of low cost inertial sensors to human motion analysis,” *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, pp. 1280 – 1285.
3. J. V. D. Linden, E. Schoonderwaldt, J. Bird, and R. Johnson, “MusicJacket-Combining Motion Capture and Vibrotactile Feedback to Teach Violin Bowing,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 1, pp. 104–113.
4. K. D. Nguyen, I.-M. Chen, Z. Luo, S. H. Yeo, and H.-L. Duh, “A wearable sensing system for tracking and monitoring of functional arm movement,” *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, vol. 16, no. 2, pp. 213 – 220.
5. Официальный сайт OptiTrack - Motion Capture Systems. URL: <https://optitrack.com/> (дата звернення 03.05.2022).
6. Официальный сайт Phasespace - Motion Capture Systems. URL: <https://www.phasespace.com/> (дата звернення 03.05.2022).
7. Официальный сайт Xsense - Motion Capture. URL: <https://www.xsens.com/> (дата звернення 01.05.2022).
8. Официальный сайт Cubic Motion - Motion Capture Systems. URL: <https://cubicmotion.com/> (дата обр звернення ащения 13.04.2022).
9. Страуструп, Б. Программирование. Принципы и практика с использованием C++. 2016. 1328 с.
10. Характеристики Arduino Nano URL: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano> (дата звернення 17.04.2022).
11. Джереми Блум. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. 2015. 337 с.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

12. Характеристики MPU-6050. URL: <https://www.sunrom.com/p/gyro-accelerometer-sensor-3-axis-based-on-mpu6050> (дата звернення 17.04.2022).
13. Характеристики ESP8266. URL: <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview> (дата звернення 20.04.2022).
14. Документація Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/> (дата звернення: 21.04.2022).
15. Монк С. Програмуємо Arduino. Професійна робота со скетчами. 2017. 879 с.
16. Жюльєн Б. C Programming for Arduino, 2013. 512 с.
17. Документація Qt. URL: <https://doc.qt.io/> (дата звернення: 11.05.2022).
18. Джозеф Х. Unity в дійстві. Мультиплатформенна розробка на C#. 2016. 352 с.
19. Стеблюк М.І. Цивільна оборона: Підручник. Знання, 2006. 487 с.
20. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.
21. Основи охорони праці: Підручник.; 3-тє видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. К.: Основа, 2011. 480 с.

					КС КРБ 123.236.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ___ ” _____ 2022 р

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАХОПЛЕННЯ РУХУ ЛЮДИНИ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 9 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІс-43

_____ к.т.н., доц. Баран І.О.

_____ Чарковський Д.Р.

« ___ » _____ 2022 р.

« ___ » _____ 2022 р.

Тернопіль 2022

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система захоплення руху людини».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.236.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІс-43, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Чарковський Дмитро Русланович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/7-180 від 23.03.2022 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 23.03.2022 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2022 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ГОСТ, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система захоплення руху людини є системою інерційного типу з бездротовою передачею інформації

До складу комп'ютеризованої системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна. У кваліфікаційній роботі бакалавра необхідно виконати аналіз існуючих технологій з визначенням ефективного підходу до розробки; проаналізувати доступні складові компонентної бази для реалізації апаратної частини; запропонувати спеціалізований підхід запису руху; спроектувати архітектуру роботи сенсора, котрий записує кути положень суглобів; розробити відповідне ПЗ.

Доцільність створення системи полягає у її доступності, що дозволяє використовувати її, а навіть невелика команда розробки дасть змогу покращити якість кінцевого продукту.

2.2 Мета створення системи

Основна мета проектування комп'ютеризованої системи захоплення руху людини полягає в створення недорогої системи захоплення руху інерційного типу бездротовим способом.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати існуючі технології з визначенням ефективного підходу до розробки;
- провести аналіз доступної компонентної бази для реалізації апаратної частини;
- запропонувати спеціалізований підхід запису руху;
- спроектувати архітектуру роботи сенсора, котрий записує кути положень суглобів;
- розробити відповідне ПЗ.

2.3 Характеристика об'єкту

2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Комп'ютеризована система захоплення руху людини може використовуватись для побудови анімації на основі руху об'єктів реального світу

При проектуванні складових системи, необхідно проаналізувати предметну область. Найбільш коректні дані про рух людини передає векторна модель руху, оскільки формально вона складається із співвідношення між основними вузлами тіла людини, що оточує простір з урахуванням характеристик людини та даних про координати цих вузлів щодо простору.

Потрібно проаналізувати існуючі технології для визначенням ефективного способу розробки, для реалізації апаратної частини проведено аналіз елементної бази. Запропоновано спеціалізований підхід запису руху. Спроектувати спеціалізовану архітектуру роботи сенсора, котрий записує кути положень суглобів. З використанням мови програмування C++ розробити відповідне ПЗ. Створити плагін для ігрового рушія Unity для роботи з розробленою комп'ютеризованою системою.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система захоплення руху людини повинна простоту функціонування і доступність передачі даних на персональний комп'ютер для подальшого їх опрацювання. В цілому, у проєктованій системі повинні бути забезпечені:

- надійність роботи апаратної частини;
- точність визначення захоплення руху;
- продуктивність роботи програмного забезпечення;
- паралельний доступ до бази даних різними користувачами;
- розмежування прав доступу до бази даних;
- часова ефективність та ефективність використання ресурсів комп'ютеризованої системи;
- надання зручного користувацького інтерфейсу для роботи з відповідним програмно-апаратним забезпеченням.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

До структури та функціонування комп'ютеризованої системи захоплення руху людини входять:

- Arduino Nano;
- акселерометр MPU 6050;
- мікроконтролер ESP8266;
- сервер баз даних;
- клієнтська частина, що забезпечує зв'язок між користувачами та базою даних.

В цілому, концептуальна модель комп'ютерної системи повинна відображати предметну область, а саме процес захоплення руху, а також процес передавання інформації. Клієнтська частина програмного забезпечення відповідає за можливості обліку даних та забезпечення їх захисту.

Функціональні вимоги, що висуваються до комп'ютерної системи, виглядають наступним чином:

- можливість зчитування та запису даних;
- можливість вводу, редагування та знищення даних;

- можливість запобігання неавторизованому доступу (логічного);
- можливість керування правами доступу до інформаційних ресурсів;
- розподіл прав доступу;
- масштабованість програмної та апаратної складових системи.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Взаємодія базується отриманні сенсором сирих даних, які в подальшому розшифровує Arduino. Проводиться підготовка розшифрованих даних у єдиний формат, готовий до читання 3D програмою, відбувається надсилання даних безпосередньо через COM порт та через мікроконтролер ESP8266 в точку доступу. Отримання комп'ютерів стека сенсорів та сортування даних на 3D моделі. Протокол передачі інформації, який при цьому використовується – TCP/IP. Загалом, структура та архітектурне рішення при проектуванні комп'ютеризованої системи відповідає архітектурі «клієнт-сервер».

3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика комп'ютеризованої системи захоплення руху людини відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

3.1.4 Перспективи розвитку системи

Перспективами розвитку комп'ютеризованої системи захоплення руху людини є вирішення завдання створення окремого програмного забезпечення для тонкої роботи з сенсорами та запису анімації форматі FBX з подальшим експортом у загальноприйнятий формат, з можливістю використання даного формату у всіх відомих 3D- редакторах.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Комп'ютеризована система захоплення руху людини повинна бути захищена на кількох рівнях: логічному, операційної системи та на рівні доступу до бази даних. Логічний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до системи через пароль та розмежування прав доступу.

На рівні операційної системи повинен бути організований доступ на основі визначених прав доступу до використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Доступ до інформації, що зберігається у базі даних, повинен бути авторизованим на рівні системи керування базами даних. Лише користувачі з наділеним правом доступу та адміністратори мають можливість вносити зміни у базу даних в межах їхньої компетенції.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізовувати комп'ютеризована система захоплення руху людини полягають в наступному:

- можливість навчання на зображеннях;
- забезпечення зв'язку клієнтської частини з базою даних;
- надання точних та адекватних результатів на запит користувачів;
- забезпечення часової ефективності роботи системи;
- забезпечення контролю над доступом до інформації;
- забезпечення зручності використання програмного продукту;
- формування статистики відвідуваності та можливості фільтрування даних;

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

- процесор – 2,2 ГГц або більш потужний з кількістю логічних ядер >8;
- RAM – 16 ГБ або більше;
- об'єм дискового простору – 1 Тб.

3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

Мова програмування C++; середовище програмування Arduino IDE; ігровий рушій Unity 3D

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - 1 Типи підходів зняття руху.
 - 2 Апаратна реалізація розробки.
 - 3 Архітектура роботи системи.
 - 4 Лістинги фрагментів програмного коду.
 - 5 Плагін для популярного ігрового рушія Unity.

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість комп'ютеризованої системи захоплення руху людини повинна становити не більше 80 000 грн.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	24.03-29.03.2022
2	Аналіз технічного завдання	30.03-03.04.2022
3	Аналіз існуючих рішень організації комп'ютеризованої системи захоплення руху людини	04.04-18.04.2022
4	Проектування схеми комп'ютерної системи	19.04-04.05.2022
5	Обґрунтування вибору апаратного забезпечення комп'ютерної системи	
6	Проектування та реалізація програмного забезпечення комп'ютерної системи	05.05-10.05.2022
8	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	26.05-04.06.2022
9	Оформлення кваліфікаційної роботи	09.06-13.06.2022
11	Попередній захист кваліфікаційної роботи	18.06-20.06.2022
11	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2022

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.