

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Кирилів Мар'ян Ігорович

УДК 612.741.1:519.218

**МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ
ДЛЯ ЗАДАЧІ БІОПРОТЕЗУВАННЯ**

163 – Біомедична інженерія

Автореферат

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль – 2018

Роботу виконано на кафедрі біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук,
доцент кафедри біотехнічних систем
Шадріна Галина Михайлівна,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,

Рецензент:

Захист відбудеться 28 грудня 2018 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №22 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9, ауд. 9-507.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Протезування - це відновлення втрачених форм і функцій окремих органів або частин тіла. Розробкою і виготовленням штучних технічних засобів відновлення займається галузь протезобудування. За даними протезно-ортопедичних підприємств щорічно зростає кількість осіб, що потребують протезування верхніх чи нижніх кінцівок, що були втрачені (ампутовані) внаслідок аварій, травм чи перенесених захворювань..

Найбільша кількість ампутацій верхньої кінцівки – це ампутації на рівні передпліччя 50,5% від загальної потреби в протезуванні. Інваліди, які перенесли таку ампутацію, позбавляються в першу чергу можливості до самообслуговування, і в більшості випадків ще й втрачають професію. Тому мета протезування верхніх кінцівок: повернення інваліда до можливості самообслуговування і до трудової діяльності.

Оскільки штучно відтворити весь функціонал здорової людської руки на сучасному етапі технічного розвитку складно, основне завдання протезобудування - це створення технічного пристрою, здатного максимально заповнити втрачені функції, тобто повернути інваліду можливість здійснювати основні побутові рухи. Такими рухами є: захват і маніпулювання предметом.

При ампутації на рівні передпліччя зберігається повноцінний рух в плечовому і ліктьовому суглобах, що є достатнім для точного позиціонування штучної кисті в просторі без необхідності компенсації рухливості лучезапястного суглоба.

Для здійснення захвату необхідне спеціальне технічне пристосування – протез. Головним недоліком будь-яких з існуючих протезів є відсутність системи контролю сили захвату та рухів окремих пальців. Тобто робота виконавчого механізму вимагає безперервного зорового контролю за вчиненим дією, що, звичайно ж, істотно знижує можливості використання протеза і якість життя пацієнта.

Вибір методу управління залежить від індивідуальних особливостей пацієнта. Але в більшості випадків найоптимальнішим і бажаним є біоелектричний метод, як найбільш фізіологічний, що полягає у відборі електроміографічних сигналів, які характеризують залишкову активність втрачених м'язів, розпізнаванні на їх основі окремих рухів та формуванні сигналів керування виконавчими механізмами протеза.

Метою моєї роботи є: розробка методу опрацювання електроміографічного сигналу для задачі біопротезування.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз представлених на сучасному ринку протезів та особливостей їхнього функціонування;
- сформулювати вимоги та провести обґрунтування вибору математичної моделі та методу опрацювання електроміографічного сигналу;
- запропонувати схему відбору та провести відбір електроміографічних сигналів;

- провести опрацювання електроміографічних сигналів з метою виявлення в їх структурі ознак окремих рухів;
- запропонувати критерій розрізнення ознак окремих рухів за результатами опрацювання електроміографічних сигналів.

Об'єкт дослідження: процес опрацювання електроміографічних сигналів.

Предмет дослідження: метод опрацювання електроміографічних сигналів для задачі біопротезування.

Наукова новизна результатів: полягає в обґрунтуванні методу опрацювання електроміографічних сигналів при поданні їх у вигляді мультиплікативної суміші стаціонарного випадкового процесу та детермінованої функції і обґрунтуванні критерію розрізнення окремих рухів за оцінками дисперсії розподілів спектральної густини потужності вибірок з електроміографічного сигналу.

Апробація результатів дослідження. За матеріалами кваліфікаційної роботи магістра опубліковано тези доповідей на VII міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018 рік.

Структура та обсяг. Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 135 сторінках, списку використаних джерел з 37 назв на 4 сторінках, додатків на 2 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 142 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів роботи на конференціях і семінарах.

У першому розділі «протезування, як метод відновлення стану опорно-рухового апарату людини» проведено класифікацію протезів, в якій виділені класи активних і біокерованих протезів. Наведений аналіз функціональних і конструктивних особливостей сучасних та перспективних біонічних протезів верхніх кінцівок дає підставу зробити висновок про те, що їх застосування підвищить ефективність допомоги пацієнтам, які втратили верхню кінцівку.

Актуальним залишається завдання розроблення способів узгодження апаратної частини протезу із залишковими можливостями ділянки кінцівки, що підлягає протезуванню, з метою максимально повної компенсації втрачених функцій цієї кінцівки. В біопротезах це здійснюється шляхом відбору та опрацювання залишкових сигналів електричної активності м'язів втраченої кінцівки з метою виділення ознак скорочень таких м'язів і формування сигналів керування відповідними приводами протеза. Для цього необхідно обґрунтувати методи такого опрацювання, які визначалися б адекватною математичною моделлю таких сигналів та поставленою задачею.

У другому розділі «Роль електроміографічних сигналів при біопротезуванні» сформульовано вимоги до математичної моделі електроміографічних (ЕМГ) сигналів.

Встановлено, що адекватна фізичній природі ЕМГ сигналів математична модель повинна враховувати коливну структуру цих сигналів, а адекватна поставленій задачі ідентифікації окремих рухів м'язів математична модель повинна враховувати випадкову складову ЕМГ сигналів та мати засоби оцінювання часо-фазової структури цих сигналів.

Проведено аналіз відомих математичних моделей та методів опрацювання ЕМГ сигналів, зокрема розглянуто статистичний метод аналізу ЕМГ сигналів на базі його математичної моделі у вигляді стаціонарного випадкового процесу, спектральний аналіз ЕМГ сигналів на базі математичної моделі у вигляді стаціонарної випадкової центрованої функції та періодичної функції, спектрально-кореляційний аналіз ЕМГ сигналу на базі його математичної моделі у вигляді адитивної суміші періодичної і шумової складових.

З порівняльного аналізу методів опрацювання, які побудовані на адекватних математичних моделях ЕМГ сигналів встановлено, що кожній з них властиві як позитивні, так і негативні аспекти. Використання детермінованої математичної моделі ЕМГ сигналів не є коректним, оскільки сигнал характеризується значною варіативністю, неповторністю, що можна адекватно описати лише з використанням стохастичного підходу. Крім цього, необхідно, щоб математична модель враховувала фазову структуру ЕМГ сигналів, оскільки вона є важливою та необхідною для діагностики, бо відображає інформацію про механізм породження ЕМГ сигналів. Модель також повинна описувати часову структуру ЕМГ сигналів, Тому обґрунтовано доцільність використання випадкових процесів з періодичними імовірнісними характеристиками, зокрема у вигляді адитивно-мультиплікативної суміші детермінованої функції та стаціонарного випадкового процесу.

При цьому стає можливим застосування методів спектрально-кореляційного аналізу з метою виявлення ознак окремих рухів.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження» проаналізовано способи реєстрації ЕМГ сигналів та схеми накладання електродів.

Проведено відбір ЕМГ сигналів. Відбір проводився з допомогою блока підсилення біопотенціалів, виконаного на двох послідовно включених інструментальних підсилювачах AD620, між якими включено фільтр високих частот для подавлення постійної складової сигналу. Після підсилювачів реалізовано вузли обмеження сигналу по амплітуді. Сигнал з виходу блока відбору подавався на вхід АЦП звукової картки персонального комп'ютера та попередньо опрацьовувався в програмному середовищі Adobe Audition.

Запис проводився з допомогою одноразових ЕКГ електродів, які придатні для відбору ЕМГ сигналів. Електроди розміщувалися на передпліччі: референтний – на рівні сухожилля, активний – на 3 см нижче, земляний – з іншої сторонни руки. Запис проводився при згинанні кисті руки в кулак.

Отримані реєстрограми можна використати для верифікації математичної моделі ЕМГ сигналів у вигляді періодично корельованого випадкового процесу.

У четвертому розділі «Верифікація математичної моделі електроміографічного сигналу» для чотирьох реалізацій ЕМГ сигналу було побудовано оцінки амплітудних спектрів. З оцінок амплітудних спектрів видно, що в структурі сигналу присутня випадкова складова.

Проведено опрацювання вибірок з реєстрограми ЕМГ сигналу методами спектрально-кореляційного аналізу стаціонарних випадкових процесів. Для вибірок з реєстрограми ЕМГ сигналу було побудовано оцінки автокореляційної функції та оцінки розподілу спектральної густини потужності

Пропонується як критерій ідентифікації окремих рухів використати оцінки дисперсії розподілу спектральної густини потужності. При цьому висувається нульова гіпотеза H_0 , про те, що при одному і тому ж русі значення дисперсії оцінок розподілу спектральної густини потужності будуть мати значення $d_{\xi 1}$. За альтернативну гіпотезу H_1 висунемо припущення, що при рухах іншого типу значення дисперсії будуть мати значення $d_{\xi 2}$, при чому $d_{\xi 1} \neq d_{\xi 2}$.

Обчислено три значення критерію Фішера для різних ділянок ЕМГ сигналу. Побудовано вісь значущості результатів та встановлено, що використання запропонованого критерію оцінювання дисперсії розподілу спектральної густини потужності вибірок з ЕМГ сигналу дає можливість з достовірністю $1-\alpha=1-0,01=0,99$ або у відносних одиницях – 99% встановити ознаки рухів великого та вказівного пальців.

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» описано методику проведення медико-біологічних досліджень та проведено обґрунтування вибору УДК напряму наукового дослідження.

У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 39167,41 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,685 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто правила техніки безпеки при експлуатації комплексу для реєстрації та аналізу електроміографічних сигналів м'язів людини. Описано стійкість роботи цехів по виготовленню електронної медичної апаратури, заходи захисту виробничого персоналу, надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик.

У восьмому розділі «Екологія» розглянуто питання актуальності охорони навколишнього середовища, забруднення довкілля, що виникають в результаті виготовлення пристроїв дослідження м'язів, заходи щодо зменшення забруднення довкілля

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено актуальне завдання розроблення методу опрацювання електроміографічних сигналів для задачі біопротезування. При цьому отримано такі результати:

1) Проведено класифікацію способів протезування та протезів, в якій виділені класи активних і біокерованих протезів. Встановлено, що актуальним залишається завдання розроблення способів узгодження апаратної частини протезу із

залишковими можливостями ділянки кінцівки, що підлягає протезуванню, з метою максимально повної компенсації втрачених функцій цієї кінцівки. В біопротезах це здійснюється шляхом відбору та опрацювання залишкових сигналів електричної активності м'язів втраченої кінцівки з метою виділення ознак скорочень таких м'язів і формування сигналів керування відповідними приводами протеза. Для цього необхідно обґрунтувати методи такого опрацювання, які визначалися б адекватною математичною моделлю таких сигналів та поставленою задачею.

2) Сформульовано вимоги до математичної моделі ЕМГ сигналів. Встановлено, що адекватна фізичній природі ЕМГ сигналів математична модель повинна враховувати коливну структуру цих сигналів, а адекватна поставленій задачі ідентифікації окремих рухів м'язів математична модель повинна враховувати випадкову складову ЕМГ сигналів та мати засоби оцінювання часово-фазової структури цих сигналів.

3) З проведеного порівняльного аналізу методів опрацювання, які побудовані на адекватних математичних моделях ЕМГ сигналів встановлено, що кожній з них властиві як позитивні, так і негативні аспекти. Модель повинна описувати часову та коливну структуру ЕМГ сигналів і враховувати їх випадковість. Тому обґрунтовано доцільність використання випадкових процесів з періодичними імовірнісними характеристиками, зокрема у вигляді адитивно-мультиплікативної суміші детермінованої функції та стаціонарного випадкового процесу.

4) Проведено відбір ЕМГ сигналів. Відбір проводився з допомогою блока підсилення біопотенціалів, виконаного на двох послідовно включених інструментальних підсилювачах AD620, між якими включено фільтр високих частот для подавлення постійної складової сигналу. Після підсилювачів реалізовано вузли обмеження сигналу по амплітуді. Сигнал з виходу блока відбору подавався на вхід АЦП звукової картки персонального комп'ютера та попередньо опрацьовувався в програмному середовищі Adobe Audition.

5) Проведено опрацювання вибірок з реєстрограми ЕМГ сигналу методами спектрально-кореляційного аналізу стаціонарних випадкових процесів. Для вибірок з реєстрограми ЕМГ сигналу було побудовано оцінки автокореляційної функції та оцінки розподілу спектральної густини потужності

6) Пропонується як критерій ідентифікації окремих рухів використати оцінки дисперсії розподілу спектральної густини потужності. При цьому висувається нульова гіпотеза H_0 , про те, що при одному і тому ж русі значення дисперсії оцінок розподілу спектральної густини потужності будуть мати значення $d_{\xi 1}$. За альтернативну гіпотезу H_1 висунемо припущення, що при рухах іншого типу значення дисперсії будуть мати значення $d_{\xi 2}$, при чому $d_{\xi 1} \neq d_{\xi 2}$.

7) Обчислено три значення критерію Фішера для різних ділянок ЕМГ сигналу, що відповідають двом типам рухів – рух великого та вказівного пальця. Побудовано вісь значущості результатів та встановлено, що використання запропонованого критерію оцінювання дисперсії розподілу спектральної густини потужності вибірок з ЕМГ сигналу дає можливість з достовірністю $1-\alpha=1-0,01=0,99$ або у відносних одиницях – 99% встановити ознаки рухів великого та вказівного пальців.

ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ

1. Кирилів М.І. Математичне моделювання електроміографічного сигналу для задачі діагностики стану скелетних м'язів / М.І. Кирилів, В.Р. Генгало, В.А. Онищук // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018 року. – Т2.: ТНТУ, 2018. – С. 71

АНОТАЦІЯ

Кирилів М.І. Метод опрацювання електроміографічних сигналів для задачі біопротезування. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, Тернопільський національний технічний університети імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Кваліфікаційну роботу магістра присвячено обґрунтуванню методу опрацювання електроміографічних сигналів для задачі біопротезування верхніх кінцівок. Встановлено, що найбільш перспективним є розроблення активних біопротезів, що дозволить максимально відновити втрачені функції. Робота таких протезів забезпечується відбором та належним опрацюванням електроміографічних сигналів, відібраних з передпліччя, в структурі яких буде міститись максимальна кількість залишкової інформації про втрачені функції опорно-рухового апарату. Запропоновано застосувати методи спектрально-кореляційного аналізу до опрацювання електроміографічних сигналів з метою ідентифікації ознак окремих рухів втрачених м'язів.

Ключові слова: протезування, біопротез, електроміографічний сигнал.

ANNOTATION

Kyryliv M.I. The method of the electromyographic signals processing for bioprosthesis. - Manuscript. Qualifying Work, Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil, 2018.

The master's work is devoted to the substantiation of the method of processing electromyographic signals for the problem of bioprosthetics of the upper limbs. It has been established that the most promising is the development of active bioprostheses, which will allow as much as possible to restore lost functions. The work of such dentures is provided by the selection and proper processing of electromyographic signals, selected from the forearm, in the structure of which will contain the maximum amount of residual information about the lost functions of the musculoskeletal system. It is suggested to apply methods of spectral-correlation analysis to elaboration of electromyographic signals in order to identify the signs of individual movements of lost muscles

Key words: prosthetics, bioprosthesis, electromyographic signal.