

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
КАФЕДРА ІНФОРМАТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

Пояснювальна записка
кваліфікаційна робота бакалавра
на тему:

**Кількісна оцінка постінсультної кінематики руху верхньої кінцівки людини
за допомогою Hellinger Distance**

Виконав: студент 4 курсу, групи 4КН
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»
Семенов М.А.

Керівник: к.т.н., доцент Лур'є І.А.

Рецензент: к.т.н., доцент Козел В.М.

Факультет

Кафедра

Рівень вищої освіти

Галузь підготовки

Освітньо - професійна програма

Спеціальність

Інформаційних технологій та дизайну

Інформатики і комп'ютерних наук

другий (магістерський) рівень

12 «Інформаційні технології»

Комп'ютерні науки

122 «Комп'ютерні науки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКН,

професор

_____ В.І. Литвиненко

« ____ » _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Семенова Миколи Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Кількісна оцінка постінсультної кінематики руху верхньої кінцівки людини за допомогою Hellinger Distance

Керівник роботи Лур'є Ірина Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ХНТУ від «15» січня 2024 року №39-с.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали та результати, отримані під час проходження переддипломної практики, методичні вказівки, технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; 1. Інсульт та методи його вимірювання; 2. Теоретичні основи та інструментарій для аналізу кінематичних моделей руху пацієнтів після інсульту; 3. Методологія збору та обробки кінематичних даних про рухи верхніх кінцівок у здорових людей та пацієнтів після інсульту; 4. Побудова кінематичної моделі; Висновок

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

В роботі наведено:

Рисунки - 37

Таблиці - 1

7. Дата видачі завдання 12.02.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та попередня обробка даних з обраних джерел	12.02.2024-21.02.2024	Виконано
2	Оцінка потенційного впливу технологій на реабілітаційні програми після інсульту.	21.02.2024-25.03.2024	Виконано
3	Огляд та порівняння існуючих методів аналізу медичних інформаційних ресурсів.	26.03.2024-28.04.2024	Виконано
4	Обробка та аналіз отриманих даних. Документування результатів	28.04.2024-02.05.2024	Виконано
5	Оцінка застосування методів машинного навчання у контексті дослідження.	22.05.2024-30.05.2024	Виконано
6	Узагальнення всіх отриманих результатів дослідження. Написання звіту.	30.05.2024-05.06.2024	Виконано

Студент _____ Семенов М.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Лур'є І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	6
Анотація	8
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ІНСУЛЬТ ТА МЕТОДИ ЙОГО ВИМІРЮВАННЯ.....	13
1.1. Інсульт та спастичність	13
1.2. Типи інсультів	14
1.2.1. Тромботичний інсульт	14
1.2.2. Емболічний інсульт	15
1.2.3. Геморагічний інсульт	15
1.3. Статистика інсульту в Україні.....	16
1.4. Фактори ризику	17
1.5. Спастичність	17
Висновки до розділу	22
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ КІНЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РУХУ ПАЦІЄНТІВ ПІСЛЯ ІНСУЛЬТУ	23
2.1. Hellinger Distance (Відстань Хеллінгера)	23
2.2. Гаусова Мішана Модель.....	28
2.3. Сім Ступенів Свободи	35
2.4. Інструментарій для створення програмного продукту.....	41
Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЯ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ КІНЕМАТИЧНИХ ДАНИХ ПРО РУХИ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК У ЗДОРОВИХ ЛЮДЕЙ ТА ПАЦІЄНТІВ ПІСЛЯ ІНСУЛЬТУ	45
3.1. Проведення експерименту та обробка даних	45

	5
3.2. Протокол SoftPro	50
Висновки до розділу	56
РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА КІНЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	58
4.1. Набір даних отриманий Цюрихським Університетом UZH.....	58
4.2. Реалізація	60
4.2.1. Data Extraction та побудова кинеметичної моді DOF.....	60
4.2.2. Сегментація.....	65
4.2.3. Масштабування рухів (movement scaling and normalization).....	67
4.2.4. Статистичний аналіз	72
Висновки до розділу	75
ВИСНОВОК.....	78
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТОК 1	87

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Скорочення, термін, позначення	Пояснення
HD	Hellinger Distance – Відстань Хелінгера
GMM	Gaussian Mixture Model – Гаусова Мішана Модель
7-DOF	Seven Degree`s Of Freedom – Сім Ступеней Свободи
PDF	Probability Density Function - Функція (Оцінки) Щільності Ймовірності
ASA	American Stroke Association - Американська Асоціація Інсульту
TI	Тромботичний Інсульт
EI	Емболічний Інсульт
EM	Expectation Maximization - Математичне Сподівання
BIC	Байєсівський інформаційний критерій
AIC	Інформаційний Критерій Акаїке (Akaike)
ВООЗ	Всесвітня Організація Охорони Здоров'я
ВД	Вегетативна Дисрефлексія

FMA	Fugl-Meyer Assessment - Оцінка Фугль-Мейєра
IMU	INERTIAL MEASUREMENT UNIT - Інерційний вимірювальний пристрій
RF	Random Forest (Method) – Метод Випадкового Лісу
UZH	University of Zurich – Цюріхський Університет
VPIT	Virtual Peg Insertion Test – Програма для Віртуального Переміщення Палички
EMG	Electromyography (EMG) – Електроміографія
SNR	Signal-To-Noise Ratio – Співвідношення Сигналу До Шуму

АНОТАЦІЯ

Розуміння складної динаміки поведінки людини є надзвичайно важливим у сфері реабілітації та науки про фізіологію людини, особливо при порівнянні пацієнтів з різними станами здоров'я. Це дослідження “Кількісна оцінка постінсультної кінематики руху верхньої кінцівки людини за допомогою Hellinger Distance” вивчає кінематику верхніх кінцівок, порівнюючи кінетичні моделі рухів здорових людей з тими, хто пережив інсульт.

Інсульт, будучи серйозним порушенням мозкового кровообігу, значно впливає на рухові функції, підкреслюючи необхідність у вдосконалених методологіях для точного кількісного визначення та оцінки змін у рухах верхніх кінцівок, щоб подальші лікування та реабілітація були максимально ефективними.

Наше дослідження має на меті задовольнити цю потребу, використовуючи складні статистичні вимірювання та методи моделювання. Зокрема, ми використовуємо відстань Хеллінгера, відому метрику для вимірювання подібності між розподілами ймовірностей, як ключовий інструмент у цій роботі.

Крім того, для обробки отриманих даних про рухи верхніх кінцівок ми застосуємо мішану модель Гаусса (Gaussian Mixture Model). Ця модель дозволяє виявляти тонкі підгрупи або підкластерів у даних, що додає глибини нашому розумінню різноманітних патернів рухів, які спостерігаються після інсульту.

Для досягнення цієї мети ми розробимо та проаналізуємо кінетичні моделі як для здорових людей, так і для тих, хто пережив інсульт. Ці моделі слугуватимуть основою для порівняння. Головна мета - це виявити відмінності в цих рухах, що дасть змогу зрозуміти не лише безпосередні наслідки інсульту, але й потенційні шляхи реабілітації та покращення моторного відновлення.

Вивчаючи цю тему, використання строгих статистичних методологій і підходів моделювання не тільки поглибить наше розуміння постінсультних рухових патернів, а й додасть цінні знання в галузі реабілітації та неврології.

Abstract

Understanding the complex dynamics of human behaviour is extremely important in the field of rehabilitation and human physiology, especially when comparing patients with different health conditions. This study “Quantitative assessment of post-stroke kinematics of human upper limb movement using Hellinger Distance” investigates upper limb kinematics by comparing the kinetic movement patterns of healthy individuals with those who have suffered a stroke.

Stroke, as a severe cerebrovascular disease, significantly affects motor function, highlighting the need for improved methods to accurately quantify and assess changes in upper limb movement so that subsequent treatment and rehabilitation can be as effective as possible.

Our study aims to address this need by using sophisticated statistical measurement and modelling techniques. In particular, we use Hellinger's distance, a well-known metric for measuring the similarity between probability distributions, as a key tool in this work.

In addition, we apply a Gaussian Mixture Model to process the acquired upper limb motion data. This model allows us to identify subtle subgroups or sub-clusters in the data, which will add depth to our understanding of the diverse movement patterns observed after stroke.

To achieve this goal, we will develop and analyze kinetic models for both healthy individuals and stroke survivors. These models will be used as a basis for comparison. The main aim is to identify differences in these movements, which will allow us to understand not only the immediate effects of stroke, but also potential ways to rehabilitate and improve motor recovery.

By studying this topic, the use of rigorous statistical methods and modelling approaches will not only deepen our understanding of movement patterns after stroke, but will also add valuable knowledge to the field of rehabilitation and neuroscience.

ВСТУП

Інсульт є серйозним медичним станом, який виникає, коли кровопостачання частини мозку порушується. Це призводить до загибелі мозкових клітин через нестачу кисню і поживних речовин. Наслідки інсульту можуть включати параліч, когнітивні порушення, проблеми з мовою та пам'яттю, а також емоційні розлади. Одним із серйозних наслідків є спастичність, що характеризується підвищеним м'язовим тонусом і обмеженням рухливості.

У зв'язку з високою поширеністю та важкими наслідками інсульту, важливо приділяти увагу покращенню реабілітаційних заходів. Ефективні реабілітаційні програми можуть значно покращити якість життя пацієнтів, допомагаючи їм відновити втрачені функції і знизити рівень інвалідності.

Сучасні методи реабілітації, такі як роботизована терапія та інноваційні підходи до фізичної та когнітивної реабілітації, мають великий потенціал у покращенні результатів лікування інсульту. Розробка нових технологій і методик у цій сфері є надзвичайно важливою для забезпечення ефективної допомоги пацієнтам та зменшення наслідків цього важкого захворювання.

Метою дослідження є кількісна оцінка постінсультної кінематики руху верхньої кінцівки людини на основі даних отриманих в ході експериментів під назвою “U-Limb”, поставлених Цюрихським університетом за протоколом SoftPro. Метрикою для такого порівняння обрано відстань Хеллінгера (HD)- статистичну міру, яка дуже точно оцінює схожість між розподілами ймовірностей. А в обробці отриманих даних руху верхніх кінцівок людини буде застосована Гаусова Мішана Модель (GMM), яка використовується для кластеризації та оцінки щільності, щоб виявляти певні точки даних, які належать до певних підгруп або субкластерів.

Актуальність дослідження полягає у використанні даних отриманих в наслідок вивчення та вимірювання подібності значень між декількома групами кінетичних моделей, що представляють рухи верхніх кінцівок здорових людей та людей, які перенесли інсульт.

Після розробки моделей дані будуть використані для документування та оцінки ключових характеристик і динаміки цих рухів у кількісному форматі, зокрема, у вигляді таблиць та графіків. Такий підхід не тільки полегшує наочне розуміння відмінностей у патернах рухів верхніх кінцівок, але й сприяє отриманню цінної інформації про вплив інсульту на фізіологію моторних функцій людини.

Використання статистичних показників і методів моделювання підвищує точність і глибину аналізу, що робить це дослідження актуальним як для клінічного застосування, так і для ширшого наукового розуміння.

Важливість цього дослідження підкреслюється ефективністю та точністю розробок реабілітаційних програм із застосуванням передових технологій.

Задачі дослідження.

1. Розкрити визначні поняття та засобів для прогнозування та аналізу.
2. Проаналізувати та класифікувати дані, здобуті в ході дослідження Цюріхського Університету.
3. Розробити функціональну програму та надати звіт її роботи.

Об'єкт та предмет дослідження: обробка інформації засобами GMM та Hellinger Distance для аналізу кінематики руху.

Робота складається з чотирьох розділів, кожен з яких охоплює важливі аспекти дослідження. В першому розділі йдеться про інсульт- дуже складне захворювання, яке призводить загибелі клітин мозку через нестачу кисню, викликаючи фізичні та функціональні наслідки, зокрема спастичність, яка суттєво ускладнює реабілітацію. В Україні щороку понад 110 тисяч людей стають жертвами інсульту, третина з яких молодше 65 років, що робить інсульт другою найпоширенішою причиною смерті в країні. Цей розділ детально розглядає типи інсульту та методи їх вимірювання, підкреслюючи необхідність комплексного підходу до лікування та реабілітації.

В другому розділі представлено ключові теоретичні основи та інструменти для аналізу кінематичних моделей руху пацієнтів. Було розглянуто засіб вимірювання міри подібності між розподілами ймовірностей, як Відстань Хеллінгера та Гаусову

Мішану Модель (GMM) як потужний імовірнісний підхід до моделювання складних мультимодальних розподілів даних. Описано застосування концепції Семи Ступенів Свободи (7-DOF) для точного моделювання рухів людських суглобів, а також використання мови програмування R в середовищі RStudio для розробки програмного продукту.

Третій розділ детально висвітлює методологію проведення експерименту, збору та обробки кінематичних даних для аналізу рухів верхніх кінцівок. Дослідження включало збір даних з використанням оптично-пасивної системи Vicon та інерційних вимірювальних систем Xsens. Також в розділі йшлося про протокол дослідження SoftPro включав 30 повсякденних завдань, зокрема чищення зубів і про вибірку дослідження, яка складалася з 5 здорових учасників та 20 пацієнтів після інсульту.

Підсумковий розділ присвячений процесу побудови кінематичної моделі руху верхніх кінцівок на основі даних, отриманих від Цюріхського університету. Описано етапи здобуття (extraction) даних, побудову кінематичної моделі з сімома ступенями свободи та ідентифікацію сегментів руху. Застосування Гаусової Мішаної Моделі та Відстані Хеллінгера дозволило ефективно аналізувати відмінності між здоровими людьми та пацієнтами після інсульту. Розглянуто методи статистичного аналізу і засвічено їх ефективність для оцінки постінсультних рухових порушень та відновлення функціонального стану пацієнтів.