

# ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ В МЕДИЧНУ ПРАКТИКУ

**3D-ТЕХНОЛОГІЇ ТА НОСИМА ЕЛЕКТРОНІКА**

АНДРІЙ ЗУЄВ  
ДМИТРО КАРАМАН

## НАЧІПНА ЕЛЕКТРОНІКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

## **Андрій ЗУЄВ, Дмитро КАРАМАН** Начіпна електроніка. Методичні вказівки з практичних занять

Практична робота має на меті налаштування та дослідження начіпного модуля Wit Motion для отримання даних про ходу людини у реальному масштабі часу, а також подальшої їх обробки та дослідження. Розглядаються питання підключення модуля за дротовим та бездротовим інтерфейсом, вплив завад на сенсори модуля та процес калібрування сенсорів.

Матеріали розроблено в рамках виконання проєкту ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ В МЕДИЧНУ ПРАКТИКУ за підтримки Національного технічного університету Харківський Політехнічний інститут (НТУ «ХПІ», кафедра Автоматики та управління в технічних системах), ГО Рада молодих Вчених НТУ «ХПІ» та Посольства США в Україні



**National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"**



YOUNG SCIENTISTS COUNCIL  
OF NTU "KhPI"



EMBASSY OF THE UNITED STATES  
KYIV, UKRAINE

Проєкт реалізовано за підтримки Посольства США в Україні  
Погляди авторів не обов'язково збігаються з офіційною позицією уряду США

# ЗМІСТ

Мета та завдання	3
Теоретичні відомості	5
Порядок виконання завдання	9
Налаштування та калібрування пристрою	11
Отримання даних за допомогою модуля	16

# Мета та завдання

## Мета

Навчитися налаштовувати та застосовувати сенсорний начіпний **модуль** Wit Motion BWT901CL для зняття даних руху людини.

## Завдання

1. Вивчення інструкції з використання та технічних характеристик модуля. Підключення модуля до мобільного телефону за допомогою бездротового інтерфейсу (Bluetooth).
2. Дослідження поведінки модуля в некаліброваному стані.
3. Підключення модуля до ПК за дротовим інтерфейсом USB.
4. Вивчення розширених налаштувань модуля.
5. Калібрування сенсорів модуля: акселерометра, гіроскопа та магнітометра за допомогою програмного забезпечення на ПК (або на телефоні).
6. Дослідження поведінки модуля у відкаліброваному стані.
7. Кріплення модуля до тіла людини та дослідження характеру змін показань сенсорів під час ходи та інших рухових активностей. Запис файлу треку та його подальше збереження для обробки.

## Необхідне обладнання та програмне забезпечення

- 1) Сенсор Wit Motion BWT901CL
- 2) ПК з інтерфейсом Bluetooth 2.0 або конвертером інтерфейсів UART-USB (для підключення за допомогою дротового з'єднання)
- 3) Програмне забезпечення Wit Motion для мобільного телефону та ПК.

## Очікувані результати

1. Навчитися підключати пристрій за допомогою різних типів інтерфейсів (дротового та бездротового) до ПК та мобільного телефону.
2. Навчитися калібрувати та робити налаштування сенсорів модуля.
3. Навчитися отримувати дані з сенсорів модуля для подальшої обробки.

# Теоретичні відомості

Вимірювання біомеханіки людини дозволяє діагностувати розлади в опорно-руховому апараті людини та планувати лікування. Для цього застосовуються найсучасніші засоби, які включають неінвазивні (начіпні) електронні пристрої, електромеханічні системи та комплекси, розумний одяг та екзоскелети. За останні роки проведено велику кількість досліджень застосування цих пристроїв для діагностування, лікування корекції та профілактики.

Начіпні пристрої — це електронні пристрої, які можна прикріпити, наприклад, до тіла, як-от годинник, взуття або датчики тіла, як показано на малюнку. Ці пристрої мають можливість отримувати сигнали безпосередньо з тіла пацієнта, наприклад: температуру, частоту серцевих скорочень, артеріальний тиск, прискорення, обертання та ін.

Найважливішою областю використання таких пристроїв є моніторинг фізичної активності людини в реальному масштабі часу. Зовнішній вигляд начіпного сенсорного модуля BWT901 наведено на рис.1.



*Рисунок 1 – начіпний сенсорний модуль BWT901*

BWT901 — це мультисенсорний пристрій, який визначає прискорення, кутову швидкість, магнітне поле та обчислює кути. Пристрій має міцний корпус та невеликі габарити і вбудоване джерело електроживлення. Зарядження та під'єднання модуля відбувається за допомогою інтерфейсу USB-C.

Для індикації стану модуля на боковій поверхні є два світлодіоди, червоного та синього кольорів. Червоний колір означає, що йде процес заряджання батареї модуля. Синій колір показує стан модуля: мигаючий - модуль чекає підключення, постійний синій - модуль підключено та надсилаються дані.

Модуль можна під'єднати до ПК або мобільного телефону як за дротовим (через USB) так і за бездротовим інтерфейсом (Bluetooth).

Модуль має в своєму складі чотири сенсори: акселерометр для вимірювання прискорень відносно прискорення сили тяжіння, гіроскоп для вимірювання швидкостей обертання, магнітометр для вимірювання напруженості магнітного поля та датчик температури, який використовується для компенсації зсуву показників інших сенсорів. Також у складі модуля є обчислювальна система, яка поєднує показники з сенсорів за допомогою фільтра Калману і обчислює кути обертання сенсору у просторі.

Модуль може зчитувати дані з сенсорів з частотою до 256Гц, а також передавати пакети даних назовні з частотою до 200 Пакетів/с. Ці частоти можуть бути налаштовані у відповідному програмному забезпеченні.

Формат пакету, який видає модуль, також може бути змінено, в нього можна додати окрім показників сенсорів та кутів ще відліки часу та інші технічні дані, або навпаки, прибрати деякі дані.

## Види сенсорів

### Акселерометр

Основний елемент модуля - акселерометр – це сенсор, заснований на законах Ньютона - тіло, що рухається, або залишається в стані спокою, або продовжує рухатися з постійною швидкістю, якщо на нього не діє сила.

Акселерометр складається з маси, прикріпленої до пружин, і вимірює переміщення маси для отримання прискорення. Фактично цей сенсор вимірює уявне прискорення, векторну різницю справжнього прискорення і прискорення вільного падіння.

*Щоб отримати корисні результати від акселерометра, потрібно компенсувати силу тяжіння, величина прискорення якої загальновідома.*

Зазвичай вимірювання здійснюється в тривимірному просторі, і тому використовуються три перпендикулярні акселерометри для вимірювання прискорення в кожному напрямку в системі тіла.

Через різні ефекти, такі як нагрівання та опір середовища навколо маси, акселерометр також має деяке зміщення та шум, які потрібно фільтрувати та компенсувати.

Однак, оскільки акселерометр прикріплений до тіла, напрямок сили тяжіння обертається разом з обертанням датчика та не є постійним, *тому потрібен ще один сенсор, який допоможе знайти величину цього "обертання".*

### Гіроскоп

Орієнтація тіла зазвичай отримується за допомогою гіроскопів, також трьох встановлених перпендикулярно один одному, які вимірюють кутову швидкість навколо трьох осей у локальній системі тіла. Якщо відома початкова орієнтація у світовій системі, то виміряні кутові швидкості можна використовувати для визначення поточної орієнтації тіла відносно світової системи. Це також дозволяє обертати вектор прискорення до відповідних значень в світовій системі.

У гіроскопах використовується вібруюча або обертова маса в поєднанні з ефектом Коріоліса для вимірювання зміни кутової швидкості. Результуюче зміщення пробної маси вимірюється через ємнісну структуру сенсору.

Але у гіроскопа виникає так званий «дрейф нуля» від зміни температури, від руху і просто з часом, який необхідно враховувати та компенсувати.



Підсумовуючи, використання комбінації вимірювань прискорення та кутової швидкості дає змогу отримати позиціонування об'єкта в трьох вимірах в світовій системі.

*Це основний принцип дії інерційних вимірювальних систем (ІВС), прикладом якої є модуль Wit Motion, який досліджується.*

Основна проблема роботи з ІВС полягає в тому, що дані які отримуються з сенсорів, схильні до накопичення помилок. При використанні акселерометрів для розрахунку положення дані прискорення інтегруються для отримання значень швидкості та положення. Так само, гіроскопи вимірюють кутову швидкість, і для отримання значень орієнтації потрібна інтеграція.

В обох випадках це призводить до того, що будь-яка помилка у вимірюваннях накопичується з часом, створюючи похибку в оцінці положення. Незалежно від того, наскільки точні датчики використовуються, ці сукупні помилки можуть зробити оцінки придатними лише на короткий проміжок часу.

*Потрібен ще якісь сенсор, який би давав постійну прив'язку.*

### **Магнітометр**

Магнітометр є ще одним важливим компонентом ІВС, він виявляє магнітне поле навколо себе. Оскільки Земля має магнітне поле від магнітного півдня до магнітної півночі та магнітний компонент направлений до центру Землі, це можна використовувати як абсолютне вимірювання для визначення орієнтації ІВС відносно світової системи координат.

Важливим моментом, який необхідно враховувати при використанні магнітометра, є компенсація зсуву, який виникає під впливом «м'якого» та «твердого» заліза.

Зсув «м'якого» заліза спричиняється об'єктами поблизу магнітометра, які, хоча самі по собі не є магнітними, але викликають спотворення магнітного поля, яке фіксує магнітометр.

Зсув «твердого» заліза – спричинений збурюючими магнітними полями, які знаходяться поблизу магнітометра. Це можуть бути, наприклад, електричні пристрої або постійні магніти.

# Порядок виконання завдання

## Під'єднання модуля до мобільного телефону за допомогою бездротового інтерфейсу

### 1. Підключення модуля до мобільного телефону за допомогою інтерфейсу Bluetooth

1.1 Переключити вмикач модуля в стан ON, після чого загориться синій світлодіод та почне мерехтяти – це означає, що модуль готовий до підключення.

1.2 Ввімкнути Bluetooth на телефоні. Знайти пристрій та приєднати його за допомогою Bluetooth (код під'єднання 1234).

1.3 Запустити програму WitMotion, обрати тип пристрою BWT901CL та здійснити пошук модулів (Search Device), обрати пристрій у списку (рис. 2).

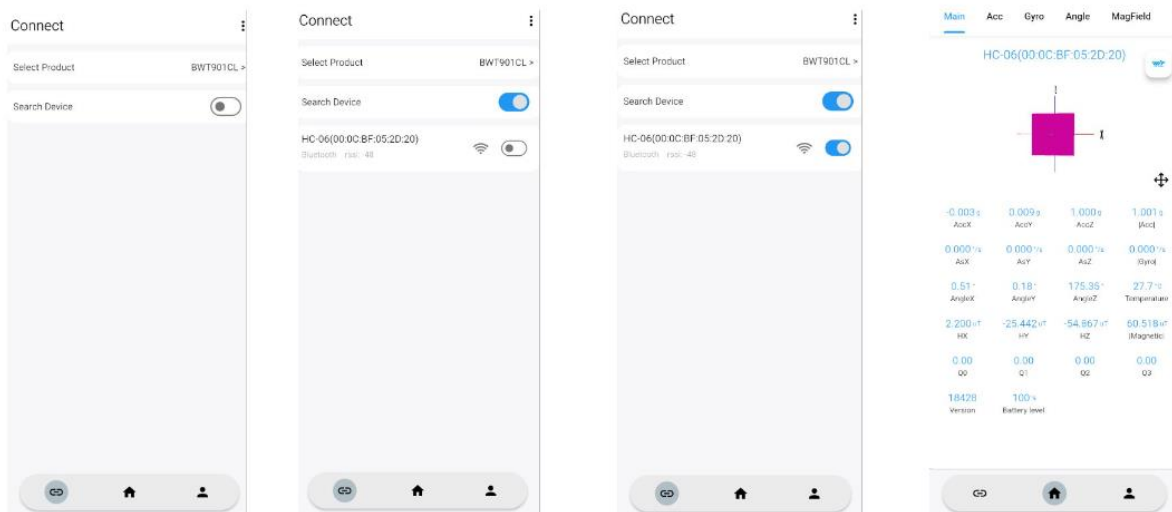


Рисунок 2 – підключення сенсорного модуля BWT901

Після чого натиснути на  та переглянути дані, які надсилає сенсор.

1.4 Куб на вкладинці Main повинен реагувати на обертання сенсору.

## 2. Дослідження поведінки модуля в некаліброваному стані

2.1 На відповідних сторінках програми можна побачити у графічній формі дані які надходять з сенсорів (Рис. 3).

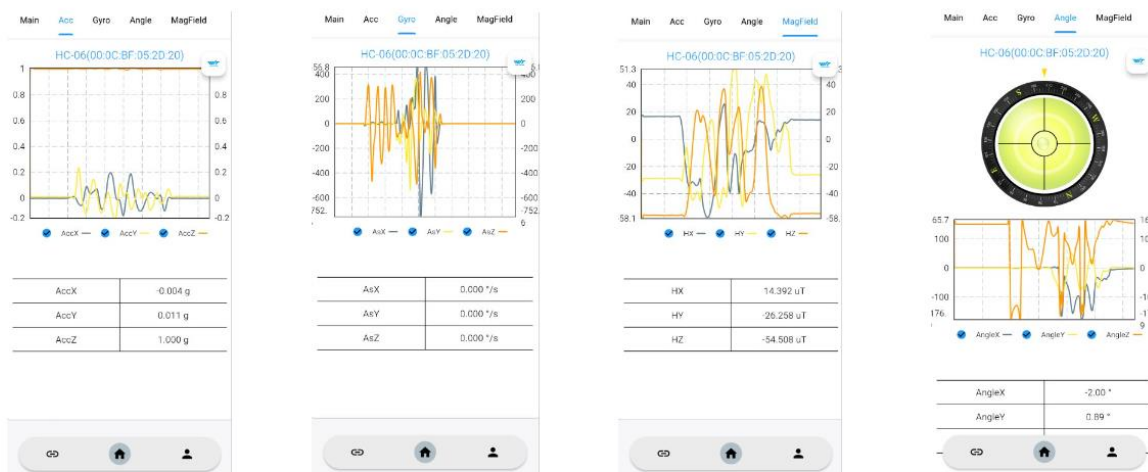


Рисунок 3 – Дані, що надходять з сенсорів у програмі WitMotion

2.2 На сторінці Angle можна побачити компас та кути, які пристрій розраховує за допомогою фільтра Калману. Оберніть пристрій декілька разів навкруги осі Z, і ви побачите, як змінюються кути на екрані телефону.

2.3 Перейдіть на вкладку MagField та дослідіть вплив металевих або магнітних предметів на показники, які надсилає магнітометр, для чого потрібно піднести до модуля якийсь металевий предмет, наприклад, викрутку та дослідити зміни показників магнітного поля сенсору.

2.4 Перейдіть на вкладку Angle, оберніть пристрій навколо осі Z (Рис. 4).

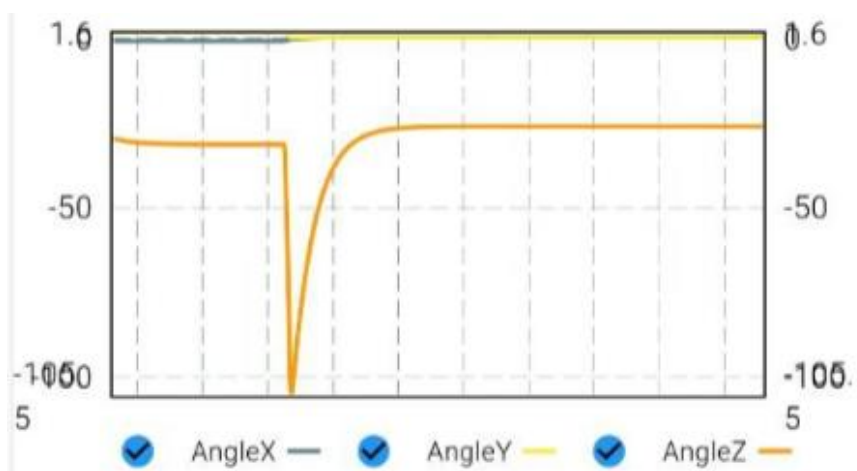


Рисунок 4 – Визначення необхідності калібрування модуля BWT901

Можна побачити, що кут напряду (помаранчева лінія AngleZ) повертається до якогось значення через деякий час після закінчення обертання.

*Це означає, що модуль не є коректно відкаліброваним і потрібно провести його налаштування та калібрування сенсорів.*

## Налаштування та калібрування пристрою

### 3. Підключення модуля до ПК за дротовим інтерфейсом USB

3.1 Під'єднати модуль за допомогою кабелю USB до ПК. Переконайтеся що загорівся червоний світлодіод, це означає, що зовнішнє електроживлення модуля підключено.

3.2 Запустити програму WitMotion і в меню обрати порт, до якого підключено модуль, ввести швидкодію 115200, та відмітити чекбокс (Рис. 5).

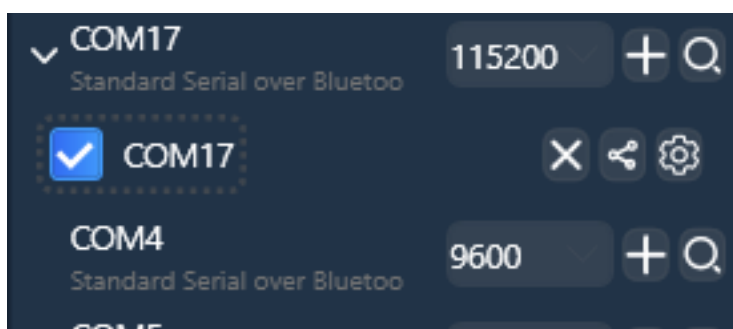



Рисунок 5 – Обрання порту підключення

3.3 Після чого на модулі постійно почне горіти синій світлодіод та почнуть поступати дані з сенсорів у програму. Можна побачити зміну кутів у полях Angle у програмі.

### 4. Обрання типу та формату даних, які надсилає модуль

4.1 Для налаштування модуля потрібно натиснути  та обрати порт, до якого підключено модуль. У меню яке показано на малюнку потрібно зробити налаштування модуля.

4.2 Обрати частоти, з якими йде опитування сенсорів (Band Width), та частоту, з якою надсилаються пакети даних до програми (Output Rate). Доцільно обирати

величину Band Width більшу за Output Rate. Чим більші будуть ці частоти, ти менша похибка вимірювань буде у даних, які отримані з модуля.

4.3 В розділі Content потрібно обрати ті дані, які надсилаються з модуля назовні: прискорення Acceleration, швидкість (обертання) Velocity, кути Angle, та величину магнітного поля Magnetism.

4.4 Також потрібно обрати орієнтацію модуля (Install Direction) та алгоритм обчислень кутів за 6 або за 9 показниками (потрібно обрати 9 показників).

Програма автоматично буде оновлювати обрані налаштування на модулі.

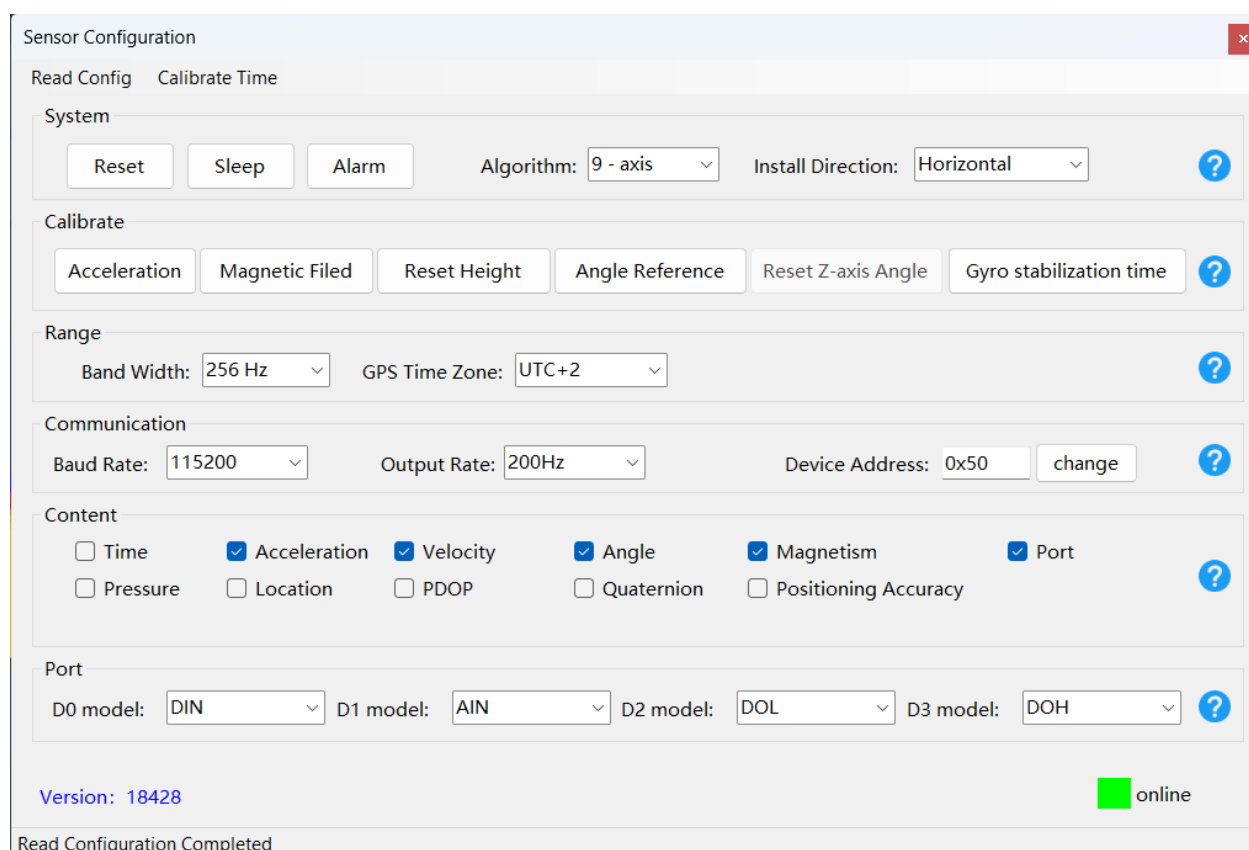
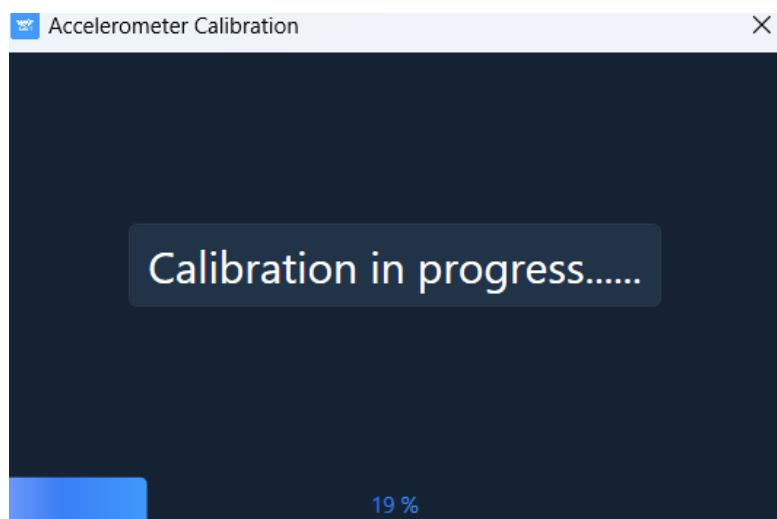


Рисунок 6 – Налаштування модуля BWT901

## 5. Калібрування сенсорів модуля: акселерометра, гіроскопа та магнітометра за допомогою програмного забезпечення на ПК

5.1 Для калібрування сенсорів в розділі Calibrate потрібно натиснути відповідні кнопки: Acceleration для автоматичного калібрування акселерометру.



*Рисунок 7 – Калібрування акселерометру*

5.2 Після чого потрібно зачекати декілька секунд, поки буде проведено калібрування та розраховані відповідні коефіцієнти. Важливо в цей час залишати модуль у стані спокою!

5.3 Розділ Gyro stabilization time дозволяє провести автоматичне калібрування гіроскопу та побачити поточні похибки.

5.4 Розділ Magnetic Field дозволяє провести калібрування магнітометру. Для початку калібрування потрібно орієнтувати сенсор віссю X на північ, та натиснути на кнопку Start Calibrate.

5.5 Повільно оберніть модуль за всіма трьома осями послідовно, контролюючи процес за допомогою відповідного інтерфейсу програми.

5.6 Після закінчення калібрування потрібно натиснути кнопку Finish Calibrate. Якщо калібрування зроблено коректно, у вікні результатів буде відмічено рядок Nine parameters.

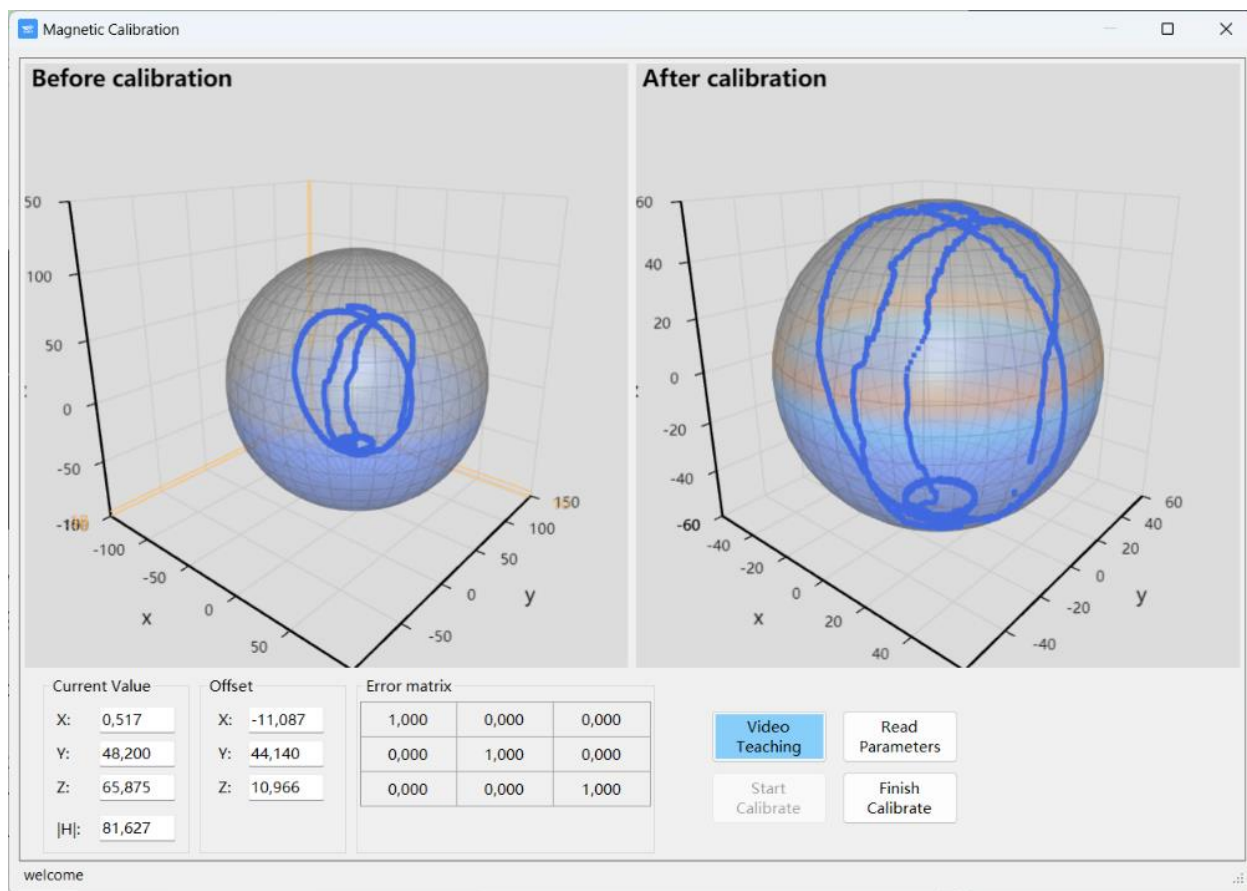


Рисунок 8 – Калібрування магнітометру

5.7 Натиснути кнопку Write to parameters для того щоб надіслати обчислені у ході калібрування показники до модуля (рис. 9).

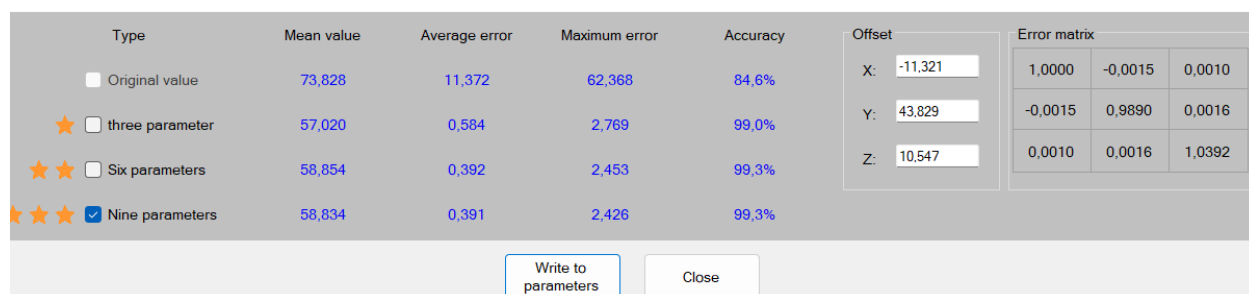


Рисунок 9 – Надсилання даних калібрування до модуля

5.8 Потрібно закрити всі вікна пов'язані з процесом калібрування.

5.9 Переконайтеся, що в стані спокою кути орієнтації пристрою не змінюються значно. Якщо калібрування зроблено коректно, то зміни кутів не перевищують 1 градусу, якщо модуль знаходиться у стані спокою.

5.10. Далі потрібно відключити пристрій від ПК, та закрити програму.

## 6. Дослідження поведінки модуля в відкаліброваному стані

6.1 Знову під'єднайте модуль до мобільного телефону (за інструкціями у п.1)

6.2 Перейдіть на вкладинку Angle та оберніть пристрій навколо вісі Z. Переконайтеся, що після закінчення обертання, кут AngleZ (помаранчева лініє) не змінюється значно. Якщо це не так, знову проведіть калібрування за інструкціями з п.5.

*Пристрій налаштовано і можна переходити до вимірювань.*



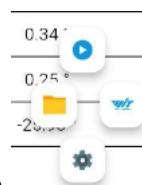
## Отримання даних за допомогою модуля



**7. Кріплення модуля до тіла людини та дослідження характеру змін показань сенсорів під час ходи та інших рухових активностей**


7.1 Перейдіть до вкладки Асс.


7.2 Закріпіть пристрій на поясі та пройдіть декілька кроків, записав відповідний трек.

7.3 Перегляньте трек показників з сенсору. Ви можете побачити прискорення під час ходи.



7.4 Відкрийте меню налаштувань , натисніть кнопку  для початку запису треку.

7.5 Знов зробіть декілька кроків або стрибків. Потім натисніть кнопку  та збережіть запис показників сенсорів у вигляді форматowanego текстового файлу - таблиці (або передайте його в хмарне сховище).

Поверніть модуль до початкового стану, обравши в меню  пункт System: Restore, та "від'єднайте" його від мобільного телефону.

Переключіть перемикач на пристрої в положення Off. На цьому налаштування модуля завершені.

# ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ В МЕДИЧНУ ПРАКТИКУ

**3D-ТЕХНОЛОГІЇ ТА НОСИМА ЕЛЕКТРОНІКА**

## НАЧІПНА ЕЛЕКТРОНІКА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

ABME HUB

[HTTPS://WEB.KPI.KHARKOV.UA/ABME-HUB](https://web.kpi.kharkov.ua/abme-hub)  
[groupe.ABME\\_Hub@kpi.edu.ua](mailto:groupe.ABME_Hub@kpi.edu.ua)