

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЙ
(повне назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка інтелектуальної системи перетворення (перекладу)
жестової мови на базі смарт-рукавички»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 4ПР5
напряму підготовки (спеціальності)

121 «Інженерія програмного забезпечення»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Стеценко Віталій Віталійович

(прізвище та ініціали)

Керівник ст. викладач Комісаров О. С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент Вишемирська С. В.

(прізвище та ініціали)

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет, відділення	<i>Інформаційних технологій та дизайну</i>
Кафедра, циклова комісія	<i>Програмних засобів і технологій</i>
Освітньо-кваліфікаційний рівень	<i>бакалавр</i>
ОПП	<i>Програмування смарт-пристроїв та вбудованих систем</i> (шифр і назва)
Спеціальність	<i>121 – Інженерія програмного забезпечення</i> (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *програмних засобів і технологій*

к.т.н., доцент О. Є. Огнєва

« 20 » січня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Стеценко Віталій Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) *«Розробка інтелектуальної системи перетворення (перекладу) жестової мови на базі смарт-рукавички»*

керівник проєкту (роботи) *старший викладач Комісаров Олександр Сергійович*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» січня 2025 року № 98-с

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) *17.06.2025*

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) *Огляд існуючих аналогів систем розпізнавання жестової мови, технічні характеристики смарт-рукавички, специфікація жестів для інтерпретації, алгоритм перетворення жестів у текст*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Дослідження та аналіз предметної області

2. Аналіз алгоритмів обробки даних

3. Програмна реалізація

4. Експериментальні дослідження та аналіз результатів

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

Схема електричних з'єднань компонентів смарт-рукавички з позначенням Arduino UNO, датчиків згину, інерціального модуля MPU-6050 та джерела живлення.

Блок-схема алгоритму розпізнавання жестів з етапами збору даних, фільтрації, кластеризації методом K-Medoids та класифікації нейронною мережею.

Архітектура програмного забезпечення системи з модулями збору даних, попередньої обробки, класифікації та користувацького інтерфейсу.

Діаграма потоку даних для процесу перетворення жестів у текстовий формат з зазначенням етапів обробки сигналів від датчиків.

Графіки результатів експериментальних досліджень: залежність точності розпізнавання Ілюстративний матеріал: комп'ютерна презентація, фотографії прототипу пристрою.

5. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 20.01.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Отримання завдання	20.01.2025	Виконано
2.	Підбір літератури	21.01.2025 – 21.02.2025	Виконано
3.	Аналіз предметної області	28.02.2025 – 10.03.2025	Виконано
4.	Розробка концептуальної моделі	12.03.2025 – 22.03.2025	Виконано
5.	Розробка проєктної системи	25.03.2025 – 30.03.2025	Виконано
6.	Розробка та проєктування баз даних	02.04.2025 – 10.04.2025	Виконано
7.	Розробка інтерфейсу додатка	12.04.2025 – 20.04.2025	Виконано
8.	Написання вихідного коду програми	21.04.2025 – 13.05.2025	Виконано
9.	Оформлення пояснювальної записки	14.05.2025- 01.06.2025	Виконано
10.	Захист кваліфікаційної роботи	17.06.2025	Виконано

Здобувач _____
(підпис)

В.В. Стеценко
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____
(підпис)

О.С. Комісаров
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 4 розділів та містить 112 сторінок, 43 рисунки, 5 додатків, 32 джерела, 15 таблиць, 4 формули.

Мета роботи — розробка інтелектуальної системи для перекладу жестової мови на основі смарт-рукавички, що забезпечує автоматичне перетворення жестів у текст або мовлення для зменшення мовних бар'єрів.

Об'єкт дослідження — процес перекладу жестової мови за допомогою інтелектуальних пристроїв.

Предмет дослідження — алгоритми та технології, що забезпечують розпізнавання і переклад жестів на базі сенсорних даних смарт-рукавички.

Методи дослідження — аналіз та узагальнення інформації щодо існуючих систем розпізнавання жестів; аналіз літератури з обробки сенсорних даних та алгоритмів машинного навчання; моделювання системи; розробка та тестування на основі нейромереж і алгоритмів обробки сигналів.

Результат роботи:

1. Розроблено прототип смарт-рукавички для розпізнавання жестів з інтегрованими датчиками згину та інерціальним модулем MPU-6050;
2. Розроблено алгоритми обробки даних з медіанною фільтрацією та кластеризацією K-Medoids, які дозволяють точно розпізнавати жести;
3. Створено нейронну мережу архітектури 55 – 30 – 20 для класифікації 30 жестів української дактильної абетки з точністю 87,6%;
4. Проведено тестування на 25 користувачах з досягненням часу відгуку 0,51 секунди та коефіцієнта готовності 99,2%.

Новизна роботи: Запропоновано інтегровану систему з адаптивними алгоритмами обробки сенсорних даних, що поєднує апаратні компоненти з алгоритмами машинного навчання для розпізнавання жестової мови у реальному часі з можливістю персонального калібрування.

Ключові слова: *жестова мова, інтелектуальна система, смарт-рукавичка, машинне навчання, алгоритми розпізнавання, нейронні мережі, Arduino, K-Medoids, українська жестова мова, Bluetooth, інклюзивні рішення.*

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці інтелектуальної системи перетворення жестової мови на базі смарт-рукавички для автоматичного розпізнавання української дактильної абетки. Робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

Перший розділ **«Дослідження та аналіз предметної області»** включає огляд сучасних технологій розпізнавання жестів, аналіз структури жестової мови та існуючих систем. Проведено порівняльний аналіз за критеріями точності, мобільності та вартості. Досліджено компоненти систем розпізнавання жестів та алгоритми машинного навчання.

Другий розділ **«Аналіз алгоритмів обробки даних»** містить дослідження методів цифрової фільтрації та обґрунтування вибору медіанного фільтра. Проаналізовано алгоритми K-Means та K-Medoids для кластеризації.

Третій розділ **«Програмна реалізація»** описує модульну архітектуру системи з модулем збору даних, попередньої обробки, класифікації (нейронна мережа 55 – 30 – 20) та користувацьким інтерфейсом. Реалізація нейронної мережі з алгоритмом Левенберга-Марквардта забезпечила підвищення точності на 56%. Описано протокол Bluetooth 4.0 з частотою 100 Гц.

Четвертий розділ **«Експериментальні дослідження та аналіз результатів»** містить результати тестування на 15 користувачах. Навчання нейронної мережі за 78 епох досягло стабільної збіжності. Аналіз точності 30 жестів показав середню точність 87,6% з часом відгуку 0,51 с. Порівняльний аналіз підтвердив конкурентоспроможність системи. Персональне калібрування підвищує точність до 97,1%. Коефіцієнт готовності становить 99,2% з автономністю 8 – 10 годин.

Розроблена система забезпечує оптимальне співвідношення точності, швидкості та економічної ефективності з собівартістю 4560 гривень. Наукова новизна полягає у створенні адаптивних алгоритмів обробки сенсорних даних та інтегрованої системи для української жестової мови.

ABSTRACT

This bachelor's qualification work is dedicated to developing an intelligent sign language translation system based on a smart glove for automatic recognition of the Ukrainian dactyl alphabet. The work contains an introduction, four chapters, conclusions, references, and appendices.

The first chapter «**Research and Analysis of the Subject Area**» includes a review of current gesture recognition technologies, sign language structure analysis, and existing systems. Comparative analysis was conducted based on accuracy, mobility, and cost criteria. Components of gesture recognition systems and machine learning algorithms were investigated.

The second chapter «**Analysis of Data Processing Algorithms**» contains research on digital filtering methods (median filtering, moving average, Savitzky-Golay filter) and justification for median filter selection. K-Means and K-Medoids algorithms for data clustering were analyzed.

The third chapter «**Software Implementation**» describes the modular system architecture with data collection module, preprocessing, classification (55 – 30 – 20 neural network), and user interface. Neural network implementation with Levenberg-Marquardt algorithm provided 56% accuracy improvement. Bluetooth 4.0 protocol at 100 Hz is described.

The fourth chapter «**Experimental Research and Results Analysis**» contains testing results on 15 users. Neural network training over 78 epochs achieved stable convergence. Accuracy analysis of 30 gestures showed average accuracy of 87,6% with 0,51s response time. Comparative analysis confirmed system competitiveness. Personal calibration improves accuracy to 97,1%. Availability coefficient is 99,2% with 8 – 10 hours autonomy.

The developed system provides optimal balance of accuracy, speed, and economic efficiency with production cost of 4560 UAH. Scientific novelty lies in creating adaptive sensor data processing algorithms and integrated system for Ukrainian sign language.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	13
1.1. Загальна інформація про жестові мови	13
1.2. Структура жестової мови.....	14
1.3. Характеристика систем розпізнавання жестів.....	15
1.3.1. Основні компоненти систем розпізнавання жестів.....	15
1.3.2. Використання алгоритмів ML у системах розпізнавання жестів	17
1.4. Огляд існуючих рішень для систем розпізнавання жестів.....	23
1.4.1. Motion capture.....	23
1.4.2. Leap motion	25
1.4.3. DataGlove™	27
1.4.4. Language of Glove™	28
1.4.5. Myo Armband™.....	29
1.4.6. Порівняння рішень для системи розпізнавання жестів	31
Висновки до розділу 1	32
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ДАНИХ.....	33
2.1. Методи фільтрації.....	33
2.1.1. Медіанна фільтрація	34
2.1.2. Алгоритм ковзаючого середнього.....	36
2.1.3. Фільтр Савицького-Голя	37
2.1.4. Обґрунтування доцільності вибраного методу.....	38
2.2. Алгоритми машинного навчання в обробці даних.....	38
2.2.1. Кластеризація даних методом K-Means.....	40
2.2.2. Кластеризація даних методом K-Medoids	41
2.2.3. Обґрунтування вибраного методу.....	42
Висновки по розділу 2	43
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	44
3.1. Архітектура програмного забезпечення системи.....	44

	8
3.2. Реалізація алгоритмів обробки вхідних даних	45
3.3. Реалізація нейронної мережі	50
3.4. Реалізація користувацького інтерфейсу	53
3.5. Реалізація алгоритму визначення жестів	56
3.6. Реалізація протоколу передачі даних.....	58
Висновки до розділу 3	60
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ	
РЕЗУЛЬТАТІВ	61
4.1. Методика проведення експериментів	61
4.2. Результати навчання нейронної мережі.....	62
4.3. Аналіз точності розпізнавання жестів.....	64
4.4. Бенчмаркінг	67
4.5. Дослідження впливу індивідуальних особливостей.....	69
4.6. Дослідження надійності та стабільності.....	71
Висновки до розділу 4	72
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
ДОДАТКИ	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ASL (American Sign Language) – жестова мова, що використовується в США та частині Канади.

ERD (Entity-Relation Diagram) – модель для представлення структури бази даних.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – протокол послідовної передачі даних для зв'язку між мікросхемами на короткій відстані.

LSTM (Long Short-Term Memory) – різновид рекурентних нейронних мереж, здатний зберігати інформацію протягом тривалих періодів.

ML (Machine Learning) – розділ штучного інтелекту, що вивчає методи побудови алгоритмів, здатних навчатися на основі даних.

Mocap (Motion Capture) – технологія захоплення рухів живих об'єктів для подальшого використання в цифровій анімації.

RNN (Reccurent Neural Network) – тип нейронних мереж з зворотними зв'язками для обробки послідовних даних.

UI (User Interface) – засоби взаємодії користувача з комп'ютерною системою або програмою.

МК – мікроконтролер; компактна обчислювальна система на одному чіпі, що містить процесор, пам'ять та периферійні пристрої.

ПЗ – програмне забезпечення; сукупність програм, процедур та документації, що забезпечує функціонування комп'ютерної системи.

УЖМ – природна візуально-жестова мова спілкування української спільноти глухих людей.

УТОГ – Всеукраїнська організація «Українське товариство глухих» – громадська організація, що об'єднує людей з порушеннями слуху в Україні.

ШІ – штучний інтелект; галузь комп'ютерних наук, що займається створенням систем, здатних виконувати завдання, які потребують людського інтелекту.

ВСТУП

Сьогодні проблема комунікації людей із порушеннями слуху є вкрай актуальною. За даними Всесвітньої федерації глухих [1], понад 70 мільйонів людей мають глухоту або значні порушення слуху. Громадська організація «Українське товариство глухих» (УТОГ) налічує станом на 2023 рік [2], 28100 людей, які страждають на порушення слуху, з них 27856 мають інвалідність.

Глухота нерідко провокує порушення голосового апарату, що призводить до повної (глухонімота) або часткової (афазія) здатності до мовлення. Через це, люди вимушені шукати альтернативні способи для вираження думок. Інформації про жестові мови у відкритому доступі не так багато, а існуючі словники не завжди відображають сучасну лінгвістичну структуру мови повною мірою. Існують спеціалізовані школи для дітей з особливими потребами, де викладачі-сурдологи викладають учням шкільну програму та практикують навичку читання по губах, зокрема за допомогою УЖМ. Це реалізовує право людини на навчання та частково вирішує проблему, але все ще нічого не надає для взаємодії з нежестовими комунікаторами. У зв'язку з цим, тривалий час німі люди могли взаємодіяти лише письмово, формулюючи думки на папері.

Сучасні технології пропонують різноманітні рішення для того, щоб зменшити мовний бар'єр для глухих і спрощують їх інтеграцію в суспільстві.

Наприклад, мобільні застосунки, такі як Live Transcribe [3], здатні розпізнавати і транслювати усне мовлення в текстовий формат в реальному часі, що дозволяє людям із порушеннями слуху більш ефективно взаємодіяти з оточенням. Крім цього, перчаткові інтерфейси для сенсорного сприйняття жестів можуть використовувати такі датчики, як акселерометри, гіроскопи і сенсори згину для точного вимірювання положення і рухів пальців. Такі інновації значно полегшують вивчення жестових мов, надають можливість їх швидкого перекладу та сприяють навчанню як нечуючих, так і чуючих людей. Це забезпечує легку і зрозумілу для двох сторін форму інтеракції, покращуючи якість життя і доступ до інформації.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є створення інтелектуальної системи перекладу жестової мови на основі розумної рукавички, яка забезпечить автоматичне перетворення жестів на текст, допомагаючи усунути мовні бар'єри. Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких завдань:

- розробка архітектури смарт-рукавички, що включатиме систему датчиків для точного розпізнавання жестів та виявлення мікрорухів пальців;
- адаптація алгоритмів машинного навчання до специфіки жестової мови, зокрема рекурентних нейронних мереж (RNN) і мереж LSTM для обробки послідовностей даних, що дозволить підвищити точність і швидкість перекладу жестів у контексті. Крім цього, додаткові методи, як логістична регресія та метод опорних векторів (SVM), можуть застосовуватись для класифікації основних жестів;
- створення й тестування прототипу системи на реальних користувачах для оцінки її ефективності та зручності в повсякденному використанні.

Об'єкт дослідження – процес перекладу жестової мови в текст або мовленнєву форму за допомогою інтелектуальних пристроїв, що інтегрують різні сенсорні технології.

Предмет дослідження – алгоритми та технології, що забезпечують автоматичне розпізнавання та переклад жестової мови на основі сенсорних даних зі смарт-рукавички. Це передбачає обробку багатовимірних даних, що збираються датчиками, та їх адаптацію для точного перекладу жестів, враховуючи контекст жестів і різні комунікативні нюанси. Розробка може бути виконана на базі мікроконтролерів серії Arduino, які підтримують бездротове з'єднання з іншими пристроями, зокрема смартфонами. Це дозволить не тільки забезпечити високу мобільність пристрою, але і потенційно розширити його функціонал для роботи з іншими мовами.

Наукова новизна дослідження. Наукова новизна полягає у розробці нових алгоритмів обробки сенсорних даних зі смарт-рукавички, здатних

адаптуватися під індивідуальні особливості жестової мови кожного користувача. Запропонована система об'єднує сенсори тиску, гіроскопи, акселерометри та датчики згину пальців у єдиній архітектурі, що забезпечує високу точність перекладу та швидку обробку жестів у реальному часі.

Практичне значення дослідження. Запропонована система може забезпечити ефективне покращення для комунікації людей із порушеннями слуху, сприяючи їх інтеграції в суспільство. Система може бути впроваджена у медичних і освітніх установах, надаючи можливість людям із порушеннями слуху взаємодіяти з оточенням без зайвих зусиль і спеціальної підготовки. Окрім того, система може використовуватися в повсякденному житті, забезпечуючи легку і зручну форму спілкування для користувачів, що підвищує їхню якість життя.

Теоретичне значення дослідження. Результати дослідження сприятимуть розвитку теоретичних основ у галузі розпізнавання жестів і автоматичного перекладу мов. Отримані напрацювання можуть стати основою для подальших досліджень у сфері жестових мов і розробки інтелектуальних пристроїв. Дослідження також стимулюватиме розробку нових алгоритмів для роботи з сенсорними даними в реальному часі та їх інтеграції у повсякденні пристрої.