

УДК 681.51: 617.57-77

Ф.М. ЦИВІЛЬСЬКИЙ, Є.А. ДРОЗДОВА, Є.Д. МЕРЕШКО
Херсонський національний технічний університет**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНИ ІЗ ПРОТЕЗОМ У ПРОЦЕСІ
НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ**

У роботі розглянуті питання навчання студентів технічних спеціальностей проектуванню, експлуатації, настроюванню сучасних мікропроцесорних засобів керування протезами за допомогою людських м'язів. Дана класифікація протезів верхніх кінцівок по способу взаємодії їх з людиною, і проаналізовані існуючі системи взаємодії людини з виконавчими пристроями. Представлені структурні схеми систем керування протезами за допомогою мікропроцесора та систем, що використовують смартфон для обробки результатів, що надходять від датчиків.

Ключові слова: протези верхніх кінцівок, м'язи, інтерфейс людина-протез, смартфон, паттерни рухів, мікропроцесорна система, лабораторний стенд.

Ф.Н. ЦИВИЛЬСКИЙ, Е.А. ДРОЗДОВА, Е.Д. МЕРЕШКО
Херсонский национальный технический университет**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С ПРОТЕЗОМ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ
СТУДЕНТОВ**

В работе рассмотрены вопросы обучения студентов технических специальностей проектированию, эксплуатации, настройке современных микропроцессорных средств управления протезами при помощи человеческих мышц. Дана классификация протезов верхних конечностей по способу взаимодействия их с человеком, и проанализированы существующие системы взаимодействия человека с исполнительными устройствами. Представлены структурные схемы систем управления протезами при помощи микропроцессора и систем, использующих смартфон для обработки результатов, поступающих от датчиков.

Ключевые слова: протезы верхних конечностей, мышцы, интерфейс человек-протез, смартфон, паттерны движений, микропроцессорная система, лабораторный стенд.

F.N. TSYVILSKYI, Ye.A. DROZDOVA, Ye.D. MERESHKO
Kherson National Technical University**RESEARCH OF INTERACTION OF A HUMAN BEING WITH PROSTHESIS IN TRAINING
PROCESS OF STUDENTS**

The issues of training students of technical specialties in design, operation, setup of modern microprocessor control of prostheses with the help of human muscles are considered. The classification of upper limb prostheses by means of their interaction with a human being is given. Existing systems of human interaction with executive devices are analyzed. Structural diagrams of prosthesis control systems with the help of a microprocessor and systems using a smartphone for processing results coming from sensors are presented.

Key words: upper limb prostheses, muscles, human-prosthesis interface, smartphone, movement patterns, microprocessor system, laboratory bench.

Постановка проблеми

Процес інтеграції людей з обмеженими можливостями в суспільство передбачає забезпечення їх технічними засобами реабілітації, до яких відносяться протези різних видів. Важливим завданням навчальних закладів стає включення в освітній процес елементів, пов'язаних із взаємодією людини й протеза. Курс лабораторних робіт для студентів спеціальностей Біомедична інженерія, Комп'ютерна інженерія, Автоматизація й комп'ютерно-інтегровані технології, присвячений керуванню протезами за допомогою мікропроцесорів, може бути важливою ланкою не тільки в їхнім професійним становленні, але й у вихованні майбутніх фахівців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У цей час на ринку протезування можна виділити кілька видів протезів верхніх кінцівок.

1. Косметичний протез. Крім естетичного призначення, такі протези не виконують практично ніяких функцій і не мають переваг у порівнянні із середньовічними протезами-гаками.

2. Тягові протези. Їхні кисті можуть стискуватися й розтискатися за рахунок, наприклад, рухів променево-зап'ястного або ліктьового суглоба частини руки, що залишилася. Ці руки керують механічним натягом ниток, що приводять «пальці» у дію.

3. Механічні протези, керовані м'язовою активністю. Такі пристрої, як правило, виконані з металу, мають більшу міцність, але мають тільки два ступені свободи – стискання та розжимання.

4. Біонічні протези, у яких кожний палець управляється окремим мотором – це дає велику перевагу в плані маніпуляцій із предметами.

Найбільш перспективними є біонічні протези.

Можна виділити чотири основні типи взаємодії людини із протезом [1].

Перший, найбільш радикальний – різного роду імпланти в моторну й сенсорну зони кори головного мозку. Такий інтерфейс має ті ж недоліки, що й трансплантована рука. Особливо доречні імпланти в мозок у випадку, коли за якихсь причин порушений зв'язок головного мозку й руки. В інших випадках варто додатково оцінювати користь/ризик від використання такого інтерфейсу.

Другий спосіб керування – використання електроенцефалографії (ЕЕГ). Метод ЕЕГ заснований на реєстрації біоелектричної активності головного мозку, що виникає внаслідок поширення потенціалу дії по нейронах. Метод уважається перспективним, але має низку технічних складностей, які заважають появі в продажу інтерфейсу на його основі. По-перше, через особливості реєстрації карти мозкової активності систему потрібно «навчати» заново при переміщенні електродів. А по-друге, сам сигнал дуже нестійкий до різного роду електричних наведень і перешкод.

Третій: біоелектричні протези - коли електроди імплантуються до периферичних нейронів у частині руки, що залишилася. Суть біоелектричних протезів полягає в тому, що після ампутації кукса руки зберігає залишки хватального м'яза. При скороченні м'яза надходить електричний імпульс змінного струму, що сприймається розташованими на шкірі керуючими електродами біомеханічного протеза руки. Електронна підсилювальна система, наявна в цих електродах, дозволяє включати й виключати електродвигун, який здійснює переміщення великого й вказівного пальців. Такий спосіб має всі ті ж проблеми, що трансплантація й мозкові імпланти, до того ж вимагає тривалої й індивідуальної роботи лікарів.

Четвертий тип інтерфейсу – електроміографія (ЕМГ). Найпростіша його реалізація – тригерна – використовується в механічних протезах, керуючи стисненням або розжиманням кисті. У біонічні протези впроваджена точно така ж система керування. Але, як уже було сказано, ЕМГ у них використовується тільки для двох ступенів свободи – згинання й розгинання пальців. Також до них може бути доданий і третій ступінь свободи – одночасне напруження обох м'язів, на яких вимірюється ЕМГ активність.

Електроміографія – це метод аналізу м'язової активності, заснований на вимірі різниці потенціалів у двох крапках, між якими під шкірою по мембранах м'язових волокон поширюється потенціал дії (саме цей потенціал являє собою поширення хвилі м'язової активності від зони, куди надходить потенціал дії моторного нейрона, що змушує «працювати» м'язи). Такий спосіб дозволяє записувати сигнал м'язової активності з мінімальним рівнем шуму. Більша частина руху пальців і кисті тісно пов'язана з м'язами передпліччя.

Схема обробки керуючих впливів у випадку з електроміограмою і електроенцефалограмою приблизно однакова. [2]

Зчитувальний пристрій являє собою набір датчиків, кожний з яких реєструє активність м'яза або ділянки мозку. Число таких датчиків звичайно варіюється від восьми до тридцяти двох. Отримані одночасно із усіх сенсорів дані являють собою масив, протяжний у часі. У той момент, коли оператор продумає рух або робить його на рівні кукси, параметри, що реєструються датчиками, міняються, і в масиві даних виникає унікальна стійка картина, називана шаблоном або паттерном руху.

Завдання розпізнавання задуманих рухів може бути вирішена тільки за умови, що кожному певному руху відповідає унікальний паттерн. Виявити стійкі однозначні стани в масивах даних у край складно, але якщо ця робота проведена успішно, по її результатах формується бібліотека паттернів, яка надалі використовується системою розпізнавання рухів. Оскільки можливості протеза по зрозумілих причинах поступаються можливостям оригіналів, необхідно паттерни руху протеза привести у відповідність до паттернів руху оригіналу. Так формується інтерфейс «людина – протез», який дозволяє транслювати паттерн електричної м'язової або мозкової активності в паттерн механічних рухів біокерованого протеза.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз існуючих систем управління біонічними протезами, зокрема на основі мікропроцесору, та обґрунтування можливості використання елементів таких систем в курсах лабораторних робіт для студентів спеціальностей Біомедична інженерія, Комп'ютерна інженерія, Автоматизація й комп'ютерно-інтегровані технології.

Викладення основного матеріалу дослідження

Особливий інтерес представляє функціональне протезування, що дозволяє пацієнтові виконувати різні рухові функції. Кожному пацієнтові функціональний протез підбирається індивідуально, залежно від бажань і майбутньої активності пацієнта.

Використання системи керування, індивідуально налаштованої на паттерни рухів кисті конкретної людини, найбільш наближені до природнього інтерфейсу між людиною й протезом: він має велику функціональність (не інвазивний), швидко настроюється й стійкий до зовнішніх впливів. Протез повторює практично всі рухи справжньої руки, рухаються пальці й кисть, з його допомогою можна здійснювати звичні для звичайних людей дії. Останні модифікації біонічних протезів, використовуваних при протезуванні верхніх кінцівок, постачені сенсорними датчиками, що контролюють зусилля захвату предметів, що дозволяє пацієнтові виконувати з максимальною точністю навіть найскладніші рухи.

Можливе також гібридне рішення, у якому для керування протезом використано кілька типів датчиків. [3]

По-перше, це електроміографічні датчики, які прикладаються до поверхні шкіри в області передпліччя й зчитують електричні сигнали м'язів. Кількість датчиків залежить від того, скільки активних м'язів залишилося в пацієнта після травми. Чим більше активних м'язів, тим більше сигналів керування протезом, отже, більше захватів і маніпуляцій можливо здійснити протезом.

По-друге, це активні електроенцефалографічні датчики, які прикладаються до голови й зчитують біопотенціал кори головного мозку. Керування протезом здійснюється силою думки. Дана технологія застосовується для людей з великим ступенем ампутації або відсутністю активних м'язів.

Перспективним напрямком є використання смартфона для керування протезами. Ідея полягає в реєстрації за допомогою поверхневих електродів сигналу електричної активності мозку, потім виконується обробка сигналу за допомогою вхідних ланцюгів підсилювача, перетворення його в цифровий код, і передача цифрового коду на мобільний пристрій, і зворотної видача сигналів керування для виконавчого механізму протеза (рис. 1) [4].

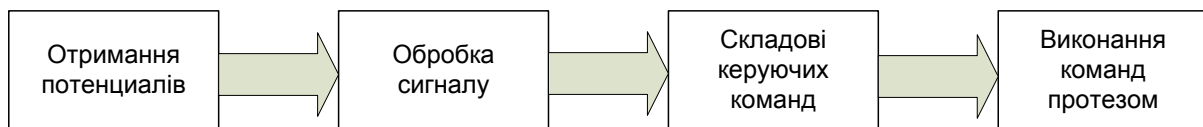


Рис. 1. Блок-схема роботи системи керування протезом

Керування протезом здійснюється за допомогою спеціального додатку для смартфона, при цьому пристрій зв'язується зі штучною рукою по Bluetooth. Додаток дозволяє запрограмувати спеціальні жести, необхідні, наприклад, при роботі з побутовими приладами або предметами, підтримка яких не закладена в алгоритми керування від початку. Для звичайної роботи із протезом смартфон не потрібний – штучна рука управляється за допомогою м'язових сигналів (рис. 2).

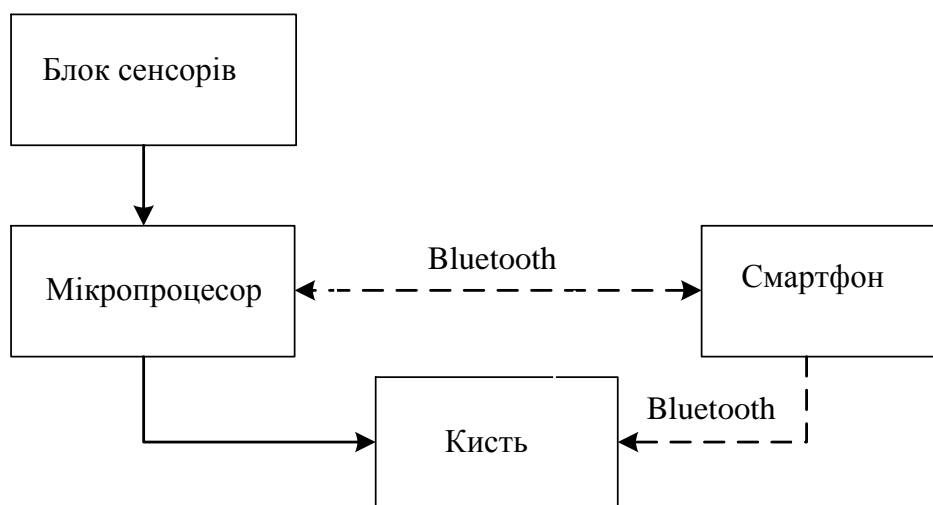


Рис. 2. Керування протезом за допомогою смартфона

Гібридне рішення керування протезом верхніх кінцівок полягає в тому, що мікросхема коректує дії двигуна, а корекція сили захвату відбувається через здорове плече (рис. 3). Навчання руховим функціям мікропроцесор може здійснювати через смартфон, підключений до здорового плеча - грейферу.

Дана концепція не досконала, тому що вимагає задіяти обидві кінцівки, хоч і з меншими матеріальними витратами.

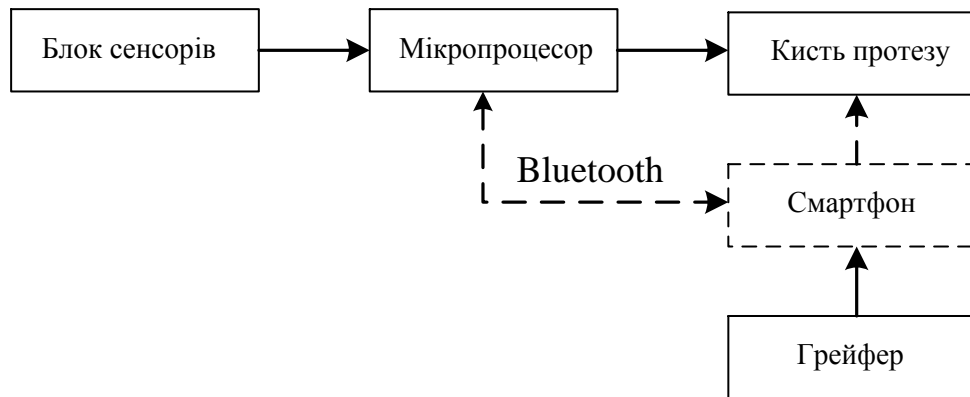


Рис. 3. Керування протезом за допомогою смартфона з елементами навчання

Можливо також керування кистю руки безпосередньо на смартфоні. У протез вбудовані спеціальні сенсори для зняття електроміограми – електричної активності м'язів ампутованої кінцівки. Дані по бездротовому зв'язку передаються на смартфон, де обробляються в спеціальному додатку. Далі команди відсилаються назад на штучну руку й пускають у хід електричні сервоприводи. У результаті протез виконує ту або іншу операцію (рис. 4).

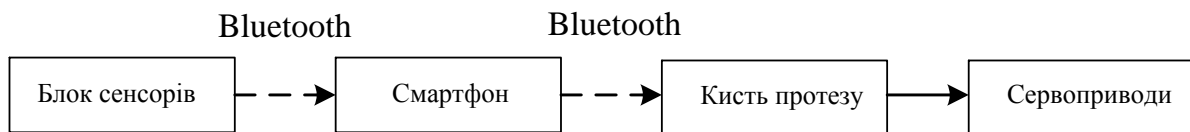


Рис. 4. Керування кистю протезу за допомогою смартфона

Залежно від отриманих інструкцій такий протез може виконувати дії окремими пальцями або всією роботизованою кистю. На каркас руки можуть бути встановлені які-небудь інструменти для виконання специфічних завдань.

Для повноцінного функціонування протеза необхідно, щоб він управлявся пацієнтом інтуїтивно, без здійснення сторонніх маніпуляцій. Найбільш перспективним, неінвазивним способом є керування за допомогою реєстрації активності збережених м'язів. Для реєстрації м'язової активності рекомендується використання датчиків електричного потенціалу EPIC Sensors [5]. Конструкція даних датчиків така, що підсилювач розташований безпосередньо поблизу електрода, що значно підвищує завадостійкість системи.

Принципова схема пристрою датчика наведена на рис. 5 [6].

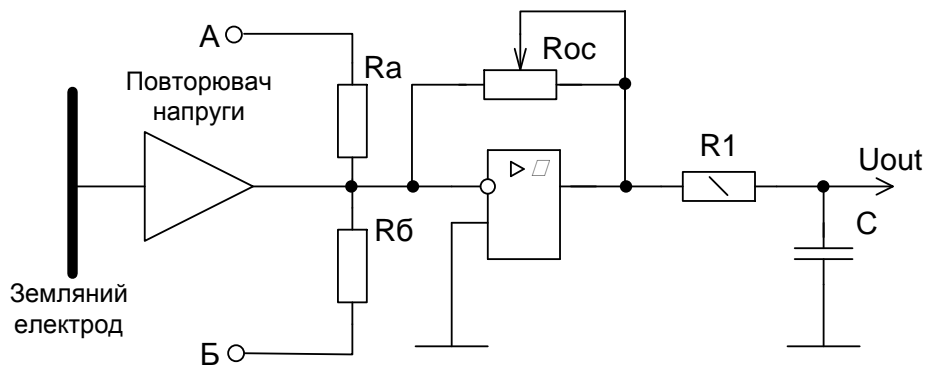


Рис. 5. Принципова схема датчика типу EPIC Sensors

При $R_a=R_b$ вихідна напруга буде виражена формулою:

$$U_{out} = (U_A + U_B) * \frac{R_{oc}}{R_a}$$

Для реєстрації м'язової активності використовується один модуль, що складається із трьох електродів: два датчики електричного потенціалу EPIC Sensors (PS25201B або PS25100) і металева пластина, використовувана для вирівнювання потенціалу шкіри й землі джерела живлення. Загальний вид модуля представлений на рис.6. Два датчики встановлюються безпосередньо поблизу досліджуваного м'яза, на відстані 0.5 см, земляний електрод розташовується на віддаленні (2-3 см) від датчиків. Сигнали, одержувані з датчиків віднімаються, що дозволяє позбутися наведення зовнішніх джерел електричного поля. Сигнали з датчиків надходять на мікросхему з інструментальним підсилювачем. На вході й виході підсилювача встановлені RC фільтри низьких частот (нижче 400 Гц).

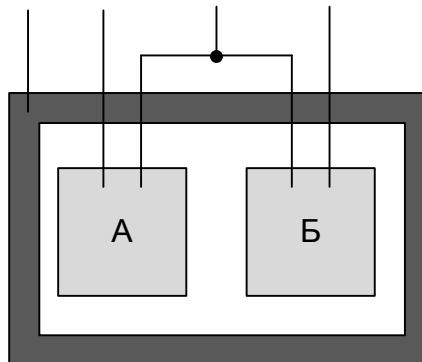


Рис. 6. Загальний вид модуля реєстрації м'язової активності

Одержуваний сигнал надходить на мікроконтролер, де відбувається оцифровка. Пальці й кисть людської руки приводяться в рух за допомогою м'язів (згиначів і розгиначів). На кожному ступінь свободи людської руки припадає по дві м'язові групи: згинач і розгинач. При розташуванні модуля з електродами над певною групою м'язів можна визначати активність м'яза, а отже, можна судити про чинений у цей момент рух. М'яз анатомічно розташований так, що група м'язів, відповідальна за згинання вказівного й підмізинного пальців розташована під м'язом-згиначем середнього пальця. Це вносить значну складність при спробі поділу сигналів, що надходять на один електрод з декількох груп м'язів одночасно. Дана проблема частково вирішується шляхом збільшення числа скануючих модулів уздовж перетину руки. Збільшення кількості модулів і розташування їх над кожною із груп м'язів дозволить визначати незалежні рухи пальців рук і згинання/розгинання долоні.

Опис роботи пропонованого лабораторного стенда. У момент виникнення наміру руху на датчиках електричного потенціалу EPIC Sensors, розташованих у модулі, реєструється біоелектрична активність, що проявляється збільшенням амплітуди сигналу. Сигнал з модуля посилюється підсилювачем, що нормує, виконаним на основі інструментального підсилювача з метою забезпечення захисту від синфазної перешкоди. Посилений сигнал надходить на смуговий фільтр, смуга пропускання якого відповідає діапазону зміни сигналу. Далі сигнал надходить на мікрокомп'ютер Arduino Nano, де відбувається оцифровка, і наступна передача даних по обраному інтерфейсу на смартфон або комп'ютер. Отримані з мікрокомп'ютера дані обробляються, і відображаються на екрані у формі змінюваних у часі імпульсів; при наявності декількох модулів мікрокомп'ютер може створювати команди для керування виконавчими механізмами.

Суть курсу лабораторних робіт полягає в тестуванні й налаштуванні роботи датчиків з використанням різних видів електронних приладів: тестеру, осцилографу, мікропроцесорного комплексу, а також мікрокомп'ютерів типу Arduino, Raspberry і ін. Пропонується скануючий електрод розташувати над однією із груп м'язів, і при даному розташуванні оцінювати сигнал, що надходить із сусідніх м'язів. При проведенні попереднього досліду амплітуда сигналу, що знімався, виявилася більш ніж в 2 рази слабкіше за амплітуду сигналу основного м'яза.

У роботі можливо запропонувати студентів не тільки оцінити отримані результати, але й дати можливість налаштування приймаючого приладу по чутливості, видачі керуючих впливів на різні виконавчі пристрої, такі як індикатори, реле, сервоприводи, у відповідності із заданим м'язами алгоритмом, а також запропонувати створення примітивних пристроїв функціонального протезування.

Висновки

Використання запропонованого лабораторного стенда в навчанні студентів буде сприяти підготовці фахівців, здатних розробляти й експлуатувати засоби вимірювання, контролю й діагностики, допоможе їм дістати навички роботи із сучасними мікропроцесорними засобами, навчить монтажу, налагодженню систем подібного виду з використанням сучасної елементної бази й нових інформаційних технологій.

Список використаної літератури

1. Евгений Жванский Не опускайте рук: почему бионические протезы не становятся доступнее? - <http://www.forbes.ru/tehnologii/345329-ne-opuskayte-ruk-pochemu-bionicheskie-protezy-ne-stanovyatsya-dostupnee>
2. Завьялов С. А., Мейгал А. Ю. Технологии биоуправляемых протезов сегодня и завтра // Journal of Biomedical Technologies. 2015. № 2. С. 36–42.
3. Максим Ляшко Бионический протез руки MAXBIONIC <https://boomstarter.ru/projects/221181/bionicheskiy-protez-ruki-maxbionic/posts?page=2>
4. Чернышев А.А., Мустецов Н.П. Алгоритм управления многофункциональным протезом руки // Информационные технологии в медицине. -2014. -№122.-С. 67-172.
5. Медико–социальная экспертиза и инвалидность при ампутациях конечностей // Медико-социальная экспертиза. URL: http://invalidnost.com/publ/mediko_socialnaja_ekhsperitiza_pri_nekotorykh_zabolcvanijakh/msch_i_invalidnost_pri_amputacijakh_koncchnostej/2-1-0-460.html (25.04.2017)
6. Esa Kuronen EPIC SENSORS IN ELECTROCARDIOGRAM MEASUREMENT// Master's Thesis Autumn 2013 Degree programme in Information Technology Oulu University of Applied Sciences – С.47.