

«Апаратно-програмна система для діагностики та реабілітації хворих
з пошкодженнями шийно-грудного відділу хребта та нервів рук»

АНОТАЦІЯ

роботи «Апаратно-програмна система для діагностики та реабілітації хворих з пошкодженнями шийно-грудного відділу хребта та нервів рук»
(Шифр: **Reflex**)

Після пошкодження шийно-грудного відділу хребта та нервів кисті рухові та/або сенсорні функції порушуються, особливо дрібна моторика окремих пальців або групи пальців. Ефективність програм фізичної реабілітації (терапії) таких пацієнтів може бути підвищена за рахунок регулярних тренувань в амбулаторних та домашніх умовах з використанням малогабаритних діагностично-тренувальних (ДТ) приладів на основі мікропроцесорних систем.

Метою роботи є вироблення стійкого рефлексу з відновленням рухів кисті і пальців рук за рахунок задіяння рухової та зорової системи пацієнтів шляхом частого повторення тренувальних вправ з датчиками на розроблених ДТ-приладах з поступово збільшуваною швидкістю взаємодії пацієнта з електронними компонентами ДТ-приладів.

Для досягнення мети вирішені такі завдання:

1) проведений аналіз існуючих методик відновлення моторики ушкоджених пальців рук та засобів інтеграції комп'ютерних систем у галузь реабілітації хворих після пошкодження шийно-грудного відділу хребта та інсультів;

2) виконане проектування та апаратно-програмна реалізація серії малогабаритних ДТ-приладів на основі мікропроцесорних систем на платформі Arduino;

3) розроблений мобільний застосунок для відображення результатів тренувань на гаджетах пацієнтів та персоналу;

4) розроблена мікросервісна архітектура апаратно-програмної системи для діагностики та реабілітації хворих з пошкодженнями шийно-грудного відділу хребта та нервів рук;

5) проведені тестування розробленої серії ДТ приладів «Reflex–Тхх» на основі датчиків Холла та сенсорів, запропоновані апаратно-змінювані режими тренувань в залежності від результатів пацієнтів.

Методами дослідження є аналіз, проектування та алгоритмізація рішень, програмне кодування прошивок модулів, тестування. Метод середнього ковзного застосований для оцінки ефективності тренувань.

Результати роботи пройшли апробацію на трьох Міжнародних конференціях, впроваджені у держбюджетній науково-дослідній роботі, що підтверджене Актом впровадження. Одна з трьох публікацій прийнята для індексації у базі Scopus.

Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, 3 додатків та переліку посилань з 21 джерела.

Ключові слова: відновлення рефлексів, реабілітація ушкоджених пальців рук, датчик Холла, датчик дотику, спалахи RGB-світлодіодів, RFID-ідентифікація, платформа Arduino, метод середнього ковзного, мікросервісна архітектура

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДИК ВІДНОВЛЕННЯ МОТОРИКИ УШКОДЖЕНИХ ПАЛЬЦІВ РУК ТА ЗАСОБІВ ІНТЕГРАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ У ГАЛУЗЬ РЕАБІЛІТАЦІЇ	5
2 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ КІСТЕЙ ТА ПАЛЬЦІВ РУК	8
2.1 Розробка апаратного забезпечення ДТ-приладів.....	8
2.2 Розробка програмного забезпечення приладів серії «Reflex-Txx» на платформі Arduino	13
2.2.1 Початок розробки проекту.....	13
2.2.2 Робота з сервомотором SG-90 в середовищі розробки Arduino IDE.....	14
2.2.3 Робота з RFID-модулем RC522 у середовищі розробки Arduino IDE	15
2.2.4 Робота з датчиком Холла в середовищі розробки Arduino IDE	15
2.2.5 Робота з LCD I2C-модулем в середовищі розробки Arduino IDE	16
2.2.6 Робота з WiFi-модулем ESP-01 у середовищі розробки Arduino IDE	17
2.3 Архітектура АПС зберігання та обробки даних пацієнтів	19
3 ПІДГОТОВКА ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТРЕНУВАНЬ	23
3.1 Режим тренувань.....	23
3.2 Візуалізація та обробка даних	25
ВИСНОВКИ	28
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	30
Додаток А Копії тез доповідей на конференціях	33
Додаток Б Акт впровадження результатів роботи у держбюджетну НДР	42
Додаток В Програмний код прошивки модулів ДТ- приладів	43

ВСТУП

Після пошкодження шийно-грудного відділу хребта та нервів кисті рухові та/або сенсорні функції порушуються, особливо дрібна моторика окремих пальців або групи пальців, що зазначене у класифікації «Classification of American Spinal Injury Association Impairment Scale (AIS)» 1. В такому випадку м'язи та суглоби недостатньо сильні, щоб рухатися проти тяжкості. У тих, хто отримав травми шиї або верхньої частини спини, є ураження кистей та пальців рук. Такі ураження також можуть виникати у результаті вроджених аномалій, офісної роботи, інсультів й т. п. Так, наприклад, карпальний («тунельний») синдром, на який дуже часто страждають фахівці ІТ-спеціальностей, може починатися зі зниженням рухових функцій пальців, м'язової слабкості й т. ін. [2].

Програми реабілітації від травм шийно-грудного відділу хребта та інсультів поєднують фізичну терапію з набуттям та відновленням рефлексів. Фізична терапія включає в себе програми фізичних вправ, спрямовані на зміцнення м'язів і розвивають дрібну моторику. За заключенням медиків, стратегії повторювання вправ дуже важливі для боротьби зі спастичністю.

Адаптаційні пристрої також можуть допомогти людям з травмами шийно-грудного відділу хребта та нервів рук повернути собі незалежність та покращити мобільність та якість життя. Такі пристрої мають включати в себе комп'ютерно-інтегроване рішення та інформаційну технологію.

Об'єктом дослідження є процеси відновлення рефлексів руху ушкоджених пальців рук у поєднанні з тренуваннями кольоросприйняття за допомогою апаратних засобів на основі мікропроцесорних пристроїв та датчиків.

Предметом дослідження є тренувальні пристрої, засновані на датчиках різних типів, та програмне забезпечення («скетчі») модулів діагностично-тренувальних приладів (надалі ДТ-приладів).

Метою дослідження є вироблення стійкого рефлексу з відновленням рухів кисті і пальців рук за рахунок задіяння рухової та зорової системи пацієнтів шляхом частого повторення тренувальних вправ з датчиками на розроблених ДТ-приладах з

поступово збільшуваною швидкістю взаємодії пацієнта з електронними компонентами ДТ-приладів.

Для досягнення мети мають бути вирішені такі **завдання**:

6) проведений аналіз існуючих методик відновлення моторики ушкоджених пальців рук та засобів інтеграції комп'ютерних систем у галузь реабілітації хворих після пошкодження шийно-грудного відділу хребта та інсультів;

7) виконане проектування та апаратно-програмна реалізація серії малогабаритних ДТ-приладів на основі мікропроцесорних систем на платформі Arduino;

8) розроблений мобільний застосунок для відображення результатів тренувань на гаджетах пацієнтів та персоналу;

9) розроблена мікросервісна архітектура апаратно-програмної системи для діагностики та реабілітації хворих з пошкодженнями шийно-грудного відділу хребта та нервів рук;

10) проведені тестування розробленої серії ДТ приладів «Reflex–Тхх» на основі датчиків Холла та сенсорів, запропоновані апаратно-змінювані режими тренувань в залежності від результатів пацієнтів.

Методами дослідження є аналіз, проектування та алгоритмізація рішень, програмне кодування прошивок модулів, тестування. Метод середнього ковзного застосований для оцінки ефективності тренувань.

Результати роботи пройшли **апробацію** на трьох Міжнародних конференціях, **впроваджені** у держбюджетній науково-дослідній роботі, що підтверджене Актом впровадження (додаток А). Одна з трьох **публікації** (додаток Б) прийнята для індексації у базі Scopus.

Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, 3 додатків та переліку посилань з 21 джерела.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДИК ВІДНОВЛЕННЯ МОТОРИКИ УШКОДЖЕНИХ ПАЛЬЦІВ РУК ТА ЗАСОБІВ ІНТЕГРАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ У ГАЛУЗЬ РЕАБІЛІТАЦІЇ

Посттравматична та постінсультна спастичність кінцівки – одне з найчастіших рухових порушень. Спастичність відзначається більш ніж у 12 мільйонів осіб у всьому світі [3]. З частотою від 26 % до 96 % – це ураження верхніх кінцівок від травм [4].

Провідне значення в лікуванні спастичності мають лікувальна гімнастика, поступове збільшення рухових навантажень, у т. ч. з використанням апаратних тренажерів [5]. Використання індивідуальної програми реабілітації в амбулаторних та/або у домашніх умовах дозволяє досягти максимального результату.

Важливо вчасно, до розвитку контрактур («пазуриста лапа», «мавпяча лапа») визначити конкретно уражені пальці (рис. 1.1) і забезпечити відповідними апаратними засобами виконання необхідних тренувальних програм для подолання м'язової слабкості і розробки пальців.



Рисунок 1.1 – Пальці (групи пальців) для діагностування/тренування

При цьому доцільно слідувати «Керівництву клінічною практикою, що базується на доказі синдрому зап'ястного каналу», розробленому у 2016 р. Американською академією ортопедичних хірургів (англ. American Academy of Orthopaedic Surgeons – AAOS) [2]. Ці Рекомендації передбачають, крім аналізів та

обстеження на складній апаратурі (ультразвукове сканування, комп'ютерна та магніторезонансна томографія, рентген та ін.) ще й проведення спеціальних простих механічних тестів та вправ. Також ці Рекомендації наводять вагомі докази, що рутинна післяопераційна іммобілізація кінцівок (накладання шин) не є корисною.

В Рекомендаціях зазначено про ефективність регулярних повторюваних короткочасних зусиль щодо сили зчеплення, сили притискання та збільшення діапазону руху протягом 17,5 місяців з розбиттям на 4-тижневі курси сенсорних та терапевтичних рухових вправ за домашніми програмами. Такий підхід називає прості вправи, що працюють на простих, недорогих пристроях. Доведено, що лікування із раннім початком виконання рухових вправ сприяло покращенню руху за короткий 2-тижневий термін. Такий ефект не спостерігався при звичайній іммобілізації навіть за 3 місяці [2].

Таким чином, важливо не тільки локалізувати проблему, але і сприяти ухваленню рішення або про тренуванні пальця (в разі настання його м'язової слабкості), або рішення знерухомити палець, щоб знизити ризик подальших ускладнень (в разі травми або запалення).

При ряді діагнозів лікар також може порекомендувати курс м'яких вправ, щоб розтягнути палець, що може допомогти зменшити жорсткість і поліпшити рухливість навіть для пацієнтів з ревматоїдним артритом. Це можливо за допомогою спеціальних пристроїв на основі мікропроцесорних систем, які реалізують відпрацювання окремих рухів пальцями [6, 7].

Результати травм у шийному відділі хребта можуть також привести до атрофії зорового нерва і, як результат, пацієнту становиться достатньо складно розрізнити кольори, спотворюється сприйняття кольорів, різке звужується поле зору на червоний колір [8]. Тому у ДТ-прилади для виявлення дихромазії доцільно також вбудовувати електронні компоненти, пов'язані з визначенням базових кольорів (RGB).

Спеціальні тренування можуть покращити координацію тонких м'язових рухів, а також загальну силу і здоров'я. Вчені відмічають відносну ефективність

інтенсивної програми рухової підготовки, доданої до стандартної реабілітації, у порівнянні з тільки стандартною реабілітацією для поліпшення функції руки [9].

Рання активна реабілітація і фізичні вправи дуже важливі для запобігання контрактура суглобів кисті і пальців, а також втрати м'язової сили [10].

У всьому світі досліджуються та успішно використовуються апаратні методи лікування дегенеративно-дистрофічних захворювань суглобних або білясуглобних тканин із застосуванням ударно-хвильової терапії [11], світлолікування [12, 13] й т. п.

Однак, слід враховувати, що вищевказані апарати є повномасштабними, призначені для лікування всіх відділів хребта і суглобів, а тому характеризуються великими габаритами і вартістю. В зв'язку з цим актуальним є розробка малогабаритних низьковартісних діагностично-тренувальних приладів, що сприяють відновленню рефлексів шляхом повторень координованих рухів окремими пальцями рук або групою пальців.

Важливим також є накопичення результатів тренувань кожної окремої особи у базі даних апаратно-програмної системи (АПС) для коригування режимів тренувань й досягнення найкращих можливих показників. Необхідно зауважити, що передача персональних даних пацієнта від ДТ приладу до серверів відбувається, в основному з використанням відкритих каналів зв'язку. Зважаючи на це, уразливості бездротових мереж вносять додаткові ризики для забезпечення конфіденційності і цілісності переданих даних [14]. В результаті можуть спостерігатися хибні результати діагностики і тестування пацієнтів. Для запобігання цьому необхідно передбачити наявність в архітектурі АПС спеціальних засобів для оцінки стабільності системи [15] та зменшення шуму від інших підключених в АПС електронних та IoT-приладів [16]. При неможливості усунути з каналів зв'язку збурюючі фактори, доцільно використовувати методи та засоби, які надають свідчення про позиції помилок у повідомленні та орієнтовані на реалізацію на апаратних платформах, використаних при створенні АПС [17].

2 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ КІСТЕЙ ТА ПАЛЬЦІВ РУК

2.1 Розробка апаратного забезпечення ДТ-приладів

З огляду на рекомендації, наведені вище, була розроблена серія ДТ-приладів «Reflex-Txx» з рухомою робочою зоною, в яку вмонтовано 3 світлодіода (RGB) і датчики під ними (рис. 2.1).

Апаратною платформою для розроблених пристроїв обрана широко поширена платформа Arduino. Незважаючи на стрімкий відхід ринку мікроелектроніки в сторону платформи STM32, платформа Arduino все ще досить міцно утримує позиції в сегменті пристроїв для домашнього застосування, до яких і відносяться малогабаритні тренажери пальців рук за рекомендаціями AAOS 2. Зручність Arduino для створення домашніх програм тренувань обумовлена наявністю власної екосистеми платформи, бази знань, середовища програмування на мові C++, широкого програмного функціоналу, доступних плат розширення («шилдів»), простотою використання. При комплектації якісними електронними компонентами оригінальних виробників пристрої на платформі Arduino цілком можуть задовольнити потреби ринку біомедичних електронних приладів для моніторингу, діагностики та лікування (тренувань).

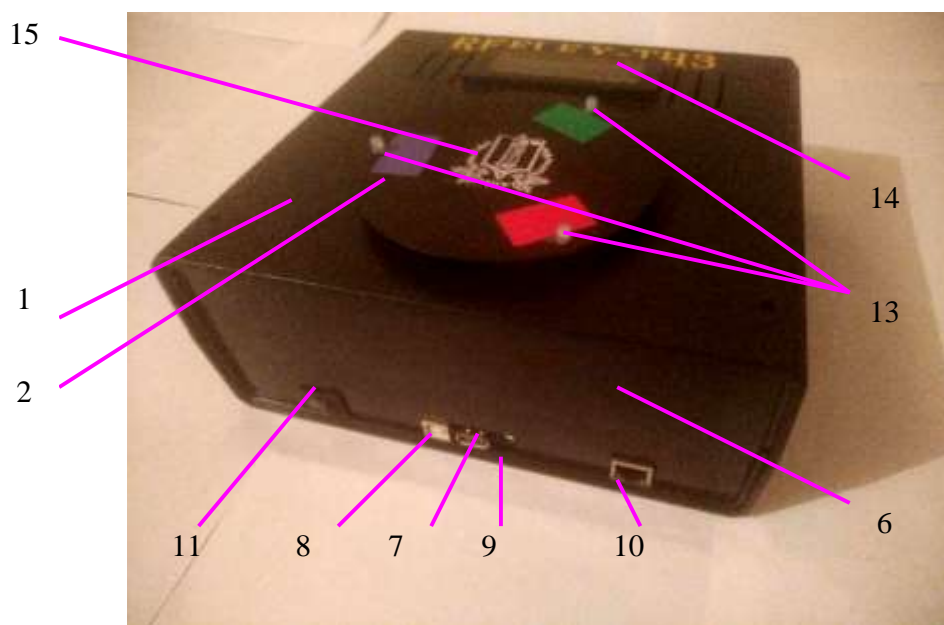
Для технічного забезпечення розробленої серії тренувальних приладів «Reflex – Txx» та їх взаємодії з підсистемами моніторингу, зберігання та аналізування даних НТК були обрані складові: мікроконтролерна плата Arduino Mega ADK на мікросхемі ATmega2560; датчики різних типів; WiFi-модуль; RFID-модуль ідентифікації користувача; сервопривод SG-90; RGB-світлодіоди; LCD-екран; засоби з'єднання компонентів; джерело живлення.

Конструктивно тренувальний прилад «Reflex – TH3» реалізовано у корпусі (1) для електроніки N17W розміром 217 мм × 235 мм × 92 мм (рис. 2.1).

Робоча зона (2) з вмонтованими трьома RGB-світлодіодами (13) – по одному на кожний датчик – розміщується на шпинделі сервопривода (3), розташованому

під логотипом розробника (15), та рухається у двох напрямках по колу із заданими швидкістю та кутом для імітації качки корабля, «бовтанки» повітряного судна, вібрації автотранспорту та інших умов, що наближає тренування до реальних обставин. На задньому боці (6) розташована кнопка живлення (11), USB-порти (7, 8), роз'єми підключення до зарядного пристрою (9) та до мережі Ethernet (10).

Для точного керування параметрами руху робочої зони з датчиками використовується сервопривод SG-90 з керуванням від плати Arduino.



а)



б)



в)

Рисунок 2.1 – Діагностично-тренувальні прилади серії «Reflex-Тхх» (вигляд ззовні): а – порти та електронні компоненти приладу на корпусі; б – вид зверху приладу на датчиках дотику (ТТЗ); в – вид зверху приладу на датчиках Холла (ТНЗ)

Загальна компоновка електронних компонентів у корпусі пластиковому для електроніки N17W розміром 217 мм × 235 мм × 92 мм наведена на рис. 2.2, а.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Діагностично-тренувальний прилад «Reflex-TN3» (вигляд усередині): а – електронні компоненти у корпусі; б – рухома робоча зона на датчиках Холла (вид знизу)

Ідентифікація об'єктів проводиться шляхом радіочастотної ідентифікації (англ. Radio Frequency IDentification або RFID) за унікальним ідентифікатором, який має кожна електронна мітка.








За допомогою засобів програмування Arduino можливо реалізувати алгоритм випадкового спалаху різних кольорів на кожному світлодіоді, що забезпечить тренування концентрації уваги пацієнта та сприятиме лікуванню атрофії зорового нерва.

Світлодіоди загоряються по черзі в довільному порядку. Пацієнт повинен торкнутися кольорового майданчика біля світлодіода, що спалахнув, до подачі наступного світлового сигналу. У такий спосіб оцінюється сприйняття пацієнтом RGB-кольорів, швидкість реакції на спалах світлодіода та координація рухів. З врахуванням того, що діагностики та тренування можуть мати потребу пальці з 1-го по 4-й (див. рис. 1.1), передбачене торкання майданчика біля спалахнувшого

світлодіода пальцем або магнітним інструментом («холдером»), який утримується щепотью з 2-, 3- або 4-х пальців (табл. 2.1).

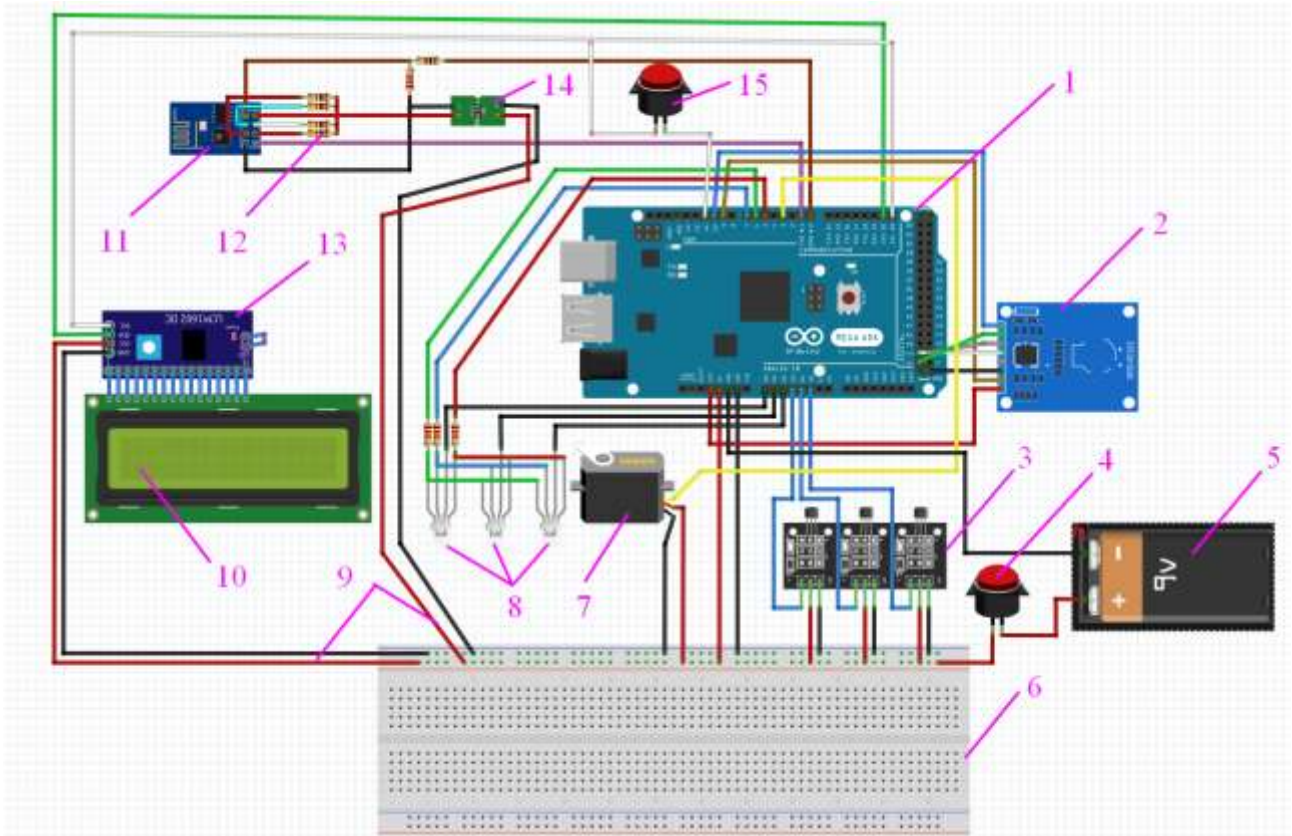
З табл. 2.1 можна побачити, що для діагностики ступеня спастичності одного пальця, наприклад, за шкалою Modified Ashworth Scale (MAS) 3, під диском робочої зони можливо розташувати датчик дотику, наприклад, ТТР223. Зверху така сенсорна кнопка на приладі «Reflex-ТТ3» («Training Touch 3 Sensors») промаркована квадратом такого ж кольору, як світлодіод поряд (див. колонку 1 у табл. 2.1). Якщо йдеться про ушкодження кількох пальців і необхідності їх тренування з 2-точковим, 3-точковим або 4-точковим прикладанням зусиль, тоді доцільно в якості інструменту для торкання робочої зони біля спалахнувшого світлодіода використовувати магнітний інструмент («холдер»), засоби утримання якого наведені у колонках 2–4 табл. 2.1. У такому випадку під робочою зоною кріпляться 3 датчики Холла, наприклад, А3144 – по одному датчику біля кожного світлодіода (рис. 2.2, б). Зверху робоча зона такого діагностичного тренувального пристрою "Reflex-ТН3" («Training Hall 3 Sensors») промаркована колами, кольори яких відповідають кольорам спалаху світлодіодів.

Таблиця 2.1 – Пальці (групи пальців) для тренування та необхідні датчики

Кількість пальців для тренування	1	2	3	4
Позиція пальців під час тренування				
Магнітний інструмент	Не потрібний			
Тип датчика	Сенсорний	Холла	Холла	Холла
Стартові бали за шкалою MAS	2–3	1–2	1–2	від 1+ до 2
Фінішний бал за	1+	0	0	1

шкалою MAS				
---------------	--	--	--	--

Для компонування розроблених прототипів електронних компонентів та документування було використано програмний застосунок з вільним доступом Fritzing v. 0.9.3 (рис. 2.3).



Умовні позначення: 1 – мікроконтролерна плата Arduino; 2 – RFID модуль; 3 – датчики (Холла або дотику); 4 – кнопка живлення; 5 – Li-Po акумулятор 9 V; 6 – монтажна плата; 7 – сервопривод; 8 – LED світлодіоди (RGB); 9 – перемички Дюпон; 10 – LCD екран; 11 – Wi-Fi модуль; 12 – резистори; 13 – I²C модуль; 14 – DC конвертор 3V/5V; 15 – кнопка «Старт».

Рисунок 2.3 – Схема з'єднання модулів ДТ-приладів серії «Reflex – Тхх»

Рухливість робочої зони ДТ-пристроїв серії «Reflex-Тхх» реалізоване шляхом закріплення диска на шпинделі сервоприводу, наприклад, SG-90, та вимагає повороту кисті руки в діапазоні 30 градусів. Завдання пацієнта – слідувати руху робочої зони пристрою.

Взаємодія ДТ-приладу з власним гаджетом пацієнта та/або з мікросервісами моніторингу, зберігання та аналізу результатів тестування у складі апаратно-

програмної системи (АПС) здійснюється за допомогою WiFi-модуля, наприклад, ESP-01 з серії ESP8266 через UART за допомогою набору AT-команд.

2.2 Розробка програмного забезпечення приладів серії «Reflex-Txx» на платформі Arduino

2.2.1 Початок розробки проекту

Щоб реалізувати програмний застосунок, за допомогою якого будуть накопичуватися та передаватися до мікросервісів результати роботи оператора з приладом, доцільно використовувати середовище розробки Arduino IDE [18].

До складу середовища Arduino IDE входить вбудований текстовий редактор програмного коду, область повідомлень, вікна виведення тексту (консолі), панелі інструментів з кнопками команд, що часто використовуються і декількох меню (рис. 2.4). Програмувати і завантажувати прошивки можна через Arduino IDE версії не нижче 1.6.5.

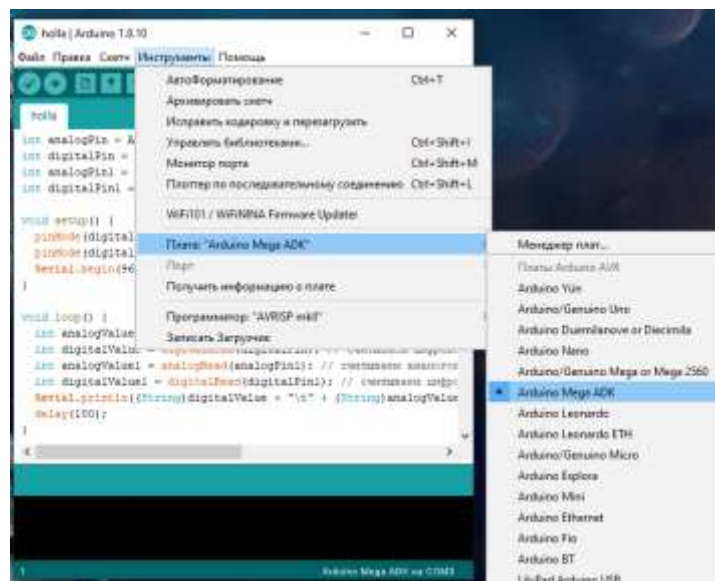


Рисунок 2.4 – Вигляд програмного середовища Arduino

ATmega2560 в Arduino Mega ADK випускається з прошитим завантажувачем, що дозволяє завантажувати в мікроконтролер нові програми без необхідності використання зовнішнього програматора. Взаємодія з ним здійснюється за оригінальним протоколом STK500.

Скетч – програма, написана в середовищі Arduino IDE. Перед завантаженням скетчу потрібно задати параметри в меню **Tools> Board i Tools> Serial Port**.

2.2.2 Робота з сервомотором SG-90 в середовищі розробки Arduino IDE

Бібліотека **Servo** дозволяє здійснювати програмне керування до 12 сервоприводами. Для цього заводиться змінна типу **Servo**. Управління здійснюється наступними функціями: **attach()** – приєднує змінну до конкретного піна; **write()** – повертає команду сервопривода прийняти деяке значення параметра; **writeMicroseconds()** – повертає команду послати на сервопривод імпульс певної довжини; **read()** – читає поточне значення кута, в якому знаходиться сервопривод; **attached()** – перевірка, чи була приєднана змінна до конкретного піна; **detach()** – виконує дію, зворотню дії **attach()**, тобто від'єднує змінну від піна.

Приклад використання бібліотеки Servo наведений на рис. 2.5.

```
// подключаем библиотеку для работы с сервоприводами
#include <Servo.h>
// создаём объект для управления сервоприводом
Servo myservo;

void setup()
{
  // подключаем сервопривод к 9 пину
  myservo.attach(9);
}

void loop()
{
  // устанавливаем сервопривод в серединное положение
  myservo.write(90);
  delay(500);
  // устанавливаем сервопривод в крайнее левое положение
  myservo.write(0);
  delay(500);
  // устанавливаем сервопривод в крайнее правое положение
  myservo.write(180);
  delay(500);
}
```

Рисунок 2.5 – Приклад використання бібліотеки Servo

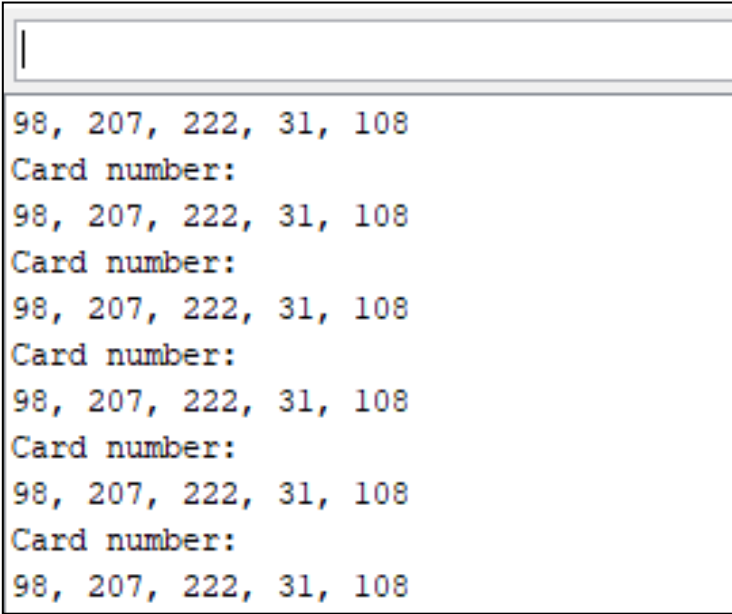
У функції «**void setup()**» об'єкту для керування сервоприводом необхідно написати функцію «**myservo.attach(9)**» для приєднання змінної до конкретного піну. Після чого у функції «**void loop()**» пишуться команди для сервоприводу.

2.2.3 Робота з RFID-модулем RC522 у середовищі розробки Arduino IDE

Для роботи з модулем потрібно встановити бібліотеку **RFID Library for MFRC522**. Після установки потрібно завантажити розроблений тестовий скетч, наведений у додатку В.1.

В даному скетчі перш за все потрібно створити об'єкт для керування RFID модулем, і в ньому задати номери піну SDA і RST. Також потрібно підключити бібліотеку «**SPI**», яка ініціалізує шину SPI, встановлюючи піни SCK, MOSI, і SS як виходи і рівень сигналу на SCK і MOSI – «LOW» і на SS – «HIGH». Потім проініціалізувати метод «**SPI.begin()**», а також метод «**rfid.init()**» в функції «**void setup()**».

Для зчитування номера карти **cardRead** треба включити моніторинг послідовного порту. Потім мітку потрібно піднести до зчитувача («рідера»); при цьому відбудеться ініціалізація мітки і на моніторі з'явиться адреса картки в десятковому форматі (рис. 2.6).



```
98, 207, 222, 31, 108  
Card number:  
98, 207, 222, 31, 108  
Card number:  
98, 207, 222, 31, 108  
Card number:  
98, 207, 222, 31, 108  
Card number:  
98, 207, 222, 31, 108  
Card number:  
98, 207, 222, 31, 108
```

Рисунок 2.6 – Адреса картки в десятковому форматі

2.2.4 Робота з датчиком Холла в середовищі розробки Arduino IDE

Для роботи з датчиками Холла не потрібно встановлювати допоміжні бібліотеки. Приклад скетчу наведений на рис. 2.7. Щоб працювати з датчиками

Холла достатньо оголосити в функцію **void setup()** та функцію **pinMode(digitalPin, INPUT)**, де **pinMode()** встановлює режим роботи заданого входу/виходу (**digitalPin**) як входу або як виходу.

```
int analogPin = A0; // с аналогового вихода датчика Холла
int digitalPin = 7; // с цифрового вихода датчика Холла

void setup() {
  pinMode(digitalPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int analogValue = analogRead(analogPin); // считываем аналоговое значение
  int digitalValue = digitalRead(digitalPin); // считываем цифровое значение
  Serial.println((String)digitalValue + "\t" + (String)analogValue);
  delay(100);
}
```

Рисунок 2.7 – Приклад скетчу для роботи з датчиками Холла

У функції **void loop()** відбувається зчитування аналогового і цифрового значення, після чого виводиться на монітор.

Програмний код для всієї рухомої робочої зони з використанням датчиків Холла наведений у додатку В.2.

2.2.5 Робота з LCD I2C-модулем в середовищі розробки Arduino IDE

Для взаємодії Arduino с LCD 2004 по шині I²C потрібні, як мінімум, дві бібліотеки:

- бібліотека **Wire** для роботи з шиною I²C вже є в стандартній програмі Arduino IDE;
- бібліотека **LiquidCrystal_I2C**, яка включає в себе команди для керування LCD-екраном по шині I²C і дозволяє зробити скетч простіше і коротше.

Після підключення до скетчу всіх необхідних бібліотек створюємо об'єкт і можемо використовувати всі його функції (рис. 2.8).

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Підключення бібліотеки
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // Указуємо I2C адрес (найбільш розповсюджені)

void setup()
{
  lcd.init();           // Ініціалізація дисплея
  lcd.backlight();     // Підключення підсвітки
  lcd.setCursor(0,0);  // Установка курсора в начало первой строки
  lcd.print("Hello"); // Набор текста на первой строке
  lcd.setCursor(0,1);  // Установка курсора в начало второй строки
  lcd.print("REFLEX-TH"); // Набор текста на второй строке
}

void loop()
{
}

```

Рисунок 2.8– Приклад використання бібліотеки LiquidCrystal_I2C

У деяких випадках при використанні зазначеної бібліотеки з приладом, обладнаним контролерами PCF8574, можуть виникати помилки. У цьому випадку в якості альтернативи можна запропонувати бібліотеку **LiquidCrystal_PCF8574**, яка розширює **LiquidCrystal_I2C**.

2.2.6 Робота з WiFi-модулем ESP-01 у середовищі розробки Arduino IDE

Для початку роботи необхідно завантажити з офіційного сайту останню версію Arduino IDE. Більш старі версії типу 1.0.5 не підійдуть, тому що не мають потрібного функціоналу.

Запускаємо середовище розробки і переходимо у пункт Меню **Файл / Параметри** (рис. 2.9).

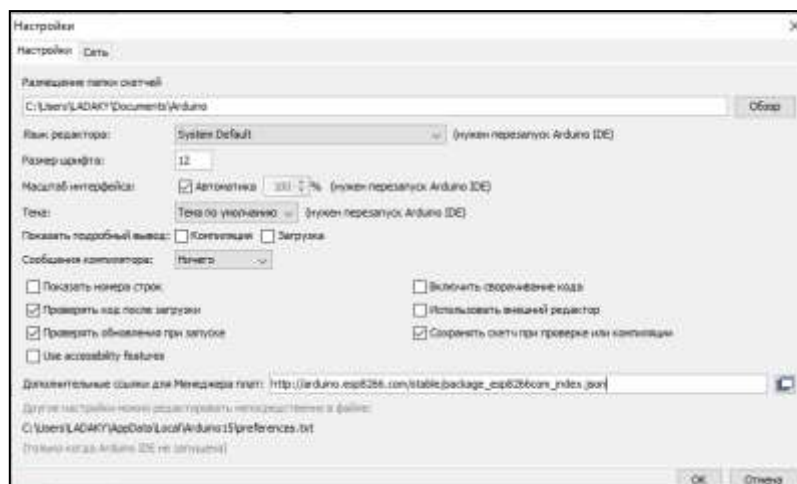


Рисунок 2.9 – Додаткові посилання для «Менеджера плат»

Вставляємо посилання в поле «Додаткові посилання для Менеджера плат» і тиснемо «ОК». Після цього потрібно встановити бібліотеку «*esp8266 by ESP8266 Community*» в менеджері бібліотек.

Після того, як WiFi-модуль запрограмований у середовищі розробки Arduino, «рідна» прошивка модуля видаляється, і в результаті втрачається можливість працювати з модулем за допомогою AT-команд (рис. 2.10).

```

ля r$ dbh) „fa)  Б lm pBrí д 'r"bl сBr-ыНh лоньд # рдh#l {lрyаnа  í l  с оBrN l„Br Бс
Ai-Thinker Technology Co. Ltd.

ready
AT

OK
AT+GMR
AT version:0.21.0.0
SDK version:0.9.5

OK

```

Рисунок 2.10– Вивід даних про WiFi-модуль на LCD-екран

Робота виконується за наступним алгоритмом:

- підключення USB-TTL до USB і до ESP;
- запуск Arduino IDE;
- вибрати в меню потрібні інструменти: порт, плату, частоту і розмір flash-пам'яті;
- Файл – Приклади – ESP8266WiFi – WiFiWebServer;
- записати в скетчі SSID і пароль мережі Wi-Fi;
- почати компіляцію і завантаження коду;
- дочекатися закінчення процесу прошивки, від'єднати GPIO0 від землі;
- поставити швидкість 115200 Kbps;
- відбудеться підключення, буде записана IP-адреса;
- відкрити браузер, ввести в адресному рядку номер IP/gpio/1;
- подивитися монітор порту: якщо до виходу GPIO2 підключений світлодіод, він повинен загорітися.

2.3 Архітектура АПС зберігання та обробки даних пацієнтів

Розроблені ДТ-прилади можуть розглядатися як вузли Інтернету речей для домашньої мережі [19]. Такі прилади можуть підключати різноманітні датчики, які можуть бути замінені у відповідності до медичних рекомендацій для пацієнта. У порівнянні з відомими рішеннями запропонований підхід не потребує перепрограмування приладу у разі заміни датчика на інший тип.

Отримані з кожного приладу дані передаються на мікросервіси АПС через бездротову мережу з розподіленням потоку даних окремо за кожним виконаним завданням у розрізі кожної з 5 спроб однієї сесії. **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Завданнями розробленої АПС є:

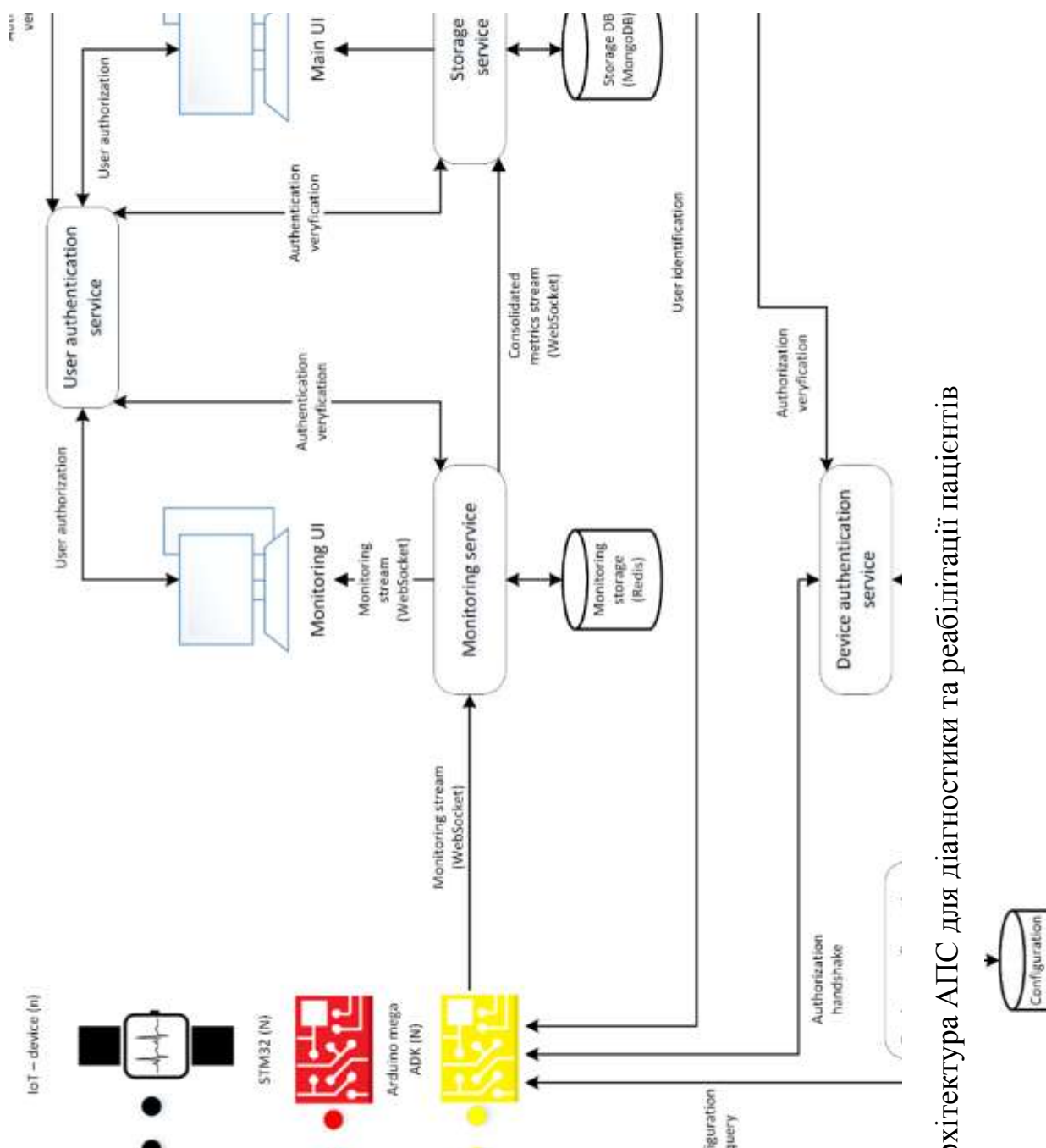
- 1) збір даних з датчиків на достатньо великій кількості розроблених ДТ-приладах або IoT-приладів промислового виготовлення;
- 2) перегляд метрик у реальному часі;
- 3) аналіз даних, зібраних за деякий проміжок часу.

Для виконання наведеного списку задач АПС розділена на декілька сервісів, кожен з яких виконує конкретну задачу в рамках всієї системи. Тобто, використаний підхід до розробки, який називають сервіс-орієнтованою архітектурою.

Мікросервісна архітектура – це найбільш актуальна тенденція в проектуванні, розробці та наданні сервісів програмного забезпечення. Вони являють собою підхід до архітектури програмного забезпечення і систем, заснований на усталеній концепції модульності. Кожен модуль – кожен мікросервіс – реалізований і працює як невелика, але незалежна система, що забезпечує доступ до його внутрішньої логіки і даних через чітко визначений мережевий інтерфейс. Це підвищує гнучкість програмного забезпечення, оскільки кожен мікросервіс стає незалежною одиницею розробки, розгортання, операції, управління версіями і масштабування.

На рис. 2.11 наведена архітектура сервісів АПС, яка передбачає наявність 6 сервісів, та кількох розроблених пристроїв серії «Reflex-Txx» та IoT-пристроїв

промислового виконання. У такому випадку передача даних між серверами відбувається з використанням відкритих каналів зв'язку.



Структура даних АПС у розрізі об'єктів наведена на рис. 2.12 та м складається з таких об'єктів, як часовий проміжок (**timestamp**), дані користувачами (**user_id**), навчальні класи (**workspace_id**), середній час виконання завдання протягом однієї сесії (**avg_time**) та ін.

Рисунок 2.11 – Архітектура АПС для діагностики та реабілітації пацієнтів

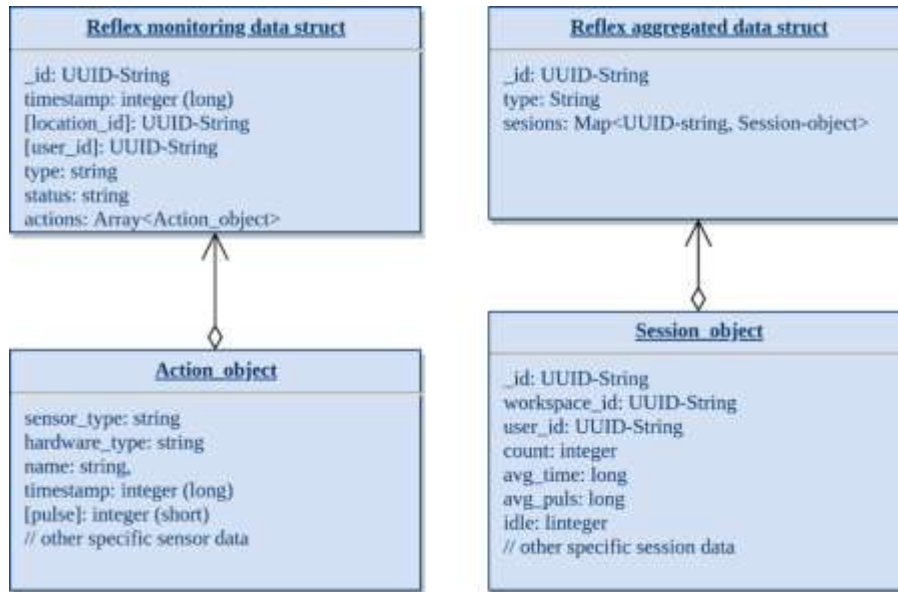


Рисунок 2.12 – Структура даних АПС у розрізі об’єктів

В такому разі даними обмінюються, наприклад, Програмно-приладний комплекс збору первинних даних з датчиків – Служба моніторингу на основі СКБД Redis – Сервер аналізу даних для на основі технології WebSocket та СКБД MongoDB – Сервіс візуалізації даних на основі технології SPA – Single Page Application (див. рис. 2.11).

В якості повідомлень (на подобу месенджером) виступають json-файли, структура яких узгоджується для кожної пари учасників протоколу обміну даними.

3 ПІДГОТОВКА ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТРЕНУВАНЬ

3.1 Режим тренувань

У відповідності до медичних рекомендацій, пальці рук мають утримувати холдер (магніт) до 30 секунд, перш ніж відпустити його [20], тому час однієї спроби був обраним у 30 с з розподілом на 20 дій (дотиків до робочої зони приладу).

Під час першого ввімкнення приладу на LCD-екрані відобразиться логотипи приладу з вказанням задіяних датчиків: ТНЗ – трьох датчиків Холла, ТТЗ – трьох сенсорних кнопок (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – LCD-екран на корпусі тренувального приладу «Reflex – ТНЗ»

Для того, щоб користувач зміг авторизуватися, в нього повинна бути особиста RFID-карта. У результаті піднесення RFID-карти до відповідного поля на приладі, на LCD-екрані відобразиться ID користувача за форматом XXX-XX-XXX (рис. 3.2).

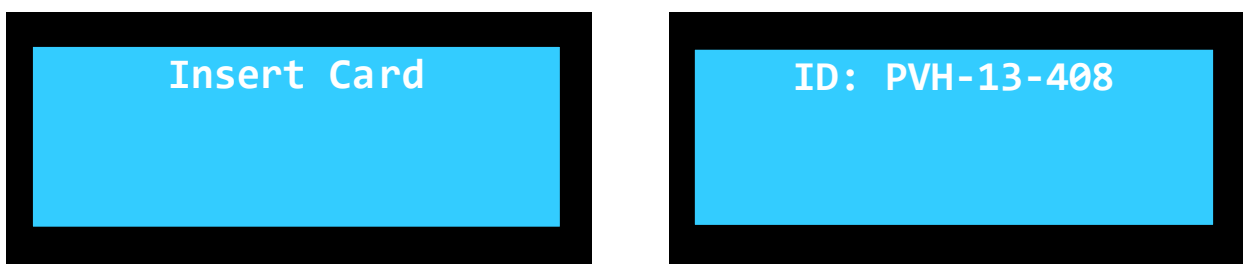


Рисунок 3.2 – Запит на авторизацію

Для того, щоб пройти тест на приладі «Reflex-ТНЗ», користувачу потрібно взяти магніт і підносити його біля світлодіоду того кольору, який загорівся.

Після успішного завершення тесту відбудеться звукове супроводження, і на LCD-екрані відобразиться повідомлення про закінчення тесту **Test Complete**.

Також виведеться повідомлення про **Etalon t** та про ковзний середній час **MovAver t** (з посиленням впливом новіших даних у порівнянні зі старішими) і кількість спроб **SumAttempts** (рис. 3.3,а). Також користувачу відобразиться статистика спроб, в якій буде відображено кількість спроб проходження тесту, відомості про помилки, які здійснив користувач при кожному екшені (англ. **Action** – дія, яка зафіксована сенсором) протягом однієї спроби тесту (рис. 3.3, б).



а)

б)

Рисунок 3.3 – Результати тестування після закінчення тренування: а – середній час; б – статистика тестування (вдалі екшени кожної спроби/загальна кількість)

За одну сесію (англ. **Session**) користувач може здійснити не більше п'ять спроб (**Attempts**). Після закінчення тесту статистика передається через мережу Інтернет до сервісів моніторингу, зберігання та аналізу.

Тренувальний прилад «Reflex – ТТЗ» на основі сенсорних датчиків дотику виконаний на платформі Arduino за схемотехнічними рішеннями, описаними вище для приладу «Reflex – ТНЗ». Однакова конструкція всіх приладів серії «Reflex – Тхх» дозволяє здійснювати зміну робочої зони – або на датчиках Холла, або на датчиках дотику – на корпусі тренувального приладу.

Послідовність виконання тренувальних тестів на «Reflex – ТТЗ» аналогічна описаній для «Reflex – ТНЗ», тільки дія виконується шляхом дотику замість магнітного інструменту – тобто, безпосередньо пальцем оператора, що навчається, до маркованої RGB-площадки відповідного кольору після загоряння RGB-світлодіода. Заміна робочого поля ТНЗ на ТТЗ не потребує змін у програмному коді тренувального приладу «Reflex – ТТЗ».

Таким чином, розроблене апаратно-програмне забезпечення подає на робочу зону ДТ-приладу «Reflex-Txx» серію з 20 світлових імпульсів з інтервалом 1,5 с. У випадку високого рівня спастичності за шкалою MAS [21], або в результаті надмірно уповільненої реакції пацієнта цей інтервал може бути збільшеним до 3 с (з кроком 500 мс) за допомогою кнопки справа від LCD-екрана на корпусі ДТ-приладу.

В межах однієї сесії виконується не більше 5 спроб. Спроби повторюються з перервами між ними у 10 секунд.

3.2 Візуалізація та обробка даних

Під час роботи пацієнтів з ДТ-приладами «Reflex-Txx» для кожної з 5 спроб в межах серії тренувань записується осцилограма з відображенням швидкості реакції пацієнта на загоряння світлодіода певного кольору, а також розраховуються середні значення показників тренування. Всі показники можна побачити на смартфоні за допомогою розробленого мобільного застосунку під керуванням ОС Android.

Для оцінки ефективності тренування застосований метод середнього ковзного, який дозволяє визначити ступінь покращення або погіршення результатів вже під час тренування. В такому разі розраховується середнє значення AVG_i швидкості реакції:

$$AVG_i = \frac{1}{CurCoAc} \sum_{n=1}^{Att} \sum_{i=1}^{CoAc} TR_{i,n}, \quad (3.1)$$

де $CoAc$ – загальна кількість дій у спробі (вбачається, що у кожній з Att_n виконується дій $CoAc = 20$); $CurCoAc$ – кількість виконаних дій на поточний момент часу від початку; Att – кількість спроб у сесії ($Att = 5$).

Для оцінки ефективності тренінгу під час навчання ковзне середнє (англ. Moving Average) MOV_AVG_i обчислюється декількома сусідніми діями NMA у спробі (у наведеному прикладі $NMA = 3$):

$$MOV_AVG_i = \frac{1}{NMA} \sum_{i=NMA}^{Ai=NMA} TR_i. \quad (3.2)$$

Якщо навчання проходить успішно, то його поточне MOV_AVG_i становиться меншим за AVG_i , тобто, час реакції зменшується з плином тренування (рис. 3.4).

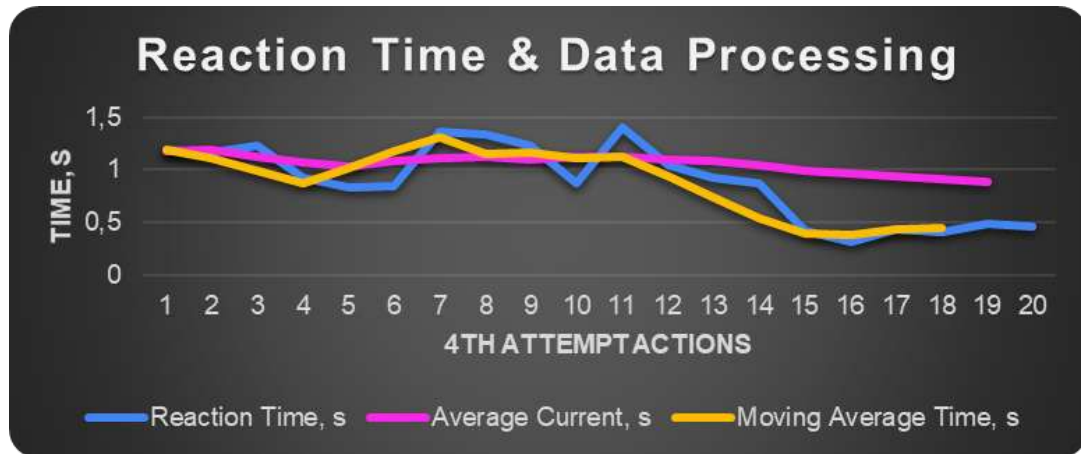
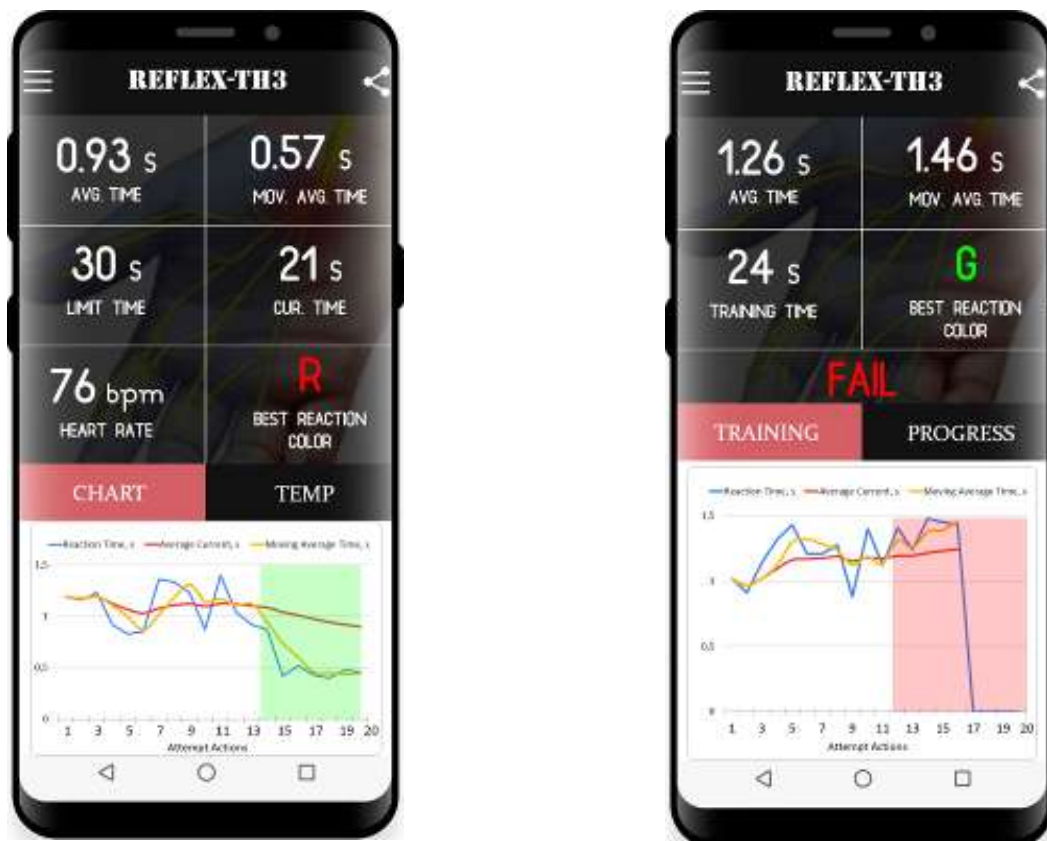


Рисунок 3.4 – Тренування з покращенням результатів з плином часу

На мобільному інтерфейсі цей перехід навчання до фази покращення результатів позначений як «Зелена зона» (рис. 3.5, а).



а)

б)

Рисунок 3.5 – Візуалізація результатів успішного (а) та невдалого (б) тренувань на інтерфейсі мобільного пристрою

Якщо пацієнту важко виконати завдання вчасно, тоді середній час реакції AVG_i перевищує середнє ковзне (рис. 3.6), й тренування має бути припиненим («червона зона» на рис. 3.5, б). В такому разі доцільно збільшити інтервал між спалахами світлодіодів або змінити кількість точок утримування холдера (кількість пальців у щепоті).

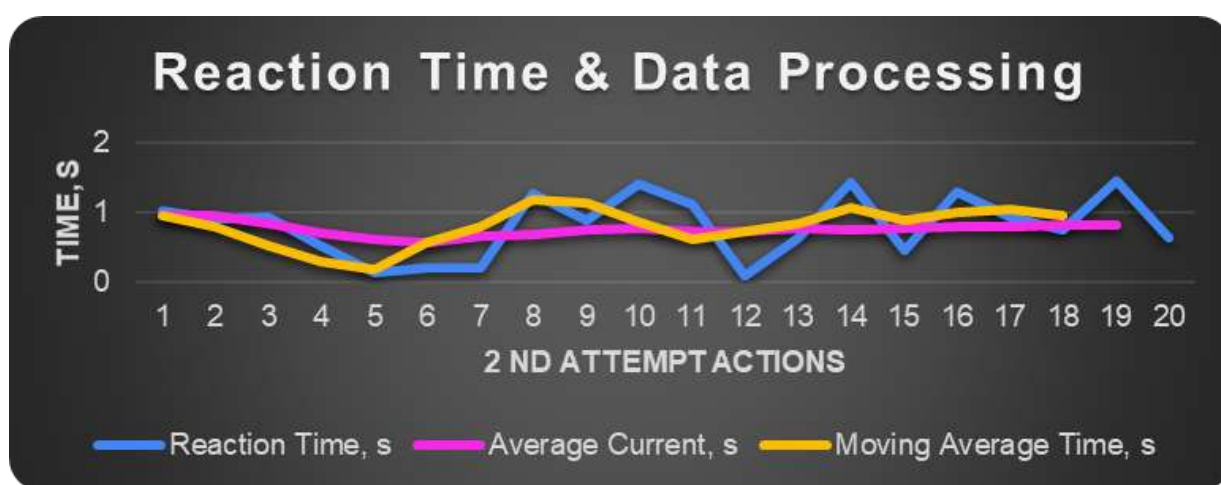


Рисунок 3.6 – Тренування з погіршенням результатів з плином часу

В результаті підвищення інтенсивності рухових навантажень з залученням хапальний рухів пальцями руки у пацієнтів, що тренувалися на апаратах серії «Reflex-Txx», до 3-го тижня відзначалося зменшення спастичності руки на 2 бали за даними модифікованої шкали Ешворта [3].

ВИСНОВКИ

В результаті роботи здійснена апаратно-програмна реалізація технології допоміжних рухів кистей і пальців рук і тренування кольоросприйняття пацієнтів з травмою шийно-грудного відділу хребта та нервів рук, а також досліджена ефективність використання ДТ-приладів на основі мікропроцесорних систем та електронних датчиків у відновленні рефлексів рухів пацієнтів.

Доведено, таке лікування з тренуваннями на приладах розробленої серії «Reflex-Txx» добре переноситься без побічних ефектів. Застосування роботизованих пристроїв, як додаток до звичайної фізіотерапії, надає позитивних зрушень у лікуванні вже загалом через 150 хвилин усього випробування.

З відновленням рефлексів, зростанням м'язової сили і підвищенням швидкості реакції користувачі розробленої АПС можуть зіткнутися з тим, що платформа Arduino перестане справлятися з тим обсягом обчислень, який очікується від неї отримати. Може банально не вистачати швидкодії у розрахунках, оновленні інформації на дисплеях, відправки даних та інших ресурсовитратних дій, а ще може просто закінчитися оперативна пам'ять. В такому випадку можна перейти на більш просунуту платформу STM32.

Однак, слід зауважити, що поліпшення апаратних ресурсів пристроїв спричинить за собою і значне подорожчання приладів, а також істотне зростання їх енергоспоживання.

Тому вважаємо за доцільне в першу чергу приділити увагу оптимізації програмного коду безпосередньо для компонентів платформи Arduino: аналізу використання змінних відповідних типів, переходу від дій з числами з плаваючою точкою до цілочисельного типу, заміну ділення і зведення в ступінь – множенням, заміну Arduino-функцій на пряму роботу з портами і т. п. Такий підхід дозволить зберегти мінімальну вартість апаратного забезпечення і таким чином здійснювати витрати на розширення парку пристроїв, збільшуючи тим самим кількість пацієнтів, яким можна допомогти в процесі реабілітації після травм шийного відділу хребта і пошкоджень нервів кисті та пальців руки.

Таким чином, проведені дослідження свідчать, що комплексна терапія з застосуванням мікропроцесорних пристроїв для відновлення рефлексів пальці рук та спастичності після інсульту і травм шийно-грудного відділу хребта вимагає подальшого аналізу та вивчення ефективності у порівнянні зі стандартною монотерапією.

Робота пройшла апробацію на трьох Міжнародних конференціях, одна з трьох публікацій прийнята для індексації у базі Scopus. Результати роботи впроваджені у держбюджетній науково-дослідній роботі (НДР), що підтверджене Актом впровадження. Наведене дослідження фінансувалось та підтримувалось у рамках держбюджетної НДР Міністерства освіти і науки України протягом 2019 р.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. “Spinal cord injury: Hope through research”, in NIH Publication, no. 13–160, July 2013. Available at: <https://www.ninds.nih.gov/Disorders/Patient-Caregiver-Education/Hope-Through-Research/Spinal-Cord-Injury-Hope-Through-Research> [National Institute of Neurological Disorders and Stroke, Bethesda, USA).
2. Management of carpal tunnel syndrome evidence-based clinical practice guideline: Adopted by the American Academy of Orthopaedic Surgeons, February 29, 2016. Available at: https://www.aaos.org/uploadedFiles/PreProduction/Quality/Guidelines_and_Reviews/guidelines/CTS%20CPG_2.29.16.pdf.
3. Ю. О. Матвієнко, “Спастичність: огляд проблеми,” Медицина світу, Том XXIV, № 4, Квітень 2008. URL: <http://msvitu.com/archive/2008/april/article-3.php?print=1> [Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького].
4. M. Clemente, M. Dallarmi, K. B. Felipe, et al. “Comparative study of the psychological well-being of healthy volunteers, paralympic athletes and non-athletes with spinal cord injury,” *Int. J. of Sports and Physical Educ. (IJSPE)*, vol. 5, is. 2, pp. 23–29, May 2019. DOI: 10.20431/2454-6380.0502003.
5. В. А. Толмачева, “Постинсультная спастичність, індивідуалізований підхід к лечению,” *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*, № 8(4), С. 71–76, 2016. DOI: 10.14412/2074-2711-2016-4-71-76.
6. R. Saunders, R. Astifidis, S. Burke, J. Higgins, and M. A. McClinton, *Hand and upper extremity rehabilitation. E-book: A practical guide. Elsevier Health Sciences*, November 2, 2015, 608 p.
7. E. Williamson, C. McConkey, P. Heine, S. Dosanjh, M. Williams, and S. E Lamb, “Hand exercises for patients with rheumatoid arthritis: an extended follow-up of the SARAH randomised controlled trial,” *BMJ Open*, April 12, 2017 ; 7:e013121. 11 p. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-013121.

8. Н. Г. Завгородняя, Л. Е. Саржевская, Т. Е. Цибекская, и др. Заболевания зрительного нерва. Запорожье : ЗНМУ, 2015, 79 с. URL: http://dspace.zsmu.edu.ua/bitstream/123456789/2224/1/15Zabol_zritel%27nogo_nerva_p_rakt.pdf.

9. K. Nas, L. Yazmalar, V. Şah, A. Aydin, Ones, and K. Ones, “Rehabilitation of spinal cord injuries,” *World Journal of Orthopaedics*, vol. 6(1), pp. 8–16, January 2015. DOI: 10.5312/wjo.v6.i1.8.

10. “SIGN Guideline 118: Management of patients with stroke: Rehabilitation, prevention and management of complications, and discharge planning. A national clinical guideline”, Recommended by Order of the Ministry of Health of Ukraine from 03.08.2012 № 602. Available at: <https://studfile.net/preview/4510226/page:18/>.

11. R. Dymarek, J. Taradaj, and J. Rosińczuk, “Extracorporeal shock wave stimulation as alternative treatment modality for wrist and fingers spasticity in poststroke patients: A prospective, open-label, preliminary clinical trial,” *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 2016, article ID 4648101, 10 p. DOI: 10.1155/2016/4648101.

12. A. Trunov, “Recurrent approximation in the tasks of the neural network synthesis for the control of process of phototherapy,” Chapter 10 in *Computer Systems for Healthcare and Medicine*, River Publishers, 2017, pp.213–248.

13. A. Trunov, and A. Belikov, “Recurrent approximation in the tasks of the neural network synthesis for the control of process of phototherapy,” 2019 10th IEEE Int. Conf. on Intell. Data Acquisition and Adv. Computing Syst.: Technol. and Applic. (IDAACS), Metz, France, September 18–21, 2019. DOI: 10.1109/IDAACS.2019.8924240.

14. I. Burlachenko, I. Zhuravska, Y. Davydenko, and V. Savinov, “Vulnerabilities analysis and defense based on MAS method in fast dynamic wireless networks,” *IEEE 4th Int. Symp. on Wireless Syst. within the Int. Conf. on Intell. Data Acquisition and Adv. Computing Syst. (IEEE IDAACS-SWS)*, Lviv, Ukraine, pp. 98–102, September 20–21, 2018. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525692.

15. H. Ukhina, V. Sytnikov, O. Streltsov, P. Stupen, and D. Yakovlev, "Stability evaluation based on the sustainability triangle application for transfer functions above 2nd order," The 3rd Int. Conf. on Computer Sci. and Applic. Engin. (CSAE 2019), Sanya, China, October 22–24, 2019, ACM Digital Libr., Article No.: 6, pp. 1–5. DOI: 10.1145/3331453.3361305.

16. D. Rumiankov, I. Zhuravska, L. Solobuto, and M. Musiyenko, "Reduction of noise similar to solar interference in computer networks based on Power Line Communication," IEEE 8th Int. Conf. on Intell. Data Acquisition and Adv. Computing Syst. (IDAACS), Bucharest, Romania, vol. 1. pp. 215–221, September 21–23, 2017. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095079.

17. Y. Krainyk, Y. Davydenko, and V. Starchenko, "Message-level Decoding of Error Patterns for Turbo-Product Codes," 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, 2019, pp. 660–663. DOI: 10.1109/ELNANO.2019.8783849.

18. Arduino. Programming Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/structure/further-syntax/curlybraces/> (Last accessed: 28.12.2019).

19. Y. Krainyk, Y. Davydenko, and V. Tomas, "Configurable control node for wireless sensor network," 2019 3rd Int. Conf. on Adv. Information and Communic. Technol. (AICT), Lviv, Ukraine, July 2–6, 2019. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847732.

20. K. Martinez, "Causes and treatments for stiff fingers: Medically review," Medical News Today, October 31, 2019. Available at: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/326867.php>.

21. Е. В. Костенко, Л. В. Петрова, А. В. Лебедева, и А. Н. Бойко, "Комплексная реабилитация пациентов с постинсультной спастичностью руки в амбулаторно-поликлинических условиях," Нервные болезни, № 3, С. 30–38, 2013.

Додаток А

Копії тез доповідей на конференціях

А.1 Матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. «Free and Open Source Software (FOSS'2019)» / Харків. нац. ун-т будівництва та архітектури, Харків, 19-21 листопада 2019 р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

ХІ-ої МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«FREE AND OPEN SOURCE SOFTWARE»



Дякуємо за підтримку



19-21 листопада 2019 р.
м. Харків

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВІДКРИТИМ КОДОМ НА БАЗІ ARDUINO IDE
ДЛЯ АПАРАТІВ БЕЗКОНТАКТНОЇ РЕФЛЕКСОДІАГНОСТИКИ**

Reflex-foss-2019-theses-page-066

У різних галузях діяльності людини поширюється створення та використання неінвазивних методів діагностики швидкості реакції людини, координації рухів, уважності тощо, а також для тренування відповідних навичок. Для цього створюються різноманітні програмно-апаратні системи з використанням відповідних датчиків – датчика Холла, ультразвукового датчика відстані, інфрачервоного датчика руху та ін.

Для реалізації зазначеного програмно-апаратного забезпечення можуть бути обрані такі компоненти апаратної частини: мікроконтролерна плата Arduino Mega ADK, побудована на мікросхемі ATmega2560; макетна плата; датчики різних типів; джерело живлення; LCD-дисплей; WiFi-модуль; RFID-модуль радіочастотної ідентифікації користувача; сервопривод SG90; RGB-діоди; засоби з'єднання компонентів.

Щоб реалізувати програмний застосунок, що буде накопичувати результати роботи людини з апаратом та проводити попередню оцінку рефлексів людини, доцільно та достатньо використовувати середовище розробки Arduino IDE.

Середовище розробки Arduino IDE складається з вбудованого текстового редактора програмного коду, області повідомлень, вікна виведення тексту (консолі), панелі інструментів з кнопками часто використовуваних команд і декількох меню [1].

Перед завантаженням скетчу потрібно задати необхідні параметри в меню Tools> Board і Tools> Serial Port.

Arduino IDE надає ряд корисних можливостей, серед яких присутні:

- Можливість працювати з декількома файлами скетчів (кожен відкривається в окремій закладці). Файли коду можуть бути стандартними Arduino (без розширення), файлами C (розширення *.c), файлами C++ (*.cpp) або головними файлами (.h).
- Підтримка роботи з апаратними засобами різних виробників, скетчі для яких додаються в відповідну підпапку папки блокнота. Встановлені платформи можуть включати власні характеристики (в меню платформи), кореневі бібліотеки, завантажувач (Bootloader) і характеристики програматора.
- Наявність бібліотек, що додають додаткову функціональність скетчам, наприклад, при роботі з апаратною частиною або при обробці даних. Для використання бібліотеки необхідно вибрати меню Sketch> Import Library.
- Моніторинг послідовної шини (Serial Monitor), через яку дані посилаються в платформу Arduino (плата USB або плата послідовної шини).
- Можливість обміну інформацією з платформою через програми Processing, Flash, MaxMSP і т. д. [2].

Таким чином, Arduino IDE надає безліч інструментів і різноманітний інтерфейс для створення програмно-апаратного забезпечення з різною архітектурою, що дозволять не тільки отримувати дані для подальшої передачі на сервер, а й здійснювати попередні обробку та відображення даних з апаратів безконтактної рефлексодіагностики безпосередньо на місці обстеження та тренування.

Література

[1] Arduino.UA. Программирование Ардуино [Електронний ресурс]. – Режим доступу к ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/prog/>

[2] Arduino. Programming Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу к ресурсу: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/structure/further-syntax/curlybraces/>

**БЕЗПЕКА ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ,
ПОБУДОВАНІЙ ЗА МІКРОСЕРВІСНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ**

Reflex -foss-2019-theses-page-092

В інформаційних системах (ІС), що виконують навчально-тренажерні, аналітично-консультативні й т. п. функції, персональні дані користувачів не зберігаються в межах локальної мережі, а циркулюють між серверами. При використанні мікросервісної архітектури ІС, сервіси можуть фізично знаходитися не тільки на різних серверах, а й в різних серверних парках або на різних континентах. У такому випадку передача даних між серверами відбувається, в основному з використанням відкритих каналів зв'язку. Питання захисту таких даних від витіку необхідно вирішувати в процесі розробки програмних продуктів як на рівні клієнтського додатка, так і при реалізації алгоритмів обробки даних на серверах. І неважливо, розробляється JavaScript-бібліотека з відкритим вихідним кодом, або пропрієтарна ІС військового призначення, – в переважній більшості проєктів розробці передують різні залежності, вихідний код яких не завжди відкритий або просто не пройшов аудит на безпеку. Слід зазначити, що більшість закритих або потенційно небезпечних залежностей можна замінити перевіреними часом бібліотеками з відкритим вихідним кодом, або в разі, якщо таких немає, можна написати власну реалізацію.

При передачі даних в такий ІС через кабелюні або бездротові канали зв'язку необхідно проаналізувати методи шифрування, що використовуються кожною технологією передачі даних. Так, наприклад, в WiFi-мережах присутнє шифрування радіоканалу, але навіть в новітньому стандарті WPA3 (2018 р.) вже було виявлено низку вразливостей, наприклад, типу Dragonblood. У разі ж використання кабелюного з'єднання, не виключена можливість фізичного вторгнення в канал зв'язку, що дозволяє в багатьох випадках перехоплювати SSL/TLS-трафік, який, здавалося б, досить надійно захищений асиметричним шифруванням RSA, симетричним AES-256 та хеш-функцією. Однак, використання асиметричних алгоритмів з обміном публічними ключами не варто розглядати як ефективне, оскільки для користувача проблематично переносити приватний ключ на нові пристрої, а необхідність постійного обміну публічними ключами створює вразливість для атак типу MitM.

Існує позитивний досвід створення захищеного каналу зв'язку в месенджерах WhatsApp, Viber та ін., де додаткове шифрування – крім стандартних SSL/TLS – виконується з впровадженням алгоритму «Double Ratchet» (укр. «подвійний храповик»), розробленого засновниками компанії Open Whisper Systems [1]. Причому, це скоріше не алгоритм шифрування, а алгоритм управління ключами. Корисною властивістю цього алгоритму є так звана пост-скомпрометована безпека, при якій навіть у випадку перехоплення одного або декількох повідомлень для зловмисника становиться проблематичним отримати несанкціонований доступ до інформації, оскільки генерується безліч ланцюжків ключів.

Зазначений алгоритм можливо адаптувати для забезпечення захищеного каналу зв'язку між сервісами в ІС, побудованій на мікросервісній архітектурі, де даними обмінюються, наприклад, Програмно-апаратний комплекс збору первинних даних з датчиків – Служба моніторингу для ІС аналітично-консультативного комплексу на основі СКБД Redis – Сервер аналізу даних для на основі технології WebSocket та СКБД MongoDB – Сервіс візуалізації даних на основі технології SPA. В такому випадку в якості повідомлень (на подібну месенджером) виступають json-файли, структура яких узгоджується для кожної пари учасників протоколу обміну даними.

Література

[1] Perrin T. The Double Ratchet Algorithm / T. Perrin, M. Marlinspike. – Publ.: 20.11.2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://whispersystems.org/docs/specifications/doubleratchet/doubleratchet.pdf>.

A.2 Proc. of the 2020 IEEE 40th Int. Conf. on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, April 22–24, 2020 / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (*Scopus, in press*).

Hardware-Software Complex to Diagnostic and Rehabilitation the Patients with Damages of Cervical-Thoracic Spine and Hand Nerves

"Reflex" - ELNANO : Proc. of the 2020 IEEE 40th Int. Conf. (*Scopus, in press*)

Abstract— After the damages of the cervical-thoracic spine and hand nerves, the motor and/or sensory functions are impaired, especially fine motor skills of each finger individually or a group of fingers. The paper presents the results of the development and testing series of diagnostic and training devices "Reflex-Txx" for the physical rehabilitation program (therapy) of these patients. The results of each individual's training are accumulated, displayed and analyzed on the microservices of the developed hardware and software complex and available on the user's gadgets. The average-moving method was used to research the effectiveness of training techniques. The electronic components and architecture of the developed devices are described as the minimal cost of hardware implementation.

Keywords— cervical-thoracic spine damage, hand nerves injury, physical rehabilitation, diagnostic and training devices, cost minimization, Arduino hardware, microservice architecture software

I. INTRODUCTION

In accordance with the Classification of American Spinal Injury Association Impairment Scale motor and/or sensory functions are impaired after spinal injuries [1]. In this case, muscles and joints are lost strength and mobility. Damage to the fingers of the hands can also occur as a result of congenital anomalies, office work, strokes, etc. For example, carpal ("tunnel") syndrome can begin with a decrease in the motor functions of the fingers, muscle weakness, etc. [2].

Rehabilitation programs have to combine physical therapies with exercises toward muscle strengthening and redeveloping fine motor skills. According to medics, strategies for recurring episodes of spasticity are very important. Post-stroke spasticity of the limb is one of the most frequent motor disturbances. Spasticity is reported in more than 12 million people worldwide [3]. The most common are lesions from injuries of the upper extremity (UE) pains with a rate of 26% to 96% [4].

Therapeutic exercises and a gradual increase in motion, including apparatus treadmill, loads play a leading role in the treatment of spasticity [5]. Adaptive devices also may help people with spinal cord injury and hand nerve damage to regain independence and improve mobility and quality of life. Such devices may include computer adaptations and other computer-assisted technology.

II. BACKGROUND

It is important in time, before the development of contractures ("clawed paw", "monkey paw"), to identify affected fingers (Fig. 1) and to provide the necessary hardware to carry out the training programs to overcome muscle weakness and to develop fingers.



Fig. 1. Fingers (groups of fingers) to be diagnosed/trained

It is advisable to follow the Management of carpal tunnel syndrome evidence-based clinical practice guidelines, adopted by the American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) in 2016 [2]. In addition to medical tests and health surveys using sophisticated equipment (Ultrasound scan, CT or MRI, X-rays, etc.), these Recommendations also provide for special simple mechanical tests. These recommendations also give examples of strong evidence that supports no benefit to routine postoperative immobilization (splinting). It says about the effectiveness of short-term difference in regards to grip strength, pinch strength, and range of motion up 17.5 months via the 4-week courses of sensory and therapy motion exercises relearning home program. Such approach calls simple exercises running on simple, inexpensive devices. A treatment with allowing an early range of motion exercises has contributed to the improvement in motion in the short 2-week term in 2-point and 3-point pinch strength. This effect was not present follow-up ordinary immobilization even at the 3-month [2].

Thus, it is important not only to localize the problem, but also to contribute to the decision to train the finger (in case of muscle weakness) or to solve about immobilization the finger to reduce the risk of further complications (in case of injury or inflammation).

For some diagnoses, the doctor may also recommend doing some gentle exercises to stretch the fingers, which may help reduce stiffness and improve mobility even to participants with rheumatoid arthritis [6], [7]. This is possible with the help of special devices for practicing individual movements with your fingers.

The results of injuries in the cervical spine can also lead to atrophy of the optic nerve and as a result, it becomes quite difficult to distinguish colors, color perception is distorted, and the field of vision sharply narrows to red color [8]. Therefore, in diagnostic and training (DT) devices for detecting dichromasia, it is also advisable to include components associated with the determination of the base colors (RGB).

Specific training can improve function, coordination of fine muscle movements, and overall strength and health. Scientists note the relative effectiveness of an intensive task-specific motor training program added to standard rehabilitation compared with standard rehabilitation alone for improving hand function [9]. Early rehabilitation is important to prevent joint contractures of the hand and fingers, as well as the loss of muscle strength [10].

Worldwide, hardware methods for the treatment of degenerative-dystrophic diseases of articular or periarticular tissues are being studied and successfully applied, the extracorporeal shockwave therapy of fingers flexor muscles in poststroke patients [11], phototherapy [12], [13], etc.

However, it should be borne in mind that the above devices are full-scale, designed to treat all parts of the spine and joints, and therefore are characterized by large dimensions and cost. For the sake of this, it's relevant to develop small-sized low-cost DT devices, which you need to use regeneration-stimulating the regrowth of axons and targeting their connections appropriately by repeating the coordinated motions with particular fingers and finger groups.

The aim of this study is hardware and software implementation of assistive movement technology and training of color sensitivity of patients with damage of the cervical and thoracic spine and hand nerves, as well as the study of the effectiveness of use in the rehabilitation the movements of the hands and fingers of participants.

It is also important to accumulate the results of training each individual in the database of the hardware-software complex (HSC) to adjust training regimes and achieve the best possible results. It should be noted that the transfer of a patient's personal data from the DT device to the servers occurs, mainly through the open communication channels. Based on this, vulnerabilities of wireless networks introduce additional risks to ensure the confidentiality and integrity of transmitted data [14]. As a result, the data of diagnosis and testing of patients may be distorted. To prevent this, it is necessary to provide for the presence of special tools in the HSC architecture to assess the stability of the system [15] and reduce noise from other electronic and IoT devices [16]. If dangerous factors cannot be eliminated from communication channels, it is advisable to use methods and tools that indicate error positions in the message and focus on implementation on hardware platforms used in the HSC development [17].

III. DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC-TRAINING DEVICES AND HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX

A. Development of Hardware

Considering the recommendations made above, a series of diagnostic and training devices "Reflex-Txx" was developed. Each device model has a movable working area, in which 3 LEDs (RGB) and sensors under them are mounted (Fig. 2). The LEDs light up alternately in random order. The patient should touch the colored area near the illuminated LED before the next light signal.



Fig. 2. Diagnostic and training devices of the "Reflex-Txx" series

In this way, the patient's perception of RGB colors, the reaction time to the LED flash and coordination of movements are evaluated. Considering that fingers from the 1st to the 4th may need diagnostics and training (see Fig. 1), it is planned to touch the area near the flashed LED by a finger or a magnet, which is held by a pinch of 2-, 3- or 4 fingers (Table 1).








Table 1 shows that for diagnosing the degree of spasticity of one finger, for example, according to Modified Ashworth Scale (MAS) of muscle spasticity [3], a touch sensor, for example, TTP223, can be placed under the disk working area. At the top, such a touch button on the "Reflex-TT3" ("Training Touch 3 Sensors") is marked with a circle of the same color as the LED next to it. (see column 3 in Table 1).

If we are talking about the damage of several fingers and the need to train them with 2-point, 3-point and 4-point pinch strength, then it is advisable to use the Magnetic holder as a tool for touching the working area (see columns 2-4 in Table 1). In this case, 3 Hall sensors are attached under the working area, for example, A3144 – one sensor near each LED (Fig. 3). The upper surface of the working area of such a "Reflex-IN3" ("Training Hall 3 Sensors") device is marked with RGB rectangles.



Fig. 3. Hall sensors on the working area of the DT device "Reflex-TH3" (bottom view)

TABLE I. FINGERS (GROUPS OF FINGERS) TO BE TRAINED

The count of training fingers	1	2	3	4
Fingers position during training				
Magnetic pinch holder	Not required			
Sensor Type	Touch	Hall	Hall	Hall
Start Score on the MAS	2-3	1-2	1-2	From 1+ up to 2
Finish Score on the MAS	1+	0	0	1

Arduino software implements an algorithm of a random flash of different colors on each LED, which provides training of the concentration of attention of the patient and promotes the treatment of optic atrophy.

The hardware platform for the developed devices is the widespread Arduino platform. Despite the rapid departure of the microelectronics market towards the STM32 platform, the Arduino platform still holds a fairly strong position in the segment of devices for home use. These include, among others, small-sized finger training devices according to the recommendations of AAOS [2].

The convenience of Arduino for development home training programs is due to the presence of its own ecosystem of the platform, knowledgebase, C++ programming environment, wide software functionality, accessible shields, ease of use. When equipped with high-quality electronic components from the original vendors, devices based on the Arduino platform can well satisfy the needs of the market of biomedical electronic devices for monitoring, diagnostics and treatment.

An open-source software tool Fritzing v. 0.9.3 has been used to layout electronic components and document developed prototypes (Fig. 4).

The device "Reflex-Txx" rotates the work zone over a range of 30 degrees while vibrators via servomotor, for example, SG-90. The patient's task is to track the device working area movement turning own hand.

Interaction of the DT of the device with the computer or the patient's own gadget is carried out using a Wi-Fi module, for example, ESP-01 of the ESP8266 series via UART using a set of AT commands.

B. The Architecture of Hardware-Software Complex

Developed DT devices of the "Reflex-Txx" series and industrially produced monitoring IoT devices could be

considered as the Internet-of-Things nodes for Home Area Network (HAN) [18]. Such devices can connect different sensors that can be substituted further according to the medical recommendation for the patient. In comparison with known solutions, the proposed approach does not require a reprogramming device in case of sensor type has been changed.

The data received from each DT device is transmitted to the services of the developed HSC via a wireless network with the distribution of the data flow separately for each task in the context of each of 5 attempts to complete it [19].

The tasks of development HSC are:

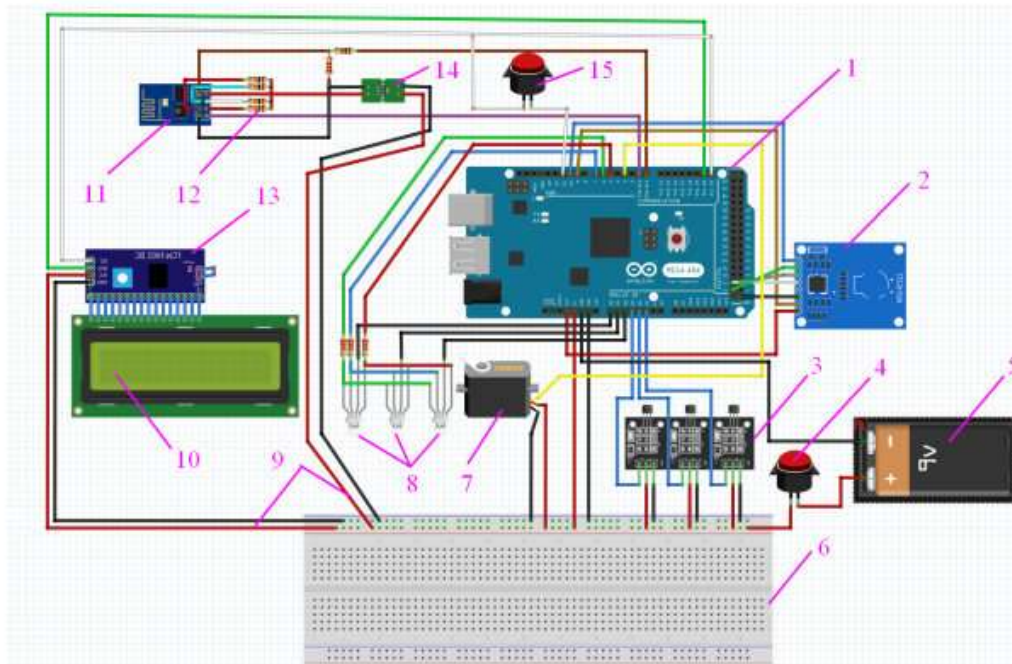
1. Data collection from sensors in the training complex (from several types of workplaces with developed DT devices or IoT devices of industrial production).
2. View metrics in real-time.
3. Analysis of data collected over a period of time.

To accomplish this task list, HSC is divided into several services, each of which performs a specific task throughout the system. That is, an approach called service-oriented architecture is used during development.

In this case, data is exchanged, for example, between:

- DT devices that collect primary sensors data.
- Monitoring Service for HSC based on Redis Database Management System (DBMS).
- Data Analysis and Storage Service based on WebSocket technology and MongoDB DBMS.
- Single Page Application (SPA) Data Visualization Service and others (Fig. 5).

Messages are JSON files, the structure of which is agreed for each pair of participants in the communication protocol.



Legend: 1 – microcontroller board (central control) Arduino; 2 – RFID module; 3 – sensors (Hall or touch); 4 – power button; 5 – Li-Po Battery 9 V; 6 – circuit board; 7 – servo motor; 8 – LED (RGB); 9 – breadboard Dupont jumper wires; 10 – LCD screen; 11 – Wi-Fi module; 12 – resistors; 13 – I2C module; 14 – DC converter 3V/5V; 15 – start button.

Fig. 4. Wiring diagrams of the modules in “Reflex – Txx” series DT device

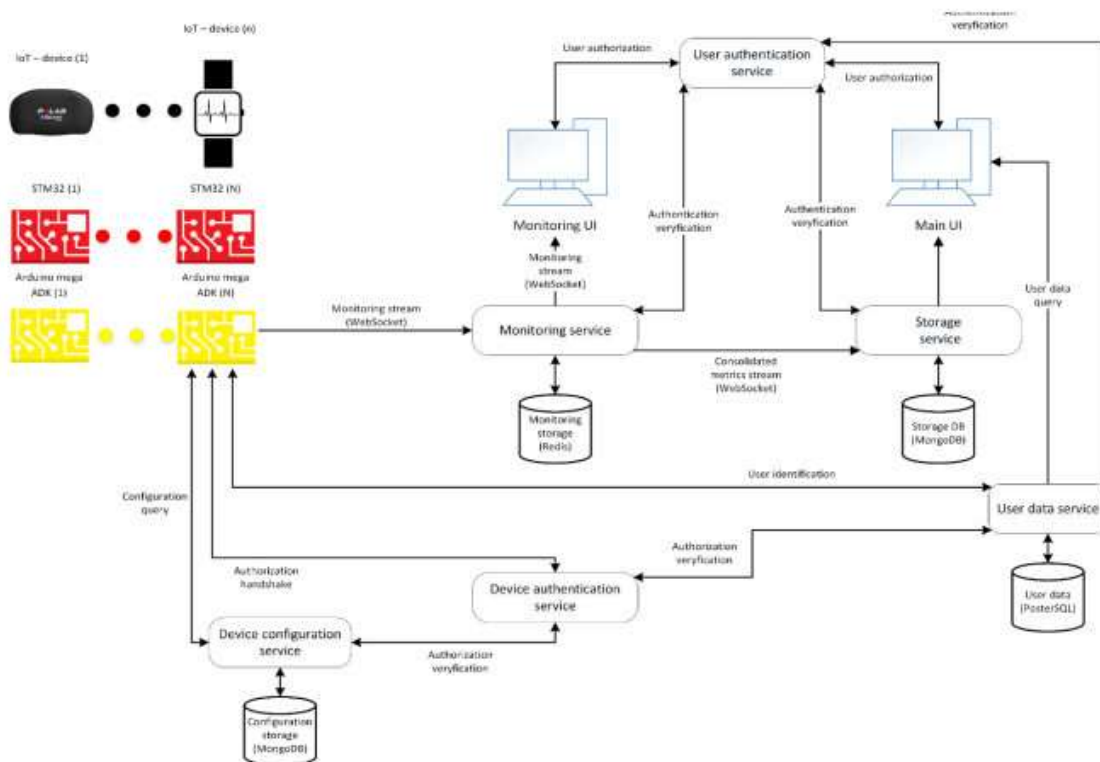


Fig. 5. The architecture of hardware-software complex to diagnostic and rehabilitation the patients

IV. PREPARE EXERCISES AND MEASUREMENT

A. Training mode

Following the medical advice to hold the pinch for up to 30 s before releasing it [20]. One attempt time on "Reflex-Txx" has selected 30 s divided into 20 actions. The attempt repeats up to 5 times with 10-second breaks in between.

Thus, the developed hardware-software complex supplies a series of 20 light flashes with an interval of 1.5 s to the working area of the "Reflex-Txx" device. In the case of a high level of spasticity by MAS and as a result of a slower patient reaction, this interval may be increased.

B. Data Visualization and Processing

During the work of patients with "Reflex-Txx" devices, for each of 5 attempts of a piece of training series, an oscillogram is recorded showing the patient's reaction speed to the light-emitting diode of a certain color, and average values of training indices are calculated. All results can be seen on the smartphone using the developed mobile application (Fig. 6).

The average moving method was used to evaluate the effectiveness of the training. It allows you to determine the degree of improvement or deterioration of results already during training. In this case, at first, the average value of the reaction time AVG_i is calculated as:

$$AVG_i = \frac{1}{CurCoAc} \cdot \sum t_{in}; \quad (1)$$

$$i = [1, CoAc];$$

$$n = [1, Att];$$

where $CoAc$ – the total number of actions in the attempt Att_n (supposed that is performed $CoAc = 20$ actions in each attempt); $CurCoAc$ – the number of actions performed at the current time from the beginning of the attempt; Att – the number of attempts in session ($Att = 5$).

To evaluate the effectiveness of training over the course of training, the average moving time is calculated by the three neighboring actions in an attempt:

$$MOV_AVG_i = \frac{1}{3} \sum t_{i-2} + t_{i-1} + t_i \quad (2)$$



Fig. 6. The visualization of the successful training results (a) and failed training (b) on mobile interface

If the training is successful, then with its current MOV_AVG_i becomes smaller than AVG_i , that is, reaction time decreases during training time (Fig. 7). On the mobile interface, this transition of training to the phase of improving results is marked as "Green Zone" (as in Fig. 6,a).

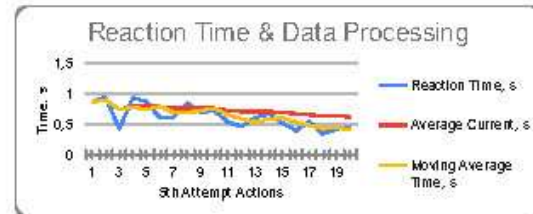


Fig. 7. The training with improving outcomes over time

If it is difficult for the patient to complete the task on time, then the average reaction time AVG_i overrun the moving average, and training should be interrupted ("Red Zone" on Fig. 6,b). In this case, it is advisable to increase the interval between flashes of LEDs or to change a number of application points of pinch strength.

At the same time, after successful completion of the test on the DT device "Reflex-Txx" the sound will be accompanied and the message "Test Complete" will be displayed on the LCD screen. The DT device name, main characteristics and statistics of successful attempts during the session will be shown up (Fig. 8).

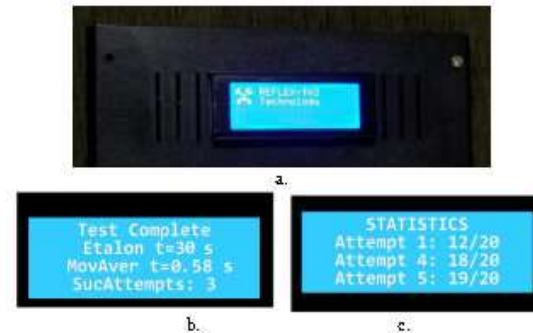


Fig. 8. Device logo (a) and test results after training: b – move average time; c – test statistics (unsuccessful / successful actions of each attempt)

As a result of increasing the intensity of motor loads with the involvement of gripping movements of the fingers in the patients trained on the devices of the "Reflex-Txx" series, by 3rd week there was observed a decrease in spasticity of the hand by 2 points according to the MAS [3].

CONCLUSIONS

Thus, medical studies and training on the developed "Reflex-Txx" series indicate that passive therapy with robotic devices for rehabilitation of the stroke and spinal trauma requires further analysis and cost-effectiveness compared to standard therapy. It is proven that such treatment is well tolerated without side effects. The use of diagnostic training devices, in addition to conventional physiotherapy, gives positive shifts in treatment after a total of 150 minutes of the entire trial.

In the absence of positive changes in the developed hardware and software complex (HSC), reprogramming of intervals between light flashes, the pauses between attempts to rest the patient according to medical recommendations is provided. The HSC also provides for connection to the IS of personal IoT devices to monitor the general condition of the patient to prevent overloading his.

As your skills grow, muscle strength increases, and patients' response rates increase, you will find that the Arduino platform will no longer cope with the amount of computing you want to get from it. It may be come to lack performance in calculations, updating information on displays, sending data and other resource-consuming actions, and it may just run out of memory. In this case, you can upgrade to a more advanced STM32 platform. However, it should be noted that improving the hardware resources of devices will entail a significant increase in the cost of devices, as well as a significant increase in their power consumption. Therefore, we consider it appropriate to first of all pay attention to optimizing the program code directly for the components of the Arduino platform: analysis of the use of variables of the corresponding types, transition from actions with floating-point numbers to an integer type, replacement of division to multiplication, replacement of the Arduino-function to work with ports, etc.

This approach will save the minimum cost of hard and thus spend on expanding the device fleet. Thereby can be increasing the number of patients who can be assisted with home programs in the course of rehabilitation after cervical spine injuries and damage to the nerves of the hand and fingers.

ACKNOWLEDGMENT

This study was funded and supported by

Research Work by the Ministry of Education and Science of Ukraine.

REFERENCES

- [1] "Spinal cord injury: Hope through research", in NIH Publication, no. 13-160, July 2013. Available at: <https://www.ninds.nih.gov/Disorders/Patient-Caregiver-Education/Hope-Through-Research/Spinal-Cord-Injury-Hope-Through-Research> [National Institute of Neurological Disorders and Stroke, Bethesda, USA].
- [2] Management of carpal tunnel syndrome evidence-based clinical practice guideline: Adopted by the American Academy of Orthopaedic Surgeons, February 29, 2016. Available at: https://www.aaos.org/uploadedFiles/PneProduction/Quality/Guidelines_and_Reviews/guidelines/CTS%20CPG_2.29.16.pdf.
- [3] Yu. O. Matviienko, "Spasticity: Review of problem," *Medicine of the world*, vol. XXIV, is. 4, April 2008. Available at: <http://msvitu.com/archive/2008/april/article-3.php?print=1> [in Ukrainian].
- [4] M. Clemente, M. Dallarmi, K. B. Felipe, et al. "Comparative study of the psychological well-being of healthy volunteers, paralympic athletes and non-athletes with spinal cord injury," *Int. J. of Sports and Physical Educ. (IJSP)*, vol. 5, is. 2, pp. 23-29, May 2019. DOI: 10.20431/2454-6380.0502003.
- [5] V. A. Tolmachova, "Poststroke spasticity: An individualized approach to treatment," *Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics*, vol. 8(4), pp. 71-76, 2016. DOI: 10.14412/2074-2711-2016-4-71-76. [in Russian].
- [6] R. Saunders, R. Astifidis, S. Burke, J. Higgins, and M. A. McClinton, *Hand and upper extremity rehabilitation - E-book: A practical guide*. Elsevier Health Sciences, November 2, 2015, 608 p.
- [7] E. Williamson, C. McConkey, P. Heide, S. Dosarij, M. Williams, and S. E. Lamb, "Hand exercises for patients with rheumatoid arthritis: an extended follow-up of the SARAHI randomised controlled trial," *BMJ Open*, April 12, 2017; 7:e013121. 11 p. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-013121.
- [8] N. G. Zavgorodnyaya, L. E. Sarzbevskaaya, T. E. Tsybekskaaya, et al. *Optic nerve diseases*. Zaporozhye: ZSMU, 2015, 79 p. Available at: http://dspace.zsmu.edu.ua/bitstream/123456789/2224/1/15Zabol_zrite1%27nogo_perva_prakt.pdf [in Russian].
- [9] K. Nas, I. Yazsalar, V. Sah, A. Aydin, Ones, and K. Ones, "Rehabilitation of spinal cord injuries," *World Journal of Orthopaedics*, vol. 6(1), pp. 8-16, January 2015. DOI: 10.5312/wjo.v6.i1.8.
- [10] "SIGN Guideline 118: Management of patients with stroke: Rehabilitation, prevention and management of complications, and discharge planning. A national clinical guideline", Recommended by Order of the Ministry of Health of Ukraine from 03.08.2012 № 602. Available at: <https://studfile.net/preview/4510226/page:18/>.
- [11] R. Dymarek, J. Taradaj, and J. Rosińczuk, "Extracorporeal shock wave stimulation as alternative treatment modality for wrist and fingers spasticity in poststroke patients: A prospective, open-label, preliminary clinical trial," *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, vol. 2016, article ID 4648101, 10 p. DOI: 10.1155/2016/4648101.
- [12] A. Trunov, "Recurrent approximation in the tasks of the neural network synthesis for the control of process of phototherapy," Chapter 10 in *Computer Systems for Healthcare and Medicine*, River Publishers, 2017, pp. 213-248.
- [13] A. Trunov, and A. Belikov, "Recurrent approximation in the tasks of the neural network synthesis for the control of process of phototherapy," 2019 10th IEEE Int. Conf. on Intell. Data Acquisition and Adv. Computing Syst.: Technol. and Applic. (IDAACS), Metz, France, September 18-21, 2019. DOI: 10.1109/IDAACS.2019.8924240.
- [14] I. Burlachenko, I. Zhuravska, Y. Davydenko, and V. Savinov, "Vulnerabilities analysis and defense based on MAS method in fast dynamic wireless networks," IEEE 4th Int. Symp. on Wireless Syst. within the Int. Conf. on Intell. Data Acquisition and Adv. Computing Syst. (IEEE IDAACS-SWS), Lviv, Ukraine, pp. 98-102, September 20-21, 2018. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525692.
- [15] H. Ukhtina, V. Sytnikov, O. Streltsov, P. Stupen, and D. Yakovlev, "Stability evaluation based on the sustainability triangle application for transfer functions above 2nd order," The 3rd Int. Conf. on Computer Sci. and Applic. Engin. (CSAE 2019), Sanya, China, October 22-24, 2019, ACM Digital Libr., Article No.: 6, pp. 1-5. DOI: 10.1145/3331453.3361305.
- [16] D. Rumiakov, I. Zhuravska, I. Solobuto, and M. Musiyenko, "Reduction of noise similar to sclar interference in computer networks based on Power Line Communication," IEEE 8th Int. Conf. on Intell. Data Acquisition and Adv. Computing Syst. (IDAACS), Bucharest, Romania, vol. 1, pp. 215-221, September 21-23, 2017. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095079.
- [17] Y. Krainyk, Y. Davydenko, and V. Starchenko, "Message-level Decoding of Error Patterns for Turbo-Product Codes," 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, 2019, pp. 660-663. DOI: 10.1109/ELNANO.2019.8783849.
- [18] Y. Krainyk, Y. Davydenko, and V. Tomas, "Configurable control node for wireless sensor network," 2019 3rd Int. Conf. on Adv. Information and Communic. Technol. (AICT), Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847732.
- [19] I. M. Zhuravska, O. O. Kosztka, M. P. Musiyenko, W. Surtel, et al., "Self-powered information measuring wireless networks using the distribution of tasks within multicore processors," *Photonics Applic. in Astron., Communic. Industry, and High Energy Physics Exper.*, Wilga, Poland, vol. 10445, UNSP 1044527, May 28-June 06, 2017, 13 p. DOI: 10.1117/1.2.2280965 [Proc. of SPIE - Int. Soc. for Opt. and Photonics].
- [20] K. Martinez, "Causes and treatments for stiff fingers: Medically review," *Medical News Today*, October 31, 2019. Available at: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/326867.php>.

Додаток Б

Акт впровадження результатів роботи у держбюджетну НДР

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

АКТ

впровадження результатів студентської наукової роботи

термін виконання роботи 01.01.2019–31.12.2020

При виконанні НДР в період з 01.01.2019 по 31.12.2019, а також при підготовці проміжного анотованого звіту за 1-й етап виконання НДР пройшов випробування та використані такі наукові й практичні результати розробленого апаратно-програмного комплексу для діагностики та реабілітації хворих з пошкодженнями шийно-грудного відділу хребта та нервів рук:

– доведено, що 80%-вий поріг часу реакції в успішних спробах досягається під час 20 % дій протягом тренувальних спроб, що відповідає засадам принципу Парето. Тому обґрунтовано, що для оцінки ефективності застосування розроблених приладів та методик тренувань шляхом розрахунку досягнутого часу реакції пацієнта на RGB-спалахи приладів доцільно використовувати метод середнього ковзного замість звичайного розрахунку середнього часу реакції пацієнта;

– пристрої, що розроблені на платформі Arduino та функціонують шляхом спрацювання датчиків Холла або датчиків дотику на рухомій робочій зоні приладів, відображають накопичену статистику тренувань на LCD-екранах самих приладів, а також на мобільних пристроях пацієнтів засобами розробленого інтерфейсу користувача;

– в результаті підвищення інтенсивності рухових навантажень пальцями руки у пацієнтів, що тренувалися на апаратах серії «Reflex-Txx», вже на 3-му тижні тренувань (150 хвилин з розбиттям на сеанси) відзначалося зменшення спастичності руки на 2 бали за даними модифікованої шкали Ешворта. Ускладнень після тренувань зафіксовано не було.

«24» січня 2020 р.

Додаток В

Програмний код прошивки модулів ДТ- приладів

В.1 Приклад скетчу для RFID-модуля

```
#include <SPI.h>
#include <RFID.h>

#define SS_PIN 10
#define RST_PIN 9

RFID rfid(SS_PIN, RST_PIN);

int serNum0;
int serNum1;
int serNum2;
int serNum3;
int serNum4;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  rfid.init();
}

void loop()
{
  // Если обнаружена карта
  if (rfid.isCard()) {
    // Считываем адрес
    if (rfid.readCardSerial()) {
      // Выводим его в порт в десятичном представлении
      Serial.println("Card number:");
      Serial.print(rfid.serNum[0], DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[1], DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[2], DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[3], DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[4], DEC);
      Serial.println(" ");
    }
  }
  rfid.halt();
}
```


В.2 Приклад скетчу для рабочей зоны ДТ-прилада на датчиках Холла

```

#include "1a.h"

#define CHOICE_OFF      0 //Используется для управления светодиодами
#define CHOICE_NONE    0 //Используется для проверки кнопок
#define CHOICE_RED     (1 << 0)
#define CHOICE_GREEN   (1 << 1)
#define CHOICE_BLUE    (1 << 2)
#define CHOICE_YELLOW  (1 << 3)

#define LED_RED        10
//#define LED_GREEN    3
#define LED_BLUE       13
#define LED_YELLOW     5

// Определения контактов кнопок
#define BUTTON_RED     9
//#define BUTTON_GREEN  2
#define BUTTON_BLUE    12
#define BUTTON_YELLOW  6

// Определения контактов пищалки
#define BUZZER1        4
#define BUZZER2        7

// Определить параметры игры
#define ROUNDS_TO_WIN  5 // Количество раундов, которые нужно запомнить, прежде чем
                          // выиграть. 13 выполнимо.
#define ENTRY_TIME_LIMIT 3000 // Время нажатия кнопки до истечения времени ожидания новой
                              // сессии. 3000 мс = 3 сек

#define MODE_MEMORY    0
#define MODE_BATTLE    1
#define MODE_BEEGEES  2

// Переменные состояния игры
byte gameMode = MODE_MEMORY; //По умолчанию включается режим с тренировкой памяти
byte gameBoard[32]; //Содержит комбинацию кнопок по мере продвижения
byte gameRound = 0; //Подсчитывает количество успешных раундов, через которые пациент прошел
void setup()
{
    //Настройте аппаратные входы / выходы. Эти контакты определены в заголовочном файле
    hardware_versions

    //Включить подтягивания на входах
    pinMode(BUTTON_RED, INPUT_PULLUP);
    //pinMode(BUTTON_GREEN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BUTTON_BLUE, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BUTTON_YELLOW, INPUT_PULLUP);

    pinMode(LED_RED, OUTPUT);
    //pinMode(LED_GREEN, OUTPUT);
    pinMode(LED_BLUE, OUTPUT);
    pinMode(LED_YELLOW, OUTPUT);

    pinMode(BUZZER1, OUTPUT);
    pinMode(BUZZER2, OUTPUT);

    //Проверка режима

```

```

gameMode = MODE_MEMORY; //По умолчанию включается режим с тренировкой памяти

// Проверьте, нажата ли нижняя правая кнопка
if (checkButton() == CHOICE_YELLOW) play_beegees();

// Проверьте, нажата ли верхняя правая кнопка
//if (checkButton() == CHOICE_GREEN)
//{
// gameMode = MODE_BATTLE; //Переведите устройство в режим готовности

//Включите верхний правый (зеленый) светодиод
//setLEDs(CHOICE_GREEN);
//toner(CHOICE_GREEN, 150);

//setLEDs(CHOICE_RED | CHOICE_BLUE | CHOICE_YELLOW); // Включите другие светодиоды, пока
// не отпустите кнопку

// while(checkButton() != CHOICE_NONE) ; // Подождите, пока пользователь перестанет
// нажимать кнопку

//Теперь ничего не делай.
//}

play_winner(); // После завершения установки проиграть голосовое уведомление
}

void loop()
{
  attractMode(); // Мигает, ожидая, пока пациент нажмет кнопку

  //Укажите начало игрового процесса
  setLEDs(CHOICE_RED | CHOICE_BLUE | CHOICE_YELLOW); // Включить все светодиоды
  delay(1000);
  setLEDs(CHOICE_OFF); // Выключить светодиоды
  delay(250);

  if (gameMode == MODE_MEMORY)
  {
    //Играть в игру памяти и обработать результат
    if (play_memory() == true)
      play_winner(); // Попытка завершена успешно, сыграть звуки победителя
    else
      play_loser(); // Попытка провалена, сыграть проигрыш
  }

  //if (gameMode == MODE_BATTLE)
  //{
  //play_battle(); // Начать следующую попытку
  // play_loser(); // Попытка провалена, сыграть проигрыш
  // }
}

```